Записки Ленинградского ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции
и ордена Трудового Красного Знамени горного института им. Г.В.Плеханова,
1985, т.106

УДК 622.7.66.012

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ НЕКОТОРЫХ ПРОДУКТОВ ГОРНО-ХИМИЧЕСКОГО СЫРЬЯ

А.Ф.АВДЕЕВА, Ь.В.ЖИЛКИНА, Э.А.КАЛЬМ

Одним из показателей качества выпускаемого горно-химического сырья и продуктов переработки является их влажность. Достоверный контроль влажности требует больших затрат труда и времени. В связи с этим актуальна задача разработки влагометрических систем, которые обеспечивали бы экспрессность измерения и достаточную для технологического контроля точность. Для определения возможности использования высокочастотного метода измерения влажности асканге ля, барита и андезита были исследованы зависимости их электрофизических параметров от влажности.

Бентонитовые глины Асканского месторождения – асканге ли, относят к макроскопически неоднородным полупроводникам. Их неоднородные свойства обусловлены сложным химическим составом и его непостоянством, а также различным вкраплением влаги. Природные бентонитовые глины даже в пределах одного месторождения часто значительно отличны по составу друг от друга [3]. Это объясняется не только различным характером материнских пород бентонитов, условиями их дальнейшего преобразования, но и тем, что эти глины в природном виде почти всегда содержат другие типы глин и посторонние неглинистые включения. По данным Кавказского института минерального сырья асканге ли имеют следующий химический состав, %: SiO_2 – 56,10; Al_2O_3 – 18,00; Fe_2O_3 – 2,78; TiO_2 – 0,48; CaO – 1,20; AsO – 3,90; SiO_3 – 0,17; WaO – 4,10; K_2O – 1,80.

Присущие бентонитам свойства обусловлены строением кристаллической решетки составляющих их минералов, основным из которых является монтмориллонит. Кристаллическая решетка минералов монтмориллонитовой группы имеет избыток электронов, не связанных валентными связями. В диффузионном слое асканге лей преобладают обменные катионы натрия, чем и объясняются высокая степень дисперсности, значительная влагоемкость и набухаемость в воде, поглотительная ионно-обменная способность асканге лей.

Андезитовый концентрат выпускается в виде муки. Андезитовая руда содержит: плагиоглаза 50, полевого шпата 25, кварца 10, биотита 2, вулканического стекла 11, роговой обманки 1,5 %. Баритовый концентрат составляют 88,5 % серно-кислого натрия, небольшая примесь других материалов и влага (2-3 %). Для контроля влажности этих материалов используют длительный и трудоемкий термогравиметрический анализ, в соответствии с индивидуальным для каждого материала ГОСТом.

В СССР и за рубежом влажность многих материалов контролируют высокочастотным способом с емкостным или фазочастотным разделением информативного и мешающего сигналов. Возможность применения этого способа для указанных продуктов горно-химического производства определяется зависимостями их электрического сопротивления, кажущейся емкости, тангенса угла диэлектрических потерь от влагосодержания пробы.

Для исследований были использованы порошки аскангеля, андезита, барита с постоянными гранулометрическим и химическим составом и изменяемой влажностью. Контролируемый материал помещали в емкостный датчик, находящийся в зоне действия электромагнитного поля, и фиксировали изменения его электрического сопротивления R, электрической емкости C и тангенса угла диэлектрических потерь $tg\delta$ при различных влагосодержаниях проб испытываемых материалов [1].

Датчики представляют собой бункеры с изоляционной подложкой, на которую нанесены металлические электроды. Они подключаются к частотозадающим цепям высокочастотного измерительного генератора влагомера. Измеряют значение кажущейся емкости C датчика, которая определяется геометрическими размерами конденсатора и диэлектрической проницаемостью контролируемого материала. Электрическое поле, пронизывающее измеряемую среду, неравномерно. Наибольшая напряженность фиксируется вблизи электродов. С удалением от них напряженность поля уменьшается и ограничивает тем самым исследуемый объем (высоту насыпки) пробы.

Известно [2], что на расстоянии h от поверхности подложки по оси Y напряженность электрического поля E убывает в α раз по отношению к напряженности E_0 в точке $Y = 0$.

Для $n \to \infty$ справедливо уравнение

$$(\alpha^2 - 1)K + sh^2\left[\frac{\beta\pi}{m+1}\right], \qquad (I)$$

где n – количество электродов; δ – ширина электрода, мм; δ_0 – зазор между электродами, мм; $m = \delta / \delta_0$ – электродный коэффициент;

$$K = \sin\frac{\pi}{2(m+1)}.$$

Выражение (I) дает возможность определить параметры датчика. Исследовано несколько модификаций емкостных датчиков, сравнительные результаты сведены в таблицу.

Основным рабочим параметром датчика является чувствительность

$$\nu = \frac{\Delta C}{\Delta W} = F(\Delta C).$$

Наибольшую чувствительность имеет семиэлектродный датчик, который и был использован при дальнейшей разработке влагомера.

В сухом виде исследуемые материалы являются полупроводниками с объемным сопротивлением R_v порядка сотен килоом. При увлажнении материала сопротивление уменьшается до единиц килоом.

Характеристики датчиков

Обозначение	Тип и количество электродов	Материал подложки	Начальная емкость, пФ	Чувствительность ν, пФ/%	
				W= 4,3÷7,6 %	W= 10÷19 %
Д2	3 кольца	Фторопласт	29,3	0,74	1,63
2Д2	По 3 кольца на дне и крышке	"	63,4	0,95	2,70
Д3	5 пластин	Оргстекло	15,2	0,39	2,58
Д4	Игольчатые	"	36,7	1,14	3,30
Д5	3 кольца	Фторопласт	27,6	0,27	1,62
Д6	Много колец	Оргстекло	32,0	1,10	2,50
Д7	7 колец	"	45,2	2,00	3,10

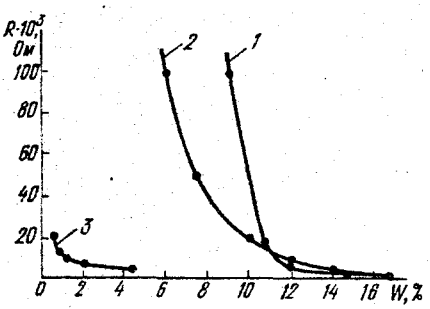


Рис.1. Зависимость сопротивления барита (1), асканге́ля (2) и андезита (3) от влажности

Зависимость сопротивления от влажности на переменном токе частотой f = 500 кГц имеет нелинейный характер (рис.I) и достаточно точно описывается степенным уравнением

$$R_v = \frac{a}{W^b}, \qquad (2)$$

где a, b – постоянные.

Как видно из рис.I, кривые зависимостей сопротивлений всех трех материалов нелинейны при малых влажностях и близки к прямым при значительных влагах. Это объясняется тем, что в материалах при разных влагосодержаниях изменяется не только общее количество воды, но и характер ее распределения [4]. Если при малой влажности между зернами порошка находятся только изолированные участки, содержащие влагу, то при более высокой влажности образуются сплошные проводящие каналы, что снижает сопротивление, и материалы становятся проводниками. В переменных полях материалы характеризуются двумя основными параметрами: диэлектрической проницаемостью ε и диэлектрическими потерями $tg\delta$ [2].

Практически для косвенного определения влажности более удобно пользоваться значением кажущейся емкости датчика с пробой исследуемого материала. Зависимости $C = F(W)$ андезита, барита и асканге́ля, снятые при частоте питающего тока f = 500 кГц в различных датчиках, приведены на рис.2. Как видно, зависимость $C = F(W)$ у асканге́ля и барита линейна при использовании датчика Д7 и описывается уравнением

$$C = aW + b, \qquad (3)$$

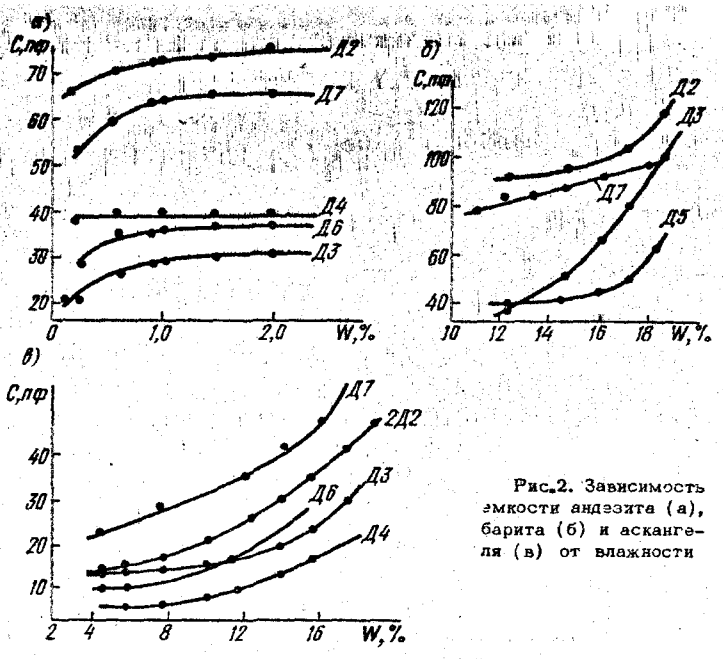


Рис.2. Зависимость емкости андезита (а), барита (б) и асканге-ля (в) от влажности

где a и b для датчиков Д2, Д3, Д4, Д5 достаточно точно описываются квадратным трехчленом

$$C = aW^2 + bW + d\,, \tag{4}$$

имеющем восходящую ветвь при $a > 0$ и $b < 0$.

У андезита во всех датчиках зависимость $C = F(W)$ описывается логарифмической функцией

$$C = ae^{bW}, \tag{5}$$

которая при $a > 0$ монотонно возрастает. Чувствительность датчиков с андезитом оказывается чрезвычайно низкой в заданном диапазоне влажностей (более I %).

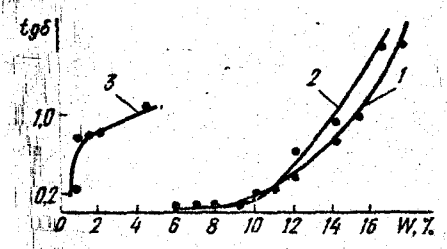


Рис.3. Зависимость тангенса угла диэлектрических потерь асканге-ля (1), барита (2) и андезита (3) от влажности

Известно, что диэлектрические потери в веществе ($tg\delta$) существенно зависят от его влажности и потому могут служить ее косвенной мерой. Значения $tg\delta$ были вычислены из соотношения:

$$tg\delta = \frac{1}{\omega R_v C}, \tag{6}$$

где ω – круговая частота; R_v – сопротивление датчика с пробой.

Для случая семиэлектродного датчика кривые зависимости $tg\delta = F(W$ приведены на рис.3. Все они нелинейны и описываются уравнениями:

для барита и асканге ля

$$tg\delta = aW^2 + bW + d;$$

для андезита

$$tg\delta = ae^{bW}.$$

Выводы

I. Нелинейность характеристик $R_v = F(W)$ и $tg\delta = F(W)$ исследуем продуктов (асканге ля, андезита и барита) не позволяет использовать для влагометрии этих материалов кондуктометрический метод и метод диэлектрических потерь.

2. Линейный характер и достаточно высокая крутизна зависимости емкости асканге ля и барита от влажности пробы в датчике с семью электродами обеспечивают возможность применения для них высокочастотного метода контроля влажности при рациональной конструкции датчика и компенсации переменного состава и активной проводимости материала. Высокочастотный контроль влажности андезита невозможен.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бухгольц В.П., Тисевич Э.Г. Емкостные преобразователи в системах автоматического контроля и управления. - М., Энергия, Библиотека по автоматике. Вып. 464, 1972.

2. Кричевский Е.С. Высокочастотный контроль влажности при обогащении полезных ископаемых. М., Недра, 1972.

3. Мерабишвили М.С. Бентонитовые глины. Тбилиси, Мецниереба, 1978.

4. S i l l a r s R.W. - J. of the Institution of Electrical Engineers, 1937, vol.80, N 5.