

ИЗМЕРИТЕЛЬ ВЛАЖНОСТИ ДРОБЛЕННОГО УГЛЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Розроблена і випробувана електрична схема прибору для виміру вологості дробленого вугілля на різноманітних стадіях технологічного процесу підготовки енергетичного палива. Наведен опис принципової схеми прибору, розглянуті питання вибору його основних параметрів, калібрування і визначення основної погрішності.

THE HUMIDITY METER FOR CRUSHED COAL FOR THE ENERGETIC OBJECTS

An electrical circuit for the device for measuring the humidity of the crushed coal at different stages of the technological process of preparation of the energetic fuel is worked out and tested. The schematic diagram of the device is described and the problem of choosing its main parameters, calibration and determination of the main error are discussed.

На эффективность сжигания топлива в котлах существенно влияет влажность угля, поэтому возникает необходимость в изучении влажностных характеристик при топливоподготовке. В этой связи был разработан, собран и испытан прибор, предназначенный для измерения влажности дробленого угля (средний диаметр d_{cp} не более 3 мм) на различных стадиях подготовки энергетического сырья к сжиганию, а также при определении влажности отгружаемого топлива на угледобывающих предприятиях.

Технические характеристики прибора: диапазон измерений влажности – 15-25 %; точность – 1 %; время измерения – 3 с; напряжение питания при работе в автономном режиме – 3 В; габаритные размеры – 0,14 × 0,07 × 0,03 м; масса – 0,3 кг. В качестве индикатора прибор может использоваться для анализа влажности за пределами указанного диапазона измерений (от 6 % до 50 %).

Прибор содержит датчик, генератор прямоугольных импульсов, измерительный блок, усилитель, сумматор и блок отображения информации (рис.1).

Генератор выполнен по схеме двухтактного преобразователя напряжения. Небольшая выходная мощность позволяет выполнить инверторы преобразователя постоянного напряжения с выводом средней точки трансформатора без усилителя. Транзисторы VT1 и VT2 включены по схеме с общим эмиттером, что дает высокий КПД при малых напряжениях источника питания.

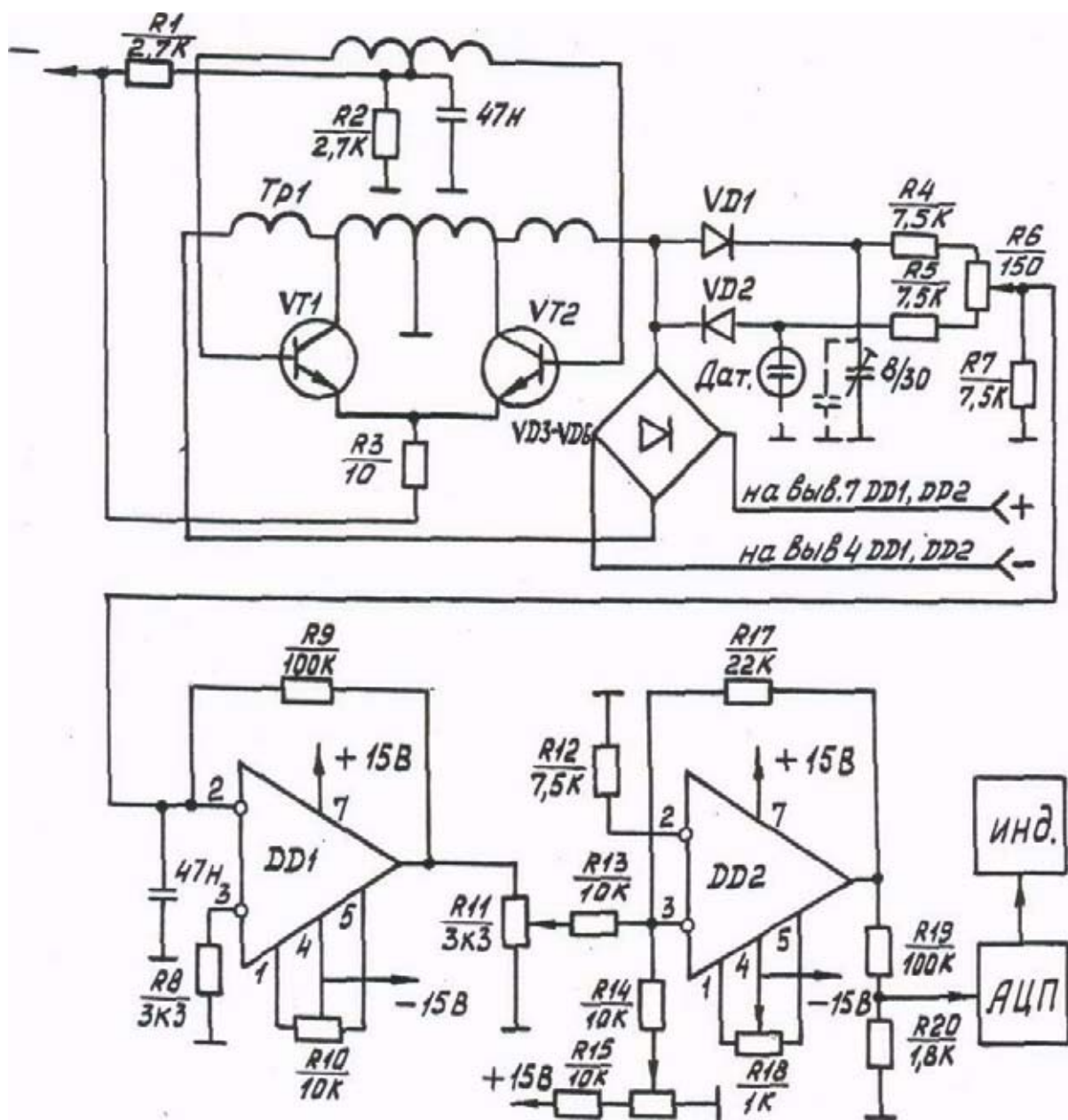


Рис. 1. Электрическая схема прибора для измерения влажности дробленого угля

Измерительный блок представляет собой емкостно-резистивную мостовую схему с удвоением напряжения, запитанную через диоды VD1, VD2. Одно из плеч моста содержит погружной емкостной плоскопараллельный датчик, а смежное с ним – подстроечный конденсатор с диапазоном емкости, охватывающим пределы изменения емкости датчика при нагружении его исследуемой средой. Установка нуля осуществляется при свободном датчике переменным резистором R6.

Далее информативный сигнал поступает на операционный усилитель DD1, обеспечивающий его усиление на два порядка и возможность регулирования верхнего предела измерения переменным резистором R11.

Для регулирования нижнего предела измерения служит сумматор, собранный на операционном усилителе DD2. Регулирование осуществляется переменным резистором R16 в цепи смещения.

Со смесителя сигнал подается на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) и жидкокристаллический индикатор.

В приборе применяется емкостной датчик, поскольку высокая диэлектрическая проницаемость воды, прежде всего, сказывается на емкости измерительной системы

В процессе выбора датчика исследовались конденсаторные датчики с плоскопараллельными пластинами. В соответствии с [1], для наиболее характерных условий $a/d > 3$; $b/d > 3$, выражение для емкости подобных датчиков имеет вид

$$C \cong \varepsilon \cdot \frac{a \cdot b}{d} \left[1 + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{d}{a} \left(1 + \ln \frac{2\pi \cdot a}{d} \right) \right] \times \left[1 + \frac{1}{\pi} \cdot \frac{d}{b} \left(1 + \ln \frac{2\pi \cdot b}{d} \right) \right], \text{ нФ} \quad (1)$$

где a , b – ширина и длина пластины, м; d – расстояние между пластинами, м; $\varepsilon = \varepsilon' \cdot \varepsilon_0$; ε' – диэлектрическая проницаемость среды; ε_0 – абсолютная диэлектрическая проницаемость среды, $8,84 \cdot 10^{-12}$ Ф/м.

При использовании в качестве датчика двух коаксиальных дисков, при условии $l/a > 1$, емкость определится как

$$C \cong \frac{4\varepsilon \cdot a}{1 + \frac{2}{\pi} \operatorname{arctg} \frac{l}{a}}, \text{ нФ} \quad (2)$$

где a – радиус диска, м; l – расстояние между дисками.

Размеры пластин датчиков выбирались с одинаковой площадью и для прямоугольных пластин составляли $a = 40$ мм, $b = 20$ мм, расстояние между ними $d = 20$ мм. Для круглых пластин $a = 16$ мм, $l = 20$ мм. При диэлектрической проницаемости угля, равной 6 (сухой образец), емкости конденсаторов с прямоугольными и круглыми пластинами составили, со-

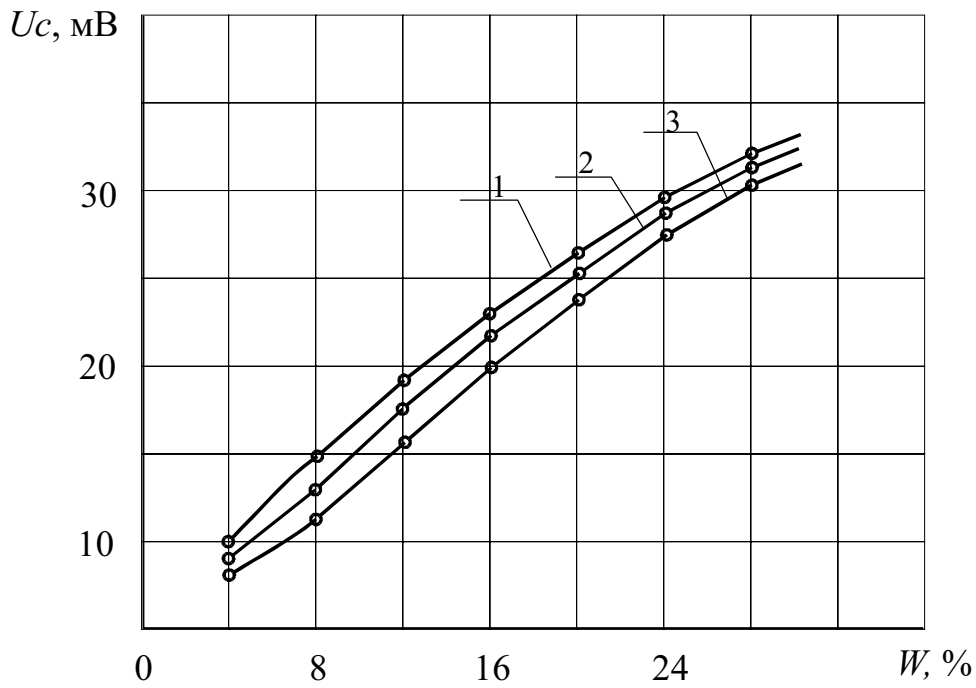
ответственно, 6,1 пФ и 6,5 пФ. Близкие значения емкостей показывают, что при выборе датчика форма пластин практически не играет роли.

Экспериментальная проверка подтвердила расчетные значения емкостей, расхождение составило 20 – 30 %, что объясняется наличием конструктивных элементов, связывающих пластины реального датчика друг с другом и корпусом.

Емкость датчиков, а, следовательно, и значения измеренной влажности существенно зависят от фракционного состава материала. Эта зависимость подтверждается экспериментальными влажностными характеристиками образцов угля с различным фракционным составом (рис.2). Исследовались образцы угля трех фракций со средним диаметром частиц $d_{cp} = 1,0$ мм; $d_{cp} = 1,6$ мм и $d_{cp} = 2,5$ мм (соответственно, кривые 1,2 и 3). Прибор был откалиброван на фракцию угля с $d_{cp} = 1,6$ мм. Затем, для получения качественной картины влияния фракционного состава на показания прибора без перекалибровки, снимались зависимости $U_c = f(W, \%)$ для остальных фракций. Установлено, что с уменьшением среднего диаметра фракций кривые смещаются вдоль оси ординат в сторону роста показаний прибора. Смещение можно объяснить увеличением плотности угля со снижением среднего диаметра фракций. Как показано в [2] диэлектрическая проницаемость среды, а, следовательно, и емкость датчика, пропорциональны плотности материала, что сказывается на показаниях прибора. Для получения достоверных влажностных характеристик необходима новая калибровка прибора при изменении среднего диаметра фракций угля.

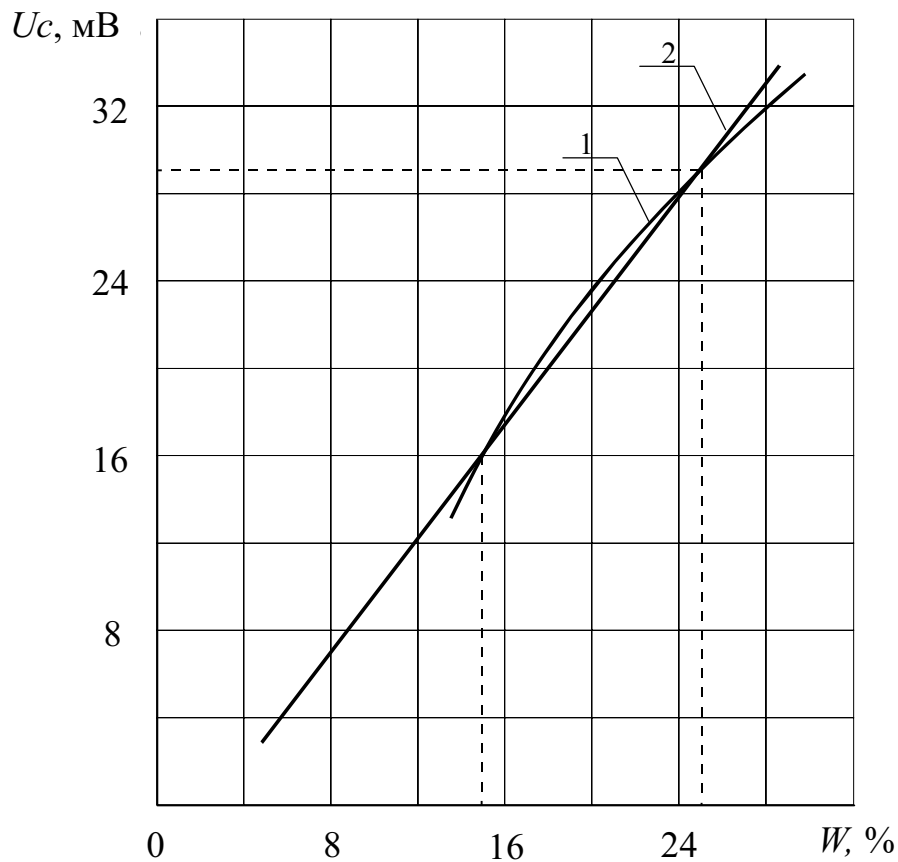
Плотность дробленого угля, находящегося между пластинами датчика является физико-техническим свойством рыхлой породы и определяется значениями коэффициента пористости K , равного отношению объема пор к объему вещества [3]. Эта плотность не связана с физической плотностью вещества (отношением массы тела к его объему). При произвольном состоянии исследуемой среды со случайными значениями K для удовлетворительной воспроизводимости результатов замеров влажности необходимо постоянное усилие на материал со стороны датчика. Для этого применяется принудительное уплотнение материала, а емкостной датчик становится элементом измерительной ячейки.

Калибровка прибора осуществляется следующим образом. В лабораторных условиях высушивается до нулевой влажности (по свободной влаге) образец материала массой 1 кг. В высушенную пробу добавляется количество воды, пропорциональное начальной влажности измеряемого диапазона (например, при нижней границе 15 % и массе сухого материала 1000 г добавляется 150 г воды). Посредством переменного резистора R16 (рис.1) на индикаторе электронной платы выставляется истинное значение влажности 15 %. Затем обеспечивается максимальное значение влажности пробы (например, 25 %, т.е., добавляют в пробу еще 10 % воды, что равно 100 г) и посредством переменного резистора R11 выставляют на индикаторе 25 %.



1 - $d_{cp}=1,0$ мм; 2 - $d_{cp}=1,6$ мм; 3 - $d_{cp}=2,5$ мм

Рис. 2. Зависимость выходного сигнала от влажности угля при различном фракционном составе



1 и 2 – соответственно истинная и усредненная зависимости $U_c=f(W, \%)$

Рис. 3. Определение основной погрешности прибора

Чувствительность прибора определяется как произведение чувствительностей составляющих его блоков - датчика (S_d), измерительного моста (S_m), усилителя (S_y) и блока отображения информации (S_0) [4]

$$S_{\text{приб}} = S_d \cdot S_m \cdot S_y \cdot S_0,$$

где $S_d = 0,5 \text{ нФ}/1\%W$ – приращение емкости датчика на один процент влажности; $S_m = 0,1 \text{ мВ}/\text{нФ}$ - изменение сигнала моста на единицу емкости датчика; $S_y = 20 \text{ мВ}/\text{мВ}$ - отношение уровня выходного сигнала к входному; $S_0 = 1 \text{ \%}W_{\text{инд}}/\text{мВ}$, где в числителе – значение влажности по показаниям цифрового индикатора, $\text{\%}W_{\text{инд}}$; $S_{\text{приб}} = 1 \text{ \%}W_{\text{инд}}/\text{\%}W$.

Для определения основной погрешности прибора выполняются операции по отбору, сушке и увлажнению образца, описанные выше. При этом, после достижения меньшего предела влажности измеряемого диапазона (например, тех же 15 %) дальнейшее увлажнение осуществляется через 1 %. При этом фиксируются показания прибора $U_c = f(W, \%)$. Эта функция представлена на рис.3 кривой 1. Усреднением кривой 1 получают линейную зависимость 2. Разность между максимально удаленной точкой кривой 1 и зависимостью 2 по оси ординат составляет основную погрешность прибора.

На рис.3. максимальная разность соответствует влажности 20 % и составляет 0,8 %.

Проверка прибора в промышленных условиях на дробленых бурых углях Александрийского месторождения на выходе после сушильной камеры перед брикетным прессом показала хорошую сходимость результатов измерений с данными весового метода.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Иоссель Ю.Я., Кочанов Э.С., Струнский М.Г. Расчет электрической емкости. М.: Энергия, 1969.- 240 с.
2. Эме Ф. Диэлектрические измерения. М.: Химия, 1967. – 224 с.
3. Воронов П.И. Основы физики горных пород. М.: МИРГЭМ, 1965. – 202 с.
4. Тиль Р. Электрические измерения механических величин. М.: Энергоатомиздат, 1987. – 193 с.