

# ИЗМЕРЕНИЕ ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПОТЕРЬ ПРИРОДНЫХ И СИНТЕТИЧЕСКИХ ЦЕОЛИТОВ

Ефименко И. С., Валенкевич В. А., Каницкая Л. В.

Иркутский государственный технический университет  
Иркутск, Россия

## MEASURING OF DIELECTRIC LOSSES NATURAL AND SYNTHETIC ZEOLITES

Efimenko I.S., Valenkevich V.A., Kanitskaja L.V.

Irkutsk state technical university.  
Irkutsk, Russia

Способность цеолитов поглощать микроволновую энергию, связана с их диэлектрическими свойствами. Возможными центрами поглощения микроволнового излучения могут быть поверхностные гидроксильные группы молекул воды, сорбированные поверхностью цеолита [1] и места с избыточным отрицательным зарядом на  $AlO_4^-$ . Степень микроволнового поглощения может зависеть от соотношения Si/Al и от наличия переходных катионов в цеолите[2].

Цель работы состояла в определении параметров, от которых зависят диэлектрические потери цеолитов. В качестве объектов исследования взяты: природный цеолит (клиноптилолит), и ряд синтетических цеолитов (NaA, ЦВМ, ZSM-12, морденит). Синтетические цеолиты были подобраны таким образом, чтобы интервал изменений размеров их пор был достаточно широк: (таб. 1) от узкопористых до широкопористых, поскольку в зависимости от размеров пор цеолиты могут содержать различное количество сорбированной воды. Соотношение  $SiO_2/Al_2O_3$  так же варьируется.

Измерения диэлектрической проницаемости ( $\epsilon'$ ) и диэлектрических потерь ( $\epsilon''$ ) проводили по методике представленной в работе [3]. В резонатор, возбуждённый на колебании  $H_{01p}$ , помещали стеклянную трубку и измеряли резонансную частоту ( $\omega_1$ ) и добротность резонатора ( $Q_1$ ). Затем трубку наполняли исследуемым цеолитом и измеряли резонансную частоту резонатора ( $\omega_2$ ) и добротность резонатора с исследуемой средой ( $Q_2$ ).

Диэлектрическую проницаемость рассчитывали по соотношению:

$$\epsilon' = \frac{X_2^2 - X_1^2}{(w_1/c)^2} + 1, \quad (1)$$

где  $X_1 = \sqrt{\left(\frac{w_2 - w_1}{c}\right)^2 + \left(\frac{3,832}{R}\right)^2}$ , R – радиус резонатора, c – скорость света в вакууме.

Величина  $X_2$  находится из трансцендентного уравнения [3]:

$$X_2 r_0 \frac{J_0(X_1 r_0)}{J_1(X_2 r_0)} = X_1 r_0 \frac{Z_0(X_1 r_0)}{Z_1(X_1 r_0)}, \quad (2)$$

$$Z_0(X_1 r_0) = J_0(X_1 r_0)N_1(X_1 R) - J_1(X_1 r_0)N_0(X_1 r_0) \text{ и}$$

$$Z_1(X_1 r_0) = J_1(X_1 r_0)N_1(X_1 R) - J_1(X_1 r_0)N_1(X_1 r_0),$$

где  $J_0, J_1, N_0, N_1$  – функции Бесселя и Неймана нулевого и первого порядка, соответственно [4],  $r_0$  – внутренний диаметр трубки.

Тангенс угла диэлектрических потерь ( $tg d$ ) исследуемой среды, рассчитывали по формуле [3]:

$$tg d = \frac{A}{Q_1} \left( \frac{Q_1}{Q_2} - 1 \right), \quad (3)$$

где,  $A$  – некоторая постоянная величина, зависящая от геометрических параметров резонатора и образца.

Погрешность измерений диэлектрических параметров не превышает  $\frac{\Delta e'}{e'} \leq 4\%$  по диэлектрической проницаемости и  $\frac{\Delta tg d}{tg d} \leq 10\%$  по диэлектрическим потерям в основном зависит от погрешности измерений внутреннего диаметра ( $2r_0$ ) калибровочных капилляров [3].

Результаты измерений сведены в таблицу 1.

Таблица 1. Диэлектрические потери цеолитов при  $F_0 = 2,869$  ГГц,  $T = 18$  °С

№	Образец	Размер пор, нм	SiO <sub>2</sub> /Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Полная потеря массы, % отн	$\epsilon'$	$tg \delta$	$e'' = tg d \cdot e'$
1	Клиноптилолит	2,0	5	5,9	3,66	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$9,88 \cdot 10^{-2}$
2	NaA	3,0	4	17,3	3,62	$10 \cdot 10^{-2}$	$3,6 \cdot 10^{-1}$
3	ЦВМ-1	5,5	40	10,6	3,02	$3,9 \cdot 10^{-2}$	$11,78 \cdot 10^{-2}$
4	ЦВМ-2	5,5	40	18,8	3,12	$4,2 \cdot 10^{-2}$	$13,10 \cdot 10^{-2}$
5	Морденит	6,5	20	17,3	2,70	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$9,45 \cdot 10^{-2}$
6	ZSM-12 (50%)	7,5	100	16,0	3,9	$6,2 \cdot 10^{-2}$	$24,18 \cdot 10^{-2}$
7	ZSM-12 (30%)	7,5	100	13,3	4,06	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$22,33 \cdot 10^{-2}$

Наблюдается линейная зависимость диэлектрических потерь от соотношения SiO<sub>2</sub>/Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> в цеолитах: с увеличением содержания связующего (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) увеличиваются и диэлектрические потери. Зависимости диэлектрических потерь от содержания влаги и размера пор носят нелинейный характер. Из общих зависимостей выпадают точки для цеолитов с крупными размерами кристаллитов (NN 4, 5) в первом случае и содержащие ионы натрия (NN 2, 5) во втором случае.

#### Библиографический список

1. Брек Д. Цеолитовые молекулярные сита. / М. «Мир». -1976. – 781С.
2. Dong J., Xie L., Jing X., Xu H., Wu F and Hao J. Another Study on the Microwave Heating of Zeolites without Spezial Loading Materials //13 th Intern. Zejlite Conf. France, Montpollier, July 8-13, 2001. Session 11: Post-synthesis medication 11-P-13.
3. Валенкевич В.А. и др. Измерение  $\epsilon$  и  $tg \delta$  круглых стержней методом возмущения объёмного резонатора с типом колебаний  $H_{01p}$  // Метрология №4, 1976, с. 65-70.
4. Никольский В.В. Вариационные методы для внутренних задач электродинамики. М.: Наука, 1967.