

*Valieva Gulshan Fayzimuradovna*  
*Namangan Engineering and Construction*  
*Institute of Candidate of Technical Sciences, (PhD).*

*Soliev Rustamjon Khakimzhonovich*  
*Namangan Engineering and Construction*  
*Institute Doctor of Technical Sciences, (DsC).*

## **RESEARCH AND DEVELOPMENT OF EFFECTIVE COMPOSITIONS OF MAGNESIA-STEATITE ELECTROCERAMIC COMPOSITE MATERIALS BASED ON LOCAL RAW MATERIALS**

### **ANNOTATION.**

This article presents results in the field of development of compositions and studies of physical and mechanical properties of composite magnesia-steatite electroceramic materials based on local mineral raw materials and industrial waste.

**Key words:** bentonite, talc, magnesite, physicochemical properties, steatite electroceramic materials.

## **ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ СОСТАВОВ МАГНЕЗИ-СОТЕАТИТОВЫХ ЭЛЕКТРОКЕРАМИЧЕСКИХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ МЕСТНОГО СЫРЬЯ**

### **АННОТАЦИЯ.**

В статье представлены результаты в области разработки составов и исследования физико-механических свойств композиционных магнезиально-стеатитовых электрокерамических материалов на основе местного минерального сырья и промышленных отходов.

**Ключевые слова:** бентонит, тальк, магнезит, физико-химические свойства, стеатитовые электрокерамические материалы.

### **ВВЕДЕНИЕ**

На сегодняшний день в мире композиционные электрокерамические материалы широко применяются в энергетической, нефтехимической, металлургической, машиностроении и других отраслях промышленности. В связи с этим, развитие электрокерамической отрасли промышленности в мире имеет особое экономическое значение и растет спрос на композиционные электрокерамические материалы, используемые в электротехнике. В этом аспекте разработка эффективных составов и энерго-ресурсосберегающих технологии получения электрокерамических материалов для изоляции рабочих органов электромашин и механизмов имеет особое значение.

В Республике проводятся мероприятия и достигнуты определенные результаты в области исследования и получения электрокерамических композиционных материалов электротехнического назначения. В программе Стратегических действий по дальнейшему развитию Республики Узбекистан отмечены важные задачи по «...стимулированию научно-исследовательской и инновационной деятельности, созданию эффективных механизмов внедрения инновационных достижений в практику». В связи с этим научные исследования направленные на разработку электрокерамических композиционных материалов с высокими электрофизическими и физико-механическими свойствами представляет особое значение.

### **ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ**

Во всем мире ведутся исследовательские работы по разработке изоляционных электрокерамических материалов электротехнического назначения с высокими физико-механическими и электрофизическими свойствами. В этом аспекте большое внимание уделяется созданию электроизоляционных композиционных керамических материалов электротехнического назначения с высокими электрофизическими и физико-механическими свойствами и разработке энерго-ресурсосберегающей технология их получения.

В производстве магнезиально-стеатитовых электрокерамических изделий наиболее широкое применение имеет метод пластичного формования и горячего литья. Исходя из имеющихся возможностей, в данной работе принимались методы пластичного формования.

При определении шихтовых составов опытных масс ориентировались на литературные данные и химические составы исходных сырьевых материалов, чтобы создавать условия для образования в процессе обжига кристаллической фазы - метасиликата магния в достаточно большом количестве при относительно низкой температуре обжига. За исходную массу стеатита нами принята масса Гжелского завода, изготавливающаяся на основе талька Онотского месторождения. Шихтовые составы опытных масс приведены в таблице 1.

Таблица 1

### Шихтовые составы опытных масс

Наименование сырья	Индекс массы								
	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Каолин Ангренский	15	17	20	25	30	20	25	20	20
Тальк Каракалпакии	21	22	20	35	30	35	45	50	55
Тальк обожженный	58	55	54	35	35	40	25	25	20
Бентонит Каттакурганский	3	3	3	2	2	2	2	2	2
Кремнеземсодержащий отход	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Углекислый барий (BaCO <sub>3</sub> )	1	1	1	1	1	1	1	1	1

В процессе обжига из состава талька удаляется влага, в результате чего происходит интенсивная усадка массы. Для устранения интенсивной усадки масс, в процессе обжига часть талька подвергали предварительному обжигу.

Для этого тальк измельчали до размера 1 - 2 мм, затем обжигали при температуре 1350<sup>o</sup>C с выдержкой при конечной температуре 30 минут.

Опытные массы были приготовлены в лабораторных условиях в виде пластичной массы. Далее опытные образцы подвергались обжигу при температурах 1200, 1250, 1300, 1350<sup>o</sup>C.

Химический состав исходных сырьевых материалов приведены в таблице 2.

Таблица 2

### Химический состав исходных сырьевых материалов

Наименование сырья	Содержание окислов, мас. %									
	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	TiO <sub>2</sub>	MgO	CaO	Na <sub>2</sub> O	R <sub>2</sub> O	SO <sub>3</sub>	Ппп
Каолин	51,2	35,7	0,28	-	0,14	0,44	0,12	0,21	-	11,85
Тальк	62,04	0,43	3,23	-	31,75	0,35	-	-	-	2,2
Бентонит	59,56	17,68	3,20	0,50	1,90	0,69	1,44	1,92	0,91	12,04
Кремнеземсодержащий	81,5	13,76	1,58	-	1,25	1,42	0,34	0,15	0,24	0,23

ОТХОД										
-------	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--

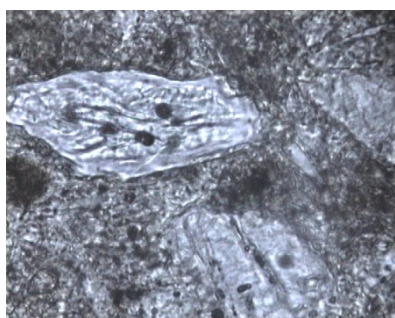
Фазовый состав опытных образцов является особо важным, так как все эксплуатационные свойства зависят от этих составов. Фазовый состав опытных образцов определялся методом петрографического, электронно-микроскопического и рентгеноструктурного анализов.

Петрографический анализ образцов исследовали на прозрачных шлифах в поляризованном свете и в порошковых препаратах иммерсионным методом.

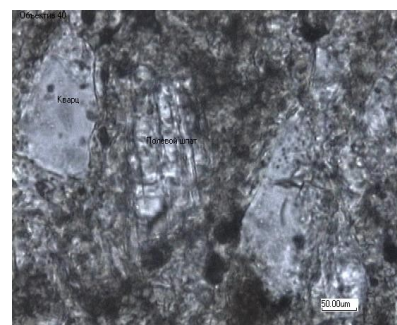
Результаты петрографического исследования опытных образцов из массы М<sub>1</sub>: а) Образец, обожженный при температуре 1200<sup>0</sup>С (рис. 1 а) имеет неоднородную грубозернистую структуру, имеются поры в значительном количестве. Содержится метатальк с N<sub>г</sub>= 1,575; N<sub>р</sub>=1,540 ; кварц с N<sub>с</sub> = 1,552; N<sub>о</sub>=1,540 стекловидная фаза, отдельные зерна метакаолинита.

б) Образец, обожженный при температуре 1250<sup>0</sup>С (рис. 1 б). Структура образца неоднородная, мелкозернистая, имеются поры размером 20-25 мкм. В основной массе содержатся стекловидная фаза, которая образуется за счет плавления легкоплавких компонентов. В образцах наблюдается появление зерен муллита из продуктов разложения метакаолинита размером 2-3 мкм, зерна кварца размером 20-25 мкм, наблюдается в незначительном количестве метасиликат магния. Часть кварца при высоких температурах переходит в α-кristобалит, имеющий N<sub>с</sub> = 1,484; N<sub>о</sub> = 1,487.

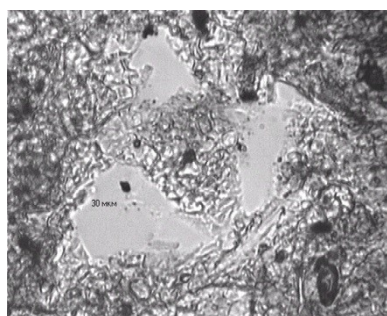
в) Образец, обожженный при температуре 1300<sup>0</sup>С (рис. 1 в). Структура образца неоднородная, мелкозернистая, имеются поры округленной формы, их величина достигает 20-25 мкм. Основная масса состоит из метасиликата магния, стеклофазы, муллита и кварца, которая распределена зерна метасиликата магния, имеются отдельные участки скоплений мелкозернистого муллита с размером зерен 2-3 мкм. Стекловидная масса распределена по всему объему. Содержание кварца несколько уменьшено по сравнению с образцом, обожженным при температуре 1250<sup>0</sup>С. Содержание зерен кристобалита встречается чаще, что установлено определением показателей светопреломления кварца и кристобалита. Вокруг зерен кварца имеются кайма оплавления.



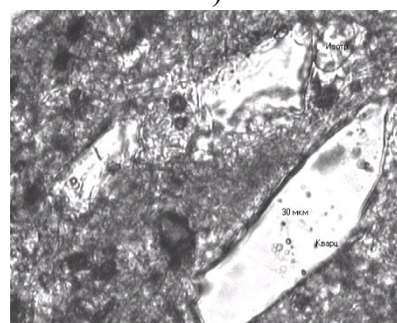
а)



б)



в)



г)

Температура обжига образцов <sup>0</sup>С : а) 1200; б) 1250; в) 1300; г) 1350

**Рис. 1. Микрофотография опытных образцов из массы М<sub>1</sub>**

г) Образец, обожженный при температуре 1350<sup>0</sup>С (рис. 1 г). Структура микрокристаллическая, плотная, однородная, преобладающая фаза-метасиликат магния размером 2-6 мкм. В основной массе содержатся муллит ( $N = 1,578$ ) с размером зерен 3-4 мкм. Кристаллы новообразований окружены цементирующими тонкими пленками стекловидной фазы. Содержание метасиликата магния по визуальному определению достигает 55-58%. В основной массе содержится в незначительном количестве зерна кварца имеющий неправильную осколочную форму, вокруг зерен кварца имеется кайма оплавления толщиной 8-10 мкм.

Таким образом, результаты петрографического анализа показали, что опытные образцы в процессе обжига претерпевают физико-химические процессы, в результате которых образуются новые кристаллические фазы метасиликата магния в виде протоэнстатита в количестве 55-61%, муллит, кристобалит и стекловидная фаза.

Установлено, что опытные образцы, обожженные при температуре 1350<sup>0</sup>С, имеют нормально сформированную, плотную структуру. Основными фазами являются кристаллическая фаза метасиликата магния в виде протоэнстатита, в нем содержится кварц, муллит, кристобалит и стекловидная фаза. Количество последних колеблется в пределах 38-40%. Размеры кристаллов протоэнстатита составляет 2-6 мкм,  $N_g=1,660$ ;  $N_p = 1,652$ .

Для решения поставленной задачи нами проведены электронно-микроскопическое исследование опытных образцов из стеатитовых композиционных смесей, обожженных при различных температурах.

Электронно-микроскопический анализ разработанных магнезиально-стеатитовых композиционных материалов показал, структура мелкокристаллическая, основная масса состоит из кристаллических фаз метасиликата магния, кварца, присутствует муллит. Среди основной массы в незначительном количестве встречаются зерна кварца. Кристаллы формируются при температурах 1200<sup>0</sup>С в мельчайшем виде, они вытягиваются в блоки. При температуре 1250<sup>0</sup>С кристаллы становятся более крупными, они имеют сферическую форму, агрегируются, имеют четкие очертания. По мере повышения температуры обжига образцов из масс  $M_1$ , процесс формирования их структуры полностью завершается, усиливается образование метасиликата магния, муллита. Кварц частично переходит в кристобалит, стекловидная фаза как бы цементирует эти кристаллические фазы.

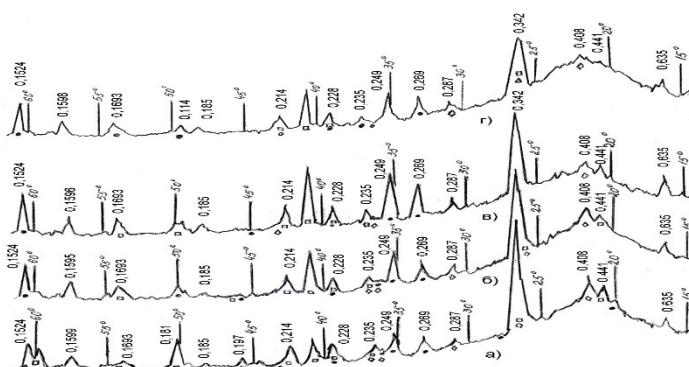
Проведено рентгенографическое исследование фазового состава опытных образцов, обожженных при температурах 1200, 1250, 1300, 1350<sup>0</sup>С из композиционных смесей на основе местного сырья и отхода промышленности. Рентгенограммы образцов из массы  $M_1$  приведены на рисунке 2.

Как видно из рис. 2 а, в образцах из композиционной смеси  $M_1$ , обожженной при температуре 1200<sup>0</sup>С, в виде кристаллических фаз присутствует  $\beta$ -кварц ( $d/n = 0,424; 0,334; 0,286; 0,245; 0,227; 0,181; 0,152$  нм), метакаолинит ( $d/n = 0,515; 0,739$  нм), метатальк ( $d/n = 0,457; 0,248; 0,192$  нм), кристаллическая решетка разрушена, видимо, вследствие плавления легкоплавких компонентов.

В образцах из композиционной смеси  $M_1$  (рис. 2 б), обожженных при 1250<sup>0</sup>С, в виде кристаллических фаз присутствует метасиликат магния-протоэнстатит ( $d/n = 0,462; 0,317$  нм), количество  $\beta$ -кварца уменьшилось ( $d/n = 0,424; 0,286; 0,245; 0,212; 0,152$  нм), кристобалит ( $d/n = 0,404; 0,314; 0,249; 0,152$  нм), появляется муллит в незначительном количестве ( $d/n = 0,286; 0,269; 0,254; 0,188$  нм).

В образцах из композиционной смеси  $M_1$  (рис. 2 в), обожженных при температуре 1300<sup>0</sup>С, наблюдается, что кристаллическая фаза протоэнстатита увеличилась, т.е. появились пики с ( $d/n = 0,462; 0,317; 0,272$  нм). Количество муллита значительно больше, содержание  $\beta$ -кварц уменьшилось, а количество кристобалита стало больше, что подтверждается появлением пиков при  $d/n = 0,314; 0,243$  нм, присущих кристобалиту.

В образцах из композиционной смеси  $M_1$ , обожженных при  $1350^{\circ}\text{C}$  (рис. 2 г), отмечается, что основной составной кристаллической фазой является метасиликат магния в виде протоэнстатита с  $d/n = 0,462; 0,317; 0,272; 0,212$  нм, содержание  $\beta$ -кварца уменьшается за счет перехода в кристобалит, количество образующегося муллита продолжает увеличиваться. При этой же температуре в образцах обнаружены клиноэнстатит с  $d/n = 0,254; 0,246; 0,214$  нм.



Температура обжига образцов,  $^{\circ}\text{C}$ : а)1200, б)1250, в)1300, г)1350;  
 □ - протоэнстатит; ◇ - клиноэнстатит; ● - энстатит

**Рис.2. Рентгенограммы опытных образцов из массы  $M_1$**

Анализируя рентгенограммы, можно сказать, что в образцах, обожженных при  $1200^{\circ}\text{C}$ , в виде кристаллических фаз присутствует кварц, метатальк, метакаолинит. В материалах, обожженных при  $1250^{\circ}\text{C}$ , кристаллизация метасиликата магния, муллита характеризуется меньшей интенсивностью пиков. В образцах, обожженных при  $1300^{\circ}\text{C}$ , кристаллизация метасиликата магния в виде протоэнстатита происходит более интенсивно, образование кристобалита с повышением температуры обжига характеризуется ростом интенсивностей пиков до  $1350^{\circ}\text{C}$ .

Исследование показало, что на рентгенограммах других составов стеатитовых композиционных смесей, обожженных при различных температурах, наблюдались аналогичные явления процессов фазообразования.

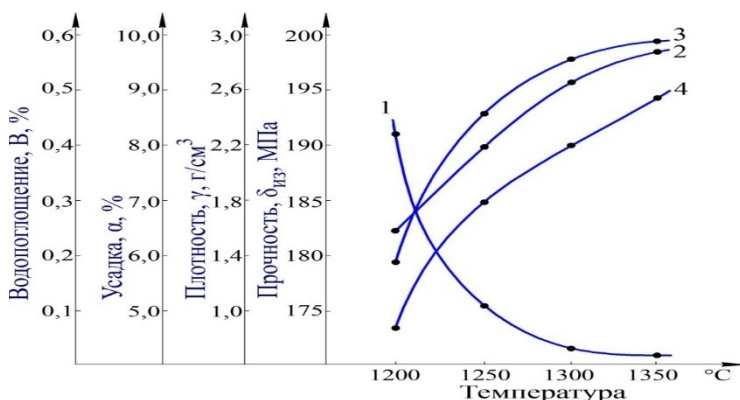
Таким образом, изучение фазовых превращений в структуре стеатитовых композиций, разработанных на основе местного сырья и отхода промышленности методом рентгенофазового анализа показало, что фазовый состав разработанных стеатитовых электрокерамических композиционных материалов состоит из кристаллических фаз протоэнстатита, муллита, кварца, кристобалита и в незначительном количестве клиноэнстатита.

Процесс спекаемости электрокерамических материалов зависит от многих факторов, состава шихты, химических составов исходных компонентов, физико-химических процессов, происходящих при обжиге, характера изменения керамико-технологических свойств и др.

Исследования процесса спекаемости стеатитовых электрокерамических композиций изучался косвенно, то есть путем определения характера изменения керамико-технологических свойств в зависимости от температуры обжига, результаты исследований приведены на рисунке 3.

При температуре  $1250^{\circ}\text{C}$  (рис.3) происходит начало наиболее интенсивного спекания, т.е. начинается второй период спекания. Образующаяся жидкая фаза в этом периоде содержит в своем составе значительное количество щелочных и щелочно-земельных оксидов, которые понижают вязкость расплава, делая его весьма подвижным и агрессивным. Наиболее заметное изменение плотности, прочности, водопоглощения, усадки и др. свойства для массы  $M_1$ , наблюдается в интервале температур  $1200\text{-}1300^{\circ}\text{C}$ . Это можно объяснить увеличением размера зерен, который, в свою очередь, влияет на изменение формы и размера пор, т.е. с уменьшением диаметра пор давление в них

возрастает. Дальнейшее увеличение температуры обжига обуславливает быстрое уплотнение исследуемых смесей. До температуры 1350<sup>0</sup>С в стеатитовых смесях степень уплотнения остается примерно одинаковой, выше 1350<sup>0</sup>С наблюдается её уменьшение. Уменьшение плотности при температуре выше 1350<sup>0</sup>С объясняется изменением открытой пористости. Интенсивное образование новых кристаллических фаз в образцах происходит до 1350<sup>0</sup>С и она заканчивается при этой температуре. При температуре 1350<sup>0</sup>С достигается максимальное значение предела прочности при статическом изгибе опытных образцов, выше этой температуры снова снижается. Температура максимального значения прочности совпадает температурой минимума пористости и водопоглощения.



**Рис. 3. Зависимость водопоглощения (В), усадки (L), плотности (γ), прочности (δ<sub>из</sub>) стеатитовых материалов состава М<sub>1</sub> от температуры обжига**

В образцах в температурном интервале 1300-1350<sup>0</sup>С достигается полная смачиваемость твердых зерен образующейся жидкостью, количество которой достаточно для заполнения пор между частицами, за счет чего достигается почти нулевое водопоглощение. С повышением температуры обжига происходит изменение усадки аналогично кривым других свойств. До температуры 1350<sup>0</sup>С в образцах происходит плавное повышение усадки, а начиная с 1350<sup>0</sup>С - происходит её снижение. Анализируя полученные данные можно сказать, что массы М<sub>1</sub> спекаются при 1350<sup>0</sup>С.

В таблице 4 приведены керамико-технологические свойства опытных образцов из опытных масс. Как видно из данных таблицы 5, опытные образцы с различным шихтовым составом по своим керамико-технологическим свойствам отличаются друг от друга и отвечают требованиям ГОСТ 24409-80. Среди опытных образцов наиболее высокими показателями плотности, прочности, термостойкости и низкими показателями водопоглощения отличаются образцы из массы М<sub>1</sub>, М<sub>2</sub>, М<sub>3</sub>. Эти образцы в процессе обжига при температуре 1350<sup>0</sup>С обладают наиболее высокими показателями керамико-технологических свойств по сравнению с образцами из других смесей. Коэффициент термического расширения этих образцов колеблется в пределах (152-156)·10<sup>-6</sup> °С<sup>-1</sup>.

Исследованием установлено, (табл.2) что тангенс угла диэлектрических потерь опытных образцов увеличивается с увеличением содержания глины в составе материала и опытные образцы стеатитовых материалов имеют тонкозернистую структуру, отличаются друг от друга, главным образом, количеством метасиликата магния и стекловидной фазы. Кроме того, состав стекловидных фаз отличаются друг от друга своим составом, так как количество вводимых глинистых материалов различное. С увеличением содержания глины в составе материала увеличивается тангенс угла диэлектрических потерь (tgδ).

Таблица 3

**Керамико-технологические свойства опытных образцов из стеатитовых композиционных смесей**

Наименование показателей	М <sub>1</sub>	М <sub>2</sub>	М <sub>3</sub>	М <sub>4</sub>	М <sub>5</sub>	М <sub>6</sub>	М <sub>7</sub>	М <sub>8</sub>	М <sub>9</sub>
Влажность, %	20	21	20	20	21	21	21	21	22
Воздушная усадка при 105-	13,5	13,2	13,0	13,6	13,7	13,5	13,7	13,8	13,9

110°C, %									
Огневая усадка при 1300°C	9,2	9,1	9,3	9,4	8,6	9,3	9,4	9,6	9,3
1350°C	9,6	9,7	9,5	9,8	9,8	9,9	10,1	10,2	10,1
Объемная масса, г/см <sup>3</sup>	2,66	2,65	2,66	2,60	2,61	2,62	2,64	2,63	2,62
Общая пористость, %	6,30	6,32	6,32	6,35	6,8	7,1	7,1	7,2	7,3
Водопоглощение, %, при 1300°C	0,02	0,02	0,03	0,02	0,01	0,02	0,03	0,04	0,05
1350°C	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,01	0,03	0,03	0,48
Плотность, г/см <sup>3</sup> , при 1300°C	2,84	2,82	2,84	2,81	2,80	2,79	2,78	2,75	2,71
1350°C	2,88	2,86	2,85	2,84	2,81	2,81	2,80	2,79	2,79
Предел прочности при статическим изгибе, МПа, при 1200°C	173	170	169	168	169	164	165	163	162
1250°C	185	183	178	178	183	178	178	179	177
1300°C	190	190	189	190	182	179	180	180	179
1350°C	195	190	192	192	190	185	186	185	181
КТЛР, ·10 <sup>-6</sup> °C <sup>-1</sup>	152	154	156	148	158	159	158	160	159
Термостойкость,	131	130	129	128	125	124	124	123	120
Тангенс угла диэлектрических потерь при 20°C, ·10 <sup>4</sup>	18	19	20	21	23	25	25	24	26
Диэлектрическая проницаемость	6,1	6,2	6,3	6,2	6,5	7,0	7,0	7,2	7,2
Удельное объемное эл.сопротив., ·10 <sup>13</sup> ом ·см	7	7	6,8	6,3	6,1	5,9	6,2	5,8	6,9
Электрическая прочность, кВ/мм	41	40	39	38	39	40	38	37	38

Так как состав стеклофазы оказывает существенное влияние на tgδ, нами проведены исследования о выявлении влияния количественных соотношений различных окислов в стекле исследуемых стеатитовых материалов на tgδ.

При этом мы использовали эмпирическое уравнение для одновременного определения коэффициента молекулярного соотношения (КМС) для всех окислов в составе стекла.

$$\text{КМС}_{\text{стеклофазы}} = \frac{R_2O + RO + 0,5(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}{SiO_2 + 0,5(Al_2O_3 + Fe_2O_3)}$$

Это уравнение показывает соотношение окислов не образующих стекла (SiO<sub>2</sub>) к оксидам образующих стекла (R<sub>2</sub>O и RO) для силикатных стекла. Используя эту формулу и таблицу 3, был проанализирован МКО экспериментальных композиций, результаты представлены в таблице 4.

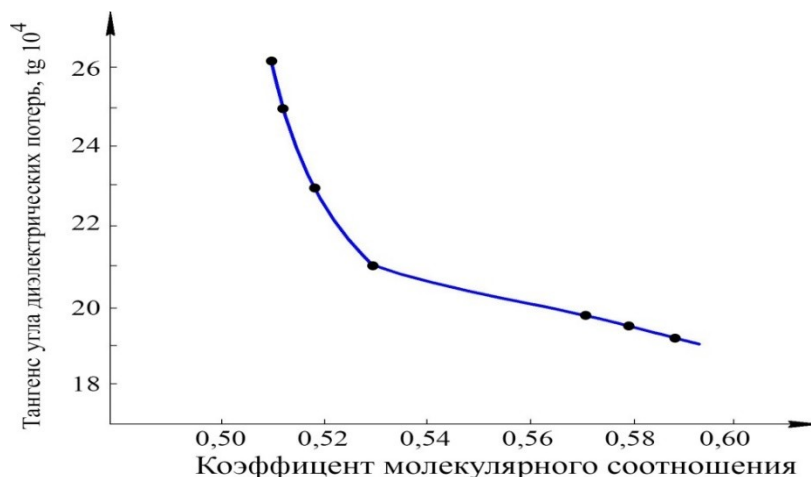
Таблица 4

**Диэлектрические свойства опытных образцов из стеатитовых композиционных смесей**

Наименование показателей	M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9
Тангенс угла диэлектрических потерь при 20°C, ·10 <sup>4</sup>	18	19	20	21	23	25	25	24	26
Диэлектрическая проницаемость	6,1	6,2	6,3	6,2	6,5	7,0	7,0	7,2	7,2

Удельное объемное эл.сопротив., $\cdot 10^{13}$ ом $\cdot$ см	7	7	6,8	6,3	6,1	5,9	6,2	5,8	6,9
Электрическая прочность, кВ/мм	41	40	39	38	39	40	38	37	38

На рисунке 4 приведен характер изменения  $\text{tg}\delta$  от КМС стеклофазы для опытных масс.



**Рис. 4. Зависимость тангенс угла диэлектрических потерь от коэффициента молекулярного соотношения стеклофазы опытных масс**

Как видно из рисунка 4, что выявлена зависимость  $\text{tg}\delta$  от КМС стеклофазы для исследуемых опытных масс, разработанных на основе талька Каракалпакии и бентонита Каттакурганского месторождения с применением Ангреноского каолина и отхода промышленности.

Таким образом, установлено, что снижение  $\text{tg}\delta$  вызвано увеличением КМС стеклофазы в результате повышения в ней концентрации  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$  и уменьшение  $\text{SiO}_2$ .

В стеатитовых материалах большое значение имеет зависимость диэлектрических свойств материала от изменения температуры нагрева и частоты электрического тока, так как стеатитовые материалы эксплуатируются при повышенных температурах и частотах.

Из многих литературных источников известно, что с повышением температуры ухудшаются свойства стеатитовых материалов. Ухудшение свойств зависит от многих факторов, и в большей мере от состава стеатитовых материалов. В связи с этим, в данной работе нами исследована зависимость диэлектрической проницаемости и тангенса угла диэлектрических потерь, удельного объемного сопротивления от температуры обжига.

Установлено, что диэлектрическая проницаемость стеатитового материала при повышении температуры возрастает, тангенс угла диэлектрических потерь незначительно повышается до температуры  $300^\circ\text{C}$ , далее с повышением температуры он резко повышается. Это объясняется тем, что с повышением температуры, во-первых, материал нагревается и внутри материала происходит увеличение поляризации и движение зарядов, благодаря чему увеличивается расход электроэнергии внутри диэлектрика на обогрев материала и на движение зарядов. С повышением температуры обжига удельное объемное электрическое сопротивление значительно уменьшается. Увеличение частоты электрического тока оказывает влияние на свойства материала. Исследованы зависимость диэлектрической проницаемости ( $\epsilon$ ) и тангенса угла диэлектрических потерь ( $\text{tg}\delta$ ) стеатитовой композиции  $M_1$  от частоты электрического тока в диапазоне частот 0,3-30 МГц.

Установлено, что наименьшее значение  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  наблюдается во всех образцах при частоте переменного электрического поля 30 кГц. Наибольшее значение  $\text{tg}\delta$  и  $\epsilon$  имеют



все образцы при частоте 0,3 кГц. Характер зависимости  $\text{tg}\delta$  от температуры позволяет предполагать, что он обусловлен преобладающими потерями, вызванными тепловыми релаксационными процессами, связанными с движением слабо связанных ионов щелочных металлов, содержащихся в стеклофазе. Имеющиеся в фазовом составе последнего поры тоже влияют на изменение значений этих диэлектрических свойств при высоких напряжениях поля вследствие развития ионизации.

Кристаллические фазы метасиликата магния, муллит, как основные составляющие фазового состава исследуемого материала  $M_1$ , относятся к диэлектрикам с кристаллической структурой с неплотной упаковкой ионов. Эти же кристаллы характеризуются релаксационной поляризацией и поэтому вызывают повышение диэлектрических потерь. Зависимость диэлектрической проницаемости от температуры можно объяснить тем же механизмом, что и для определения  $\text{tg}\delta$ .

Установлено, что увеличение частоты электрического тока приводит к уменьшению тангенса угла диэлектрических потерь и диэлектрической проницаемости. Кроме того, чем больше частота электрического тока, тем меньше зависимость этих параметров от температуры.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Установлен химико-минералогический, гранулометрический состав, физико-химические и технологические свойства Каракалпакского талька, Каттакурганского бентонита, с помощью комплексных физико-химических анализов.

Разработан оптимальный состав стеатитовой электрокерамической композиции на основе местного сырья: талька, бентонита, каолина и кремнеземсодержащих отходов.

Установлено, что фазовый состав созданной стеатитовой электрокерамической композиции содержит метасиликат магния, муллит, кварц, кристобалит и стекловидные фазы, заполняющие промежуток между частицами кристаллической фазы.

Выявлено, что использование Каракалпакского талька, Каттакурганского бентонита, кремнеземсодержащих отходов производства в составе стеатитовой электрокерамической композиции, приводит к снижению температуры обжига на 50 °С, по сравнению со стандартной, что позволяет экономить топливно-энергетические ресурсы и удешевлять готовую продукцию.

### ЛИТЕРАТУРЫ

1. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Тўйчиева М.О., Умирова Н.О., Аззамова Ш.А. Петрографическое и рентгенографическое исследования керамических композиций на основе местного сырья // *Universum: технические науки*. Выпуск: 8(89), Москва, 2021, Часть 2. - С. 117-122 (02.00.00 №1).

2. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Тўйчиева М.О., Умирова Н.О., Аззамова Ш.А. Разработка и исследование керамики-технологических и диэлектрических свойств композиционных электрокерамических материалов // *Universum: технические науки*. Выпуск: 8(89), Москва, 2021, Часть 2. – С. 293-298 (02.00.00 №1).

3. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Валиева Г.Ф. Исследование процесса спекания электрокерамических композиций // *Universum: технические науки*. Выпуск: 10(91), Москва, 2021, Часть 4, - С. 44-46 (02.00.00 №1).

4. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Джабаров Б.Т., Ходжаева Д.Н. Состав и свойства электрокерамических композиций на основе отхода промышленности // *Композиционные материалы*, №3, 2021, - С. 179-181 (02.00.00 №4).

5. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Ходжаева Д.Н. Фазовый состав электрокерамических композиционных материалов с

улучшенными свойствами // Композиционные материалы, №3, 2021, - С. 200-202 (02.00.00 №4).

6. Туляганова В.С., Абдуллаева Р.И., Негматов С.С., Тўйчиева М.О., Шарипов Ф.Ф., Ходжаева Д.Н. Использование углекислого бария при получении композиционных электрокерамических материалов // Композиционные материалы, №3, 2021, - С. 208-209 (02.00.00 №4).