Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института
им. Г.В. Плеханова. Т. XVIII, вып. 1, 1975 г.

ДИСКРЕТНАЯ СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО КОНТРОЛЯ ВЛАЖНОСТИ УГЛЯ

А.Ф.Авдеева

Выбор и поддержание оптимальных технологических режимов обогащения и брикетирования, условий хранения угля и его транспортировки требуют оперативного и объективного автоконтроля его влажности. С позиций влагометрии уголь – весьма трудный материал, так как имеет сложные и переменные химический состав и структуру, большую электропроводность во влажном состоянии, сильно зависимую от минерализации воды и от величины и стабильности уплотнения пробы.

Угли представляют собой высокомолекулярные соединения, которые образовались вследствие реакций конденсации из различных химических соединений, входящих в состав отмерших растений. Основными структурными звеньями макромолекулы каменных углей являются конденсированные ароматические ядра и боковые цепи [2]. В ядре и боковых цепях могут быть гетероатомы – азот, кислород, сера. Макромолекулы соединяются гидролизуемыми связями, число которых зависит от степени метаморфизма. Элементарные структурные единицы макромолекул витринита, фюзинита, экзинита в одном и том же угле различаются по степени конденсированности ядерной части, по доле боковых цепей, количеству и характеру различных групп. При увлажнении угля происходит не только механическое смешивание компонентов, но и электрохимические процессы преобразования структуры, что вызывает различные изменения его электрофизических свойств. Поэтому трудно установить строго детерминированную связь между электрическими и физическими свойствами угля и его влагосодержанием.

Рассматриваемая влагометрическая система создавалась применительно к углям Воркутинского месторождения марки К. Их относят к углям низкой и средней стадии метаморфизма. В неувлажненном состоянии по электрическим свойствам они близки к диэлектрикам. Присутствие свободной

влаги и растворенных в ней солей резко снижает сопротивление угля, превращая его в полупроводящую и проводящую среду.

Для построения влагометрической системы угля был выбран высокочастотный (емкостный) метод, при котором измеряется реактивная составляющая комплексного сопротивления конденсаторного преобразователя с пробой материала. В высокочастотном поле диэлектрическая проницаемость материала в большей степени зависит от его влагосодержания и в меньшей – от химического и гранулометрического составов, температуры, уплотнения и других факторов, значительно влияющих на электропроводность пробы. Вообще в отношении углей можно говорить лишь о порядке электропроводности, так как она зависит в пределах каждой марки угля от величины и характера минерализации, петрографического состава и структуры (размера ядра макромолекулы, расстояния между углеродными сетками), от степени метаморфизма и окисленности.

Емкостный преобразователь, используемый в системе (рис. 1), конструктивно представляет собой цилиндрический бункер 2 из фторопласта, вставленный в бронзовый экранирующий цилиндр 3, на дне которых помещен конденсатор рассеянного поля с плоскими кольцевыми электродами 4. Электрическое поле конденсатора сосредоточено в невысоком призлектродном слое, что позволяет иметь небольшую глубину бункера датчика и равномерную передачу давления во всем объеме пробы. При постоянстве объема пробы и сдавливающего ее груза, размещаемого на крышке, можно в достаточной степени стабилизировать плотность каждой пробы данной влажности и обеспечить воспроизводимость показаний прибора.

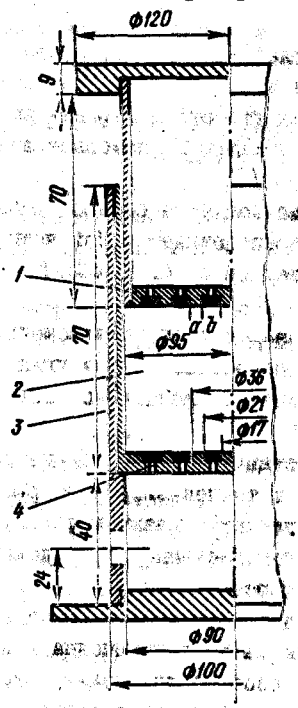


Рис. 1. Конденсаторный преобразователь

Для повышения коэффициента преобразования датчика электродные кольца помещены на фторопластовых основаниях дна бункера и крышки 1 и подключаются к измерительной схеме параллельно. При этом коэффициент преобразования одного элемента $\Delta C_1/\Delta W = 1{,}3$ пФ/%, двух вместе $\Delta C_2/\Delta W = 4$ пФ/%, что превышает действие простой суммы их емкостей.

Размеры емкостного преобразователя при известных в контролируемом диапазоне влажностей емкости $C_м$ и сопротивления $R_м$ материала рассчитаны по методике Е.С.Кричевского из соотношений

$$C_м = \frac{\varepsilon_м}{2\pi^2} \cdot \frac{K(k_1)\,l}{K(k_1')} \quad ; \qquad (1)$$

$$R_м = \frac{2\pi^2}{l} \cdot \frac{K(k_1')}{K(k_1)}\,\rho_м \quad , \qquad (2)$$

где $\varepsilon_м$ – относительная диэлектрическая проницаемость материала, заполняющего датчик; $\rho_м$ – удельное сопротивление материала; l – рабочая длина электродов; $K(k_1)$– полный эллиптический интеграл с подынтегральными функциями

$$k_1 = \sqrt{\frac{b^2 - a^2}{b^2}} \quad \text{и} \quad k_1' = \sqrt{1 - \frac{b^2 - a^2}{b^2}} .$$

Из условий максимального отношения

$$\frac{C_м}{R_м} = \frac{\varepsilon_м l^2 k^2 \left(\sqrt{\frac{b^2 - a^2}{b^2}}\right)}{\rho_м 4\pi^2 k^2 \left(1 - \frac{b^2 - a^2}{b^2}\right)} \qquad (3)$$

и оптимального значения $R_м'$, определяемого измерительной схемой, рассчитаны (в миллиметрах) ширина электродов конденсатора b и расстояние между ними a (см.рис. 1).

Кольца соединяются через одно и представляют потенциальный электрод, среднее кольцо соединено с корпусом.

Диэлектрические параметры трех сортов углей Воркутинского месторождения (концентрата, отсева и промпродукта) исследовались с помощью моста полных проводимостей типа Е10-2. Рабочая частота измерения выбрана в диапазоне 0,5–1 МГц, в котором функция $C = \varphi_1(W)$ наиболее линейна и крута, а проводимость угля наименьшая.

Схема замещения датчика с материалом была получена с помощью анализатора частотных характеристик Х1-17. Она представляет собой четырехэлементную схему, состоящую из параллельных ветвей с C_0 и R_0 и последовательно соединенными C_1 и R_1.

Значения параметров эквивалентной схемы зависят от гранулометрического состава и плотности угля, химического состава воды и угля в датчике. Их измеряют в момент совпадения на экране амплитудно-частотных характеристик схемы замещения и датчика.

Измерительное устройство влагомера представляет собой F-метр на биениях и обладает высокой чувствительностью и точностью. Режим рабочего генератора, в контур которого включается датчик с влажным углем, подобран с учетом значений параметров эквивалентной схемы при предельных значениях контролируемых влаг и мешающих факторов.

Для расширения рабочего диапазона влаг до 20% и увеличения чувствительности добротность контура была повышена за счет включения в него варикапа $C_в$ и применения комбинированного способа измерения (рис.2). Чувствительный элемент $C_д$ был использован как C-преобразователь, а $R_д$ – как R-преобразователь. Последний включался в цепь постоянного тока и служил делителем напряжения смещения варикапа [3]. С ростом влажности W уменьшается сопротивление угля и $R_д$, что снижает смещение варикапа и увеличивает его емкость, повышая добротность контура

$$Q_W = \omega R_{д\,W} (C_{д\,W} + C_1 + C_в) , \qquad (4)$$

где ω – круговая частота, Гц.

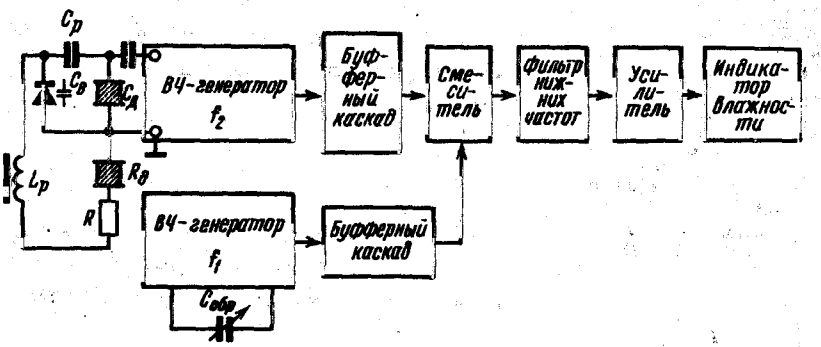


Рис. 2. Структурная схема влагомера с комбинированным преобразователем

В этой схеме нет внешнего источника постоянного напряжения смещения варикапа, а использовано падение напряжения постоянной составляющей тока, образуемой в цепи за счет вентильных свойств $p-n$-перехода [1]. При этом емкость варикапа за период

$$C_в = \frac{C_0}{2} + \frac{1{,}8\sqrt{2}\,B}{\sqrt{U_к + U_п \cos\sqrt[3]{\frac{3\pi R_i}{R_д}}}} + \frac{AU_\sim\left(\frac{2}{\pi} - \cos\sqrt[3]{\frac{3\pi R_i}{R_д}}\right)}{2R_i + R'_в}, \qquad (5)$$

где C_0 – емкость варикапа при напряжении на варикапе $U_в = 0$; $U_к$ – контактная разность потенциалов $p-n$-перехода; B – постоянная величина; $U_п$ – постоянное напряжение на разделительном конденсаторе $C_р$; R_i – внутреннее сопротивление генератора; $U_\sim$ – амплитуда переменного напряжения на варикапе; $R_д$ – сопротивление R –преобразователя; $R'_в$ – сопротивление варикапа,

$$R'_в = \frac{R_в R_{L_р}}{R_в R_{L_р}}; \qquad A = D\tau_р;$$

D – постоянный коэффициент, равный 19,9 В; $\tau_р$ – постоянная времени релаксации заряда; $R_{L_р}$ – сопротивление разделительного дросселя.

При расчете резонансного контура с варикапом без внешнего смещающего напряжения учитываются сопротивление преобразователей, параметры варикапа и внутреннее сопротивление рабочего генератора.

Способ использования варикапа в контуре генератора позволил значительно повысить чувствительность влагомера углей: по отсеву – в 6 раз, по концентрату – в 2 раза, по промпродукту – в 10 раз.

Градуировка влагомера (рис. 3) сделана относительно данных определения рабочей влаги методом высушивания по ГОСТ 11014-70. В результате корреляционного анализа данных получены уравнения линий регрессии:

$C_{отс} = 6{,}8W + 164$; $C_к = 0{,}9W + 164{,}4$; $C_{п.п} = 1{,}66W + 164{,}6$.

Среднеквадратические отклонения для отсева $S_W = \pm 0{,}53$; $S_C = \pm 4$; для концентрата $S_W = \pm 0{,}76$, $S_C = \pm 1{,}55$; для промпродукта $S_W = S_C = \pm 0{,}61$.

Абсолютная погрешность влагомера при контрольных испытаниях составила $\pm 1\%$. Для технологического контроля на обогатительной фабрике такая погрешность допустима, а контроль параметров отгружаемого заказчику угля должен быть более точен. Поэтому цель дальнейшей рабо-

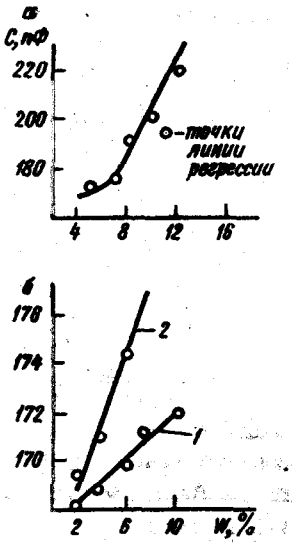


Рис. 3. Градуировочные кривые дискретного влагомера угля: а – для отсева; б – для концентрата (1) и промпродукта (2)

ты – повысить точность измерения с помощью компенсации влияния активной проводимости влажного угля.

Литература

1. Авдеева А.Ф., Валеев В.Г., Кричевский Е.С. Применение варикапов для повышения чувствительности емкостных влагомеров. Изв. вузов, "Горн.журнал", 1973, № 8.

2. Кревелен Д.В. ван. Наука об угле. М., Гостехиздат, 1961.

3. Устройство для измерения влажности. – Авт.свидет. № 346884. Бюлл.изобр., 1972, № 23. Авт.: Е.С.Кричевский, А.Ф.Авдеева, Н.С.Сабадаш, Э.А.Кальм.