

**ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅԱՆ ԳԻՏՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ
ԱԶԳԱՅԻՆ ԱԿԱԴԵՄԻԱ
НАЦИОНАЛЬНАЯ АКАДЕМИЯ НАУК РЕСПУБЛИКИ
АРМЕНИЯ**

Հայաստանի քիմիական հանդես 66, №2, 2013 Химический журнал Армении

УДК 666.9.047.3.086.2

МИКРОВОЛНОВЫЙ СИНТЕЗ И СУШКА ШИХТЫ ЦИРКОНОВЫХ ПИГМЕНТОВ

**В. В. БАГРАМЯН, А. А. САРКИСЯН, А. А. КАЗАРЯН, Р. В. АРУТЮНЯН,
Г. Х. ПЕТРОСЯН и А. М. МЕЛИКСЕТАН**

Научно-производственное и проектное ЗАО «Камень и силикаты»
Армения, 0040, Ереван, ул. Ачаряна, 40а
E-mail: v_bagramyan@mail.ru

Поступило 1 X 2012

Исследованы процессы микроволновой сушки гидросиликатов циркония ($ZrO_2 \cdot mH_2O$) и шихты цирконовых пигментов составов $0.97ZrO_2 \cdot 0.03V_2O_5 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Fe_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Ce_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Pr_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Nd_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$, полученных методом микроволнового синтеза одновременным взаимодействием растворов силиката натрия и солей циркония и хромофорных металлов. Изучены процессы сушки гидросиликатов циркония и шихты цирконовых пигментов в режимах микроволнового и конвективного нагревов. Представлены результаты исследования процессов сушки гидросиликата циркония и шихты цирконовых пигментов. Показано, что микроволновая сушка идет намного быстрее конвективной. Установлена эффективность микроволновой сушки гидросиликата циркония и шихт цирконовых пигментов.

Рис. 4, табл. 1, библи. ссылок 22.

Большой интерес к цирконовым пигментам в последние годы обусловлен их ценными физико-химическими свойствами[1]. Они характеризуются исключительной стойкостью к действию высокой температуры, расплавленных глазурей и флюсов. Циркон обладает высокой термостойкостью, и благодаря входящим в его кристаллическую решетку хромофорам отличается способностью окрашиваться в разные цвета. Среди разнообразных способов получения цирконовых пигментов следует выделить следующие: прокаливание при разных температурах солей или гидроксидов соответствующих металлов, совместное сплавление солей в кристаллической форме с последующим прокаливанием смеси, золь-гель методы, совместное прокаливание оксидов с добавлением отдельных минерализаторов [2-9]. Одна из важнейших задач современной неорганической химии и материаловедения – разработка новых методов синтеза веществ, позво

ляющих снизить энергозатраты и сократить время образования конечных продуктов. К таким перспективным методам относится микроволновый (МВ) нагрев реакционных смесей, в том числе и при синтезе цирконовых пигментов. При этом существенно снижаются энергетические затраты по сравнению с традиционными способами проведения этих процессов [10-13]. Микроволновая обработка имеет ряд преимуществ по сравнению с обычными методами нагрева конденсированных сред (твердых тел и жидкостей): быстрота и малая инерционность нагрева, однородность нагрева материала по всему объему, возможность избирательного нагрева компонентов смеси веществ и высокий коэффициент полезного действия. Синтез гидросиликатов циркония и шихты цирконовых пигментов гидротермально-микроволновой обработкой из водных растворов силиката натрия и растворимых солей циркония и хромофоров, относится к числу наиболее перспективных, прост в осуществлении и экономичен. Нами предлагается метод получения силикатных растворов из кремнеземсодержащих горных пород Армении (перлиты, диатомиты, кварцит). По разработанному способу путем гидротермально-микроволновой переработки кремнеземсодержащих горных пород получают растворы щелочных силикатов ($\text{Na}_2\text{O} \cdot n\text{SiO}_2$, $n=1-3.3$) [14]. Важным этапом технологии полученных из растворов шихт пигментов является их сушка. Она должна обеспечить получение гомогенного порошка с определенной влажностью (8-10%). К настоящему времени существуют различные технологии сушки: естественная, аэрационная, конвекционная, сушка в псевдокипящем слое, инфракрасная, микроволновая, сублимационная и т.д. [15-20]. Очевидно, что современные технологии сушки, обеспечивающие высокое качество конечного продукта, должны опираться в основном на физические процессы, которые не так сильно связаны с изменяющимися в процессе сушки собственными свойствами продуктов.

Цель данной работы – гидротермально-микроволновый синтез силиката циркония и шихты цирконовых пигментов на основе растворов силиката натрия, полученных из горных пород, и микроволновая сушка синтезированных продуктов.

Экспериментальная часть

Синтез и сушка силиката циркония и шихты. Синтез силиката циркония и шихты осуществляли на бытовой микроволновой печи марки “CE1073AR” фирмы “Samsung”, переделанной для проведения химических процессов, в открытой стеклянной колбе, снабженной обратным холодильником и мешалкой. Сушку силиката циркония и шихты осуществляли в той же микроволновой печи в тефлоновых чашках. Условия синтеза и сушки: частота микроволн – 2,45

ГГц, мощность микроволновой печи – 900 Вт.

Для синтеза гидросиликата циркония и шихты использовали $\text{ZrOCl}_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$, $\text{Na}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2$, V_2O_5 , $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{Ce}(\text{NO}_3)_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{PrCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$, $\text{NdCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ марки “ч.”. Количества исходных растворов и V_2O_5 взяты с таким расчетом, чтобы обеспечить следующие составы в конечных продуктах: $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2$; $0.97\text{ZrO}_2 \cdot 0.03\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Pr}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2$.

Синтезы гидросиликатов циркония и шихт осуществлялись одновременным взаимодействием 0.5 М растворов хлористого циркония, силиката натрия и растворов хромофоров, поддерживая pH среды в интервале 7–7.2. Время нагрева реакционной смеси до температуры кипения при микроволновом синтезе составляет 2–3 мин, при этом температура реакционной среды поднимается до 110–115°C. Следует отметить, что приливание первых же порций ZrOCl_2 и растворов хромофоров к раствору силиката натрия мгновенно приводило к образованию хлопьевидного осадка. Для получения гомогенной массы реакционную смесь выдержали 25–30 мин при непрерывном перемешивании, после чего осадок отфильтровывали на воронке Бюхнера. Осадок тщательно отмывали от ионов Cl^- и Na^+ горячей водой путем репульсации и высушивали в микроволновой печи. За кинетикой процесса сушки следили изменением влажности образцов в зависимости от времени. Параллельно исследовали процесс сушки в той же микроволновой печи в режиме конвекции при температуре 150°C. Высушенная шихта легко растирается в порошок (размеры частиц не более 60 мкм). Высушенные шихты после помола подвергались термообработке с целью получения пигментов. Характеристики полученных пигментов соответствуют требованиям ГОСТ.

Методы анализа. Они аналогичны методам [22]. Определение ZrO_2 , V_2O_5 , Fe_2O_3 , Ce_2O_3 , Pr_2O_3 , Nd_2O_3 в растворах и силикатах проводили также весовым методом.

Рентгенофазовый анализ синтезированных силикатов проводили порошковым методом на дифрактометре “ДРОН-2” (CuK -излучение), а дифференциально-термический и термогравиметрический анализы – на приборе «Дериватограф» Венгерской фирмы MOM до температуры 1000°C. ИК-спектры сняты на спектрофотометре “Spekord-75 IR”. Образцы представляли собой смесь исследуемого порошка с вазелином, нанесенную в виде тонкого слоя на пластинку из NaCl .

Результаты и их обсуждение

Согласно данным физико-химическим анализов осадка, синтезированные твердые фазы имеют состав: $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.97\text{ZrO}_2 \cdot 0.03\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$;

$0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$;
 $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Pr}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$. Это аморфные
мелкодисперсные вещества с влажностью 80-85%.

Для определения состояния воды в гидросиликатах проведены термические исследования гидросиликата циркония в температурном интервале 20-500°C и высушенного гидросиликата циркония при 20-1000°C. Результаты представлены на рис. 1-2, из которых видно, что глубокий эндотермический эффект при температурах 125 и 150°C (интервал 90-375°C) соответствует удалению кристаллизационной воды, т.к. поглощенная вода удаляется при относительно низких температурах. Анализ кривой потерь массы образца указывает на то, что до температуры 375°C потеря массы составляет 85-90% от общих потерь (рис. 1). Ярко выраженный экзотермический эффект при температуре 850°C (рис. 2) свидетельствует об образовании безводной кристаллической фазы (ZrSiO_4). По-видимому, вода в структуре гидросиликатов находится в виде гидроксильных групп, и при нагревании происходит постепенное удаление гидроксильной воды (химически связанной). Основная часть воды – кристаллизационная, удаляется до температуры 375°C, а химически связанная вода – постепенно. Выше 400°C кривая потерь массы представляет собой прямую с плавным наклоном. Изменение веса образцов вследствие удаления химически связанной воды в температурном интервале 400-1400°C не превышает 5%. Таким образом, даже при температуре выше 1000°C в структуре силикатов остается около 3-5% от исходной влаги.

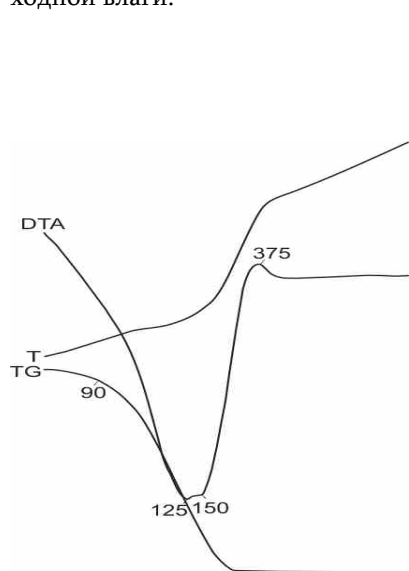


Рис. 1. Термограмма гидросиликата циркония (20-500°C).

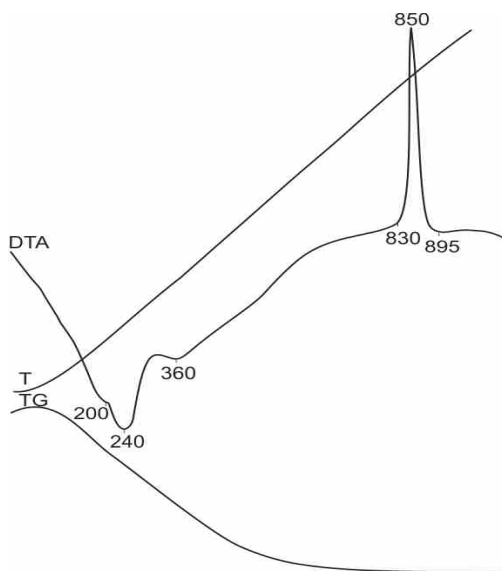


Рис. 2. Термограмма гидросиликата циркония (20-1000°C).

Изучена кинетика микроволновой сушки гидросиликата циркония и шихт цирконовых пигментов. Ранее нами были изучены процессы сушки комплексной стекольной шихты в сушильном шкафу с инфракрасными нагревателями [20], а также микроволновая сушка гидросиликатов Mg, Ca и Ba [21]. Для установления оптимального режима процесса сушки необходимо определение скорости сушки. Эксперименты для исследования процесса сушки гидросиликата циркония и шихт составов: $0.97\text{ZrO}_2 \cdot 0.03\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Pr}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$, проведены в режимах микроволнового и конвективного нагревов (мощность печей в обоих случаях по 900 Вт).

На рис. 3. показаны кинетические кривые сушки (изменение влажности (u) образца во времени. Сушку проводили до установления постоянного веса образцов. На рис. 4 показаны скорости сушки в режимах микроволнового и конвективного нагревов. Поскольку процессы конвективной сушки исследованных шихт протекают одинаково, экспериментальные данные конвективной сушки всех составов совмещаются (рис. 3 и 4, кр.7).

Сравнение данных в режимах микроволновой и конвективной сушки показывают, что микроволновая сушка идет в десять раз быстрее по сравнению с конвективной: при микроволновой сушке остаточная влажность 10% достигается за 12 мин, а при конвективной за это время влажность уменьшается всего на 5%. При конвективной сушке теплота подводится к фронту испарения за счет теплопроводности сухого слоя материала, а микроволновый способ обеспечивает нагрев материала во всем объеме, и при МВ сушке парообразование идет во всем объеме. Изменение влагосодержания в материале происходит только за счет испарения, а перемещение жидкой фазы отсутствует. При конвективной сушке фазовые превращения внутри влажного материала отсутствуют, и влага удаляется путем перемещения жидкой фазы в материале.

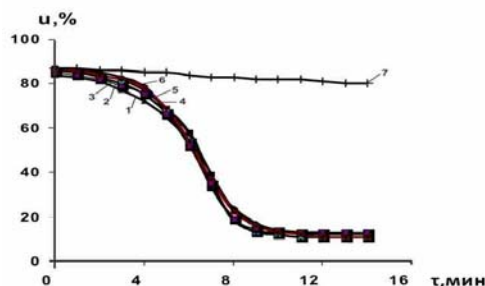


Рис. 3. Кривые МВ(1-6) и конвективной (7) сушки гидросиликатов: 1 – $\text{ZrO}_2 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; 2 – $0.97\text{ZrO}_2 \cdot 0.03\text{V}_2\text{O}_5 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; 3 – $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; 4 – $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Ce}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; 5 – $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Pr}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$; 6 – $0.98\text{ZrO}_2 \cdot 0.02\text{Nd}_2\text{O}_3 \cdot \text{SiO}_2 \cdot m\text{H}_2\text{O}$.

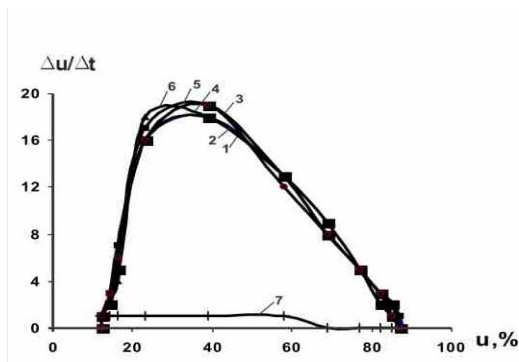


Рис. 4. Кривые скорости МВ(1-6)и конвективной (7) сушки гидросиликатов: 1 – $ZrO_2 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; 2 – $0.97ZrO_2 \cdot 0.03V_2O_5 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; 3 – $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Fe_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; 4 – $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Ce_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; 5 – $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Pr_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; 6 – $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Nd_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$.

Как видно, при конвективной сушке наблюдается период постоянства скорости, который характерен при традиционных методах сушки [16,18,19] мелко-дисперсных материалов с крупнопористой структурой, не создающей заметного сопротивления внутреннему перемещению влаги: скорость сушки определяется температурой и влагосодержанием сушильного агента. При микроволновом нагреве скорость сушки растет до максимального значения с возрастанием температуры во всем объеме материала, и по мере убывания влагосодержания скорость уменьшается. Постоянной скорости сушки при МВ нагреве не наблюдается.

Преимущество микроволновой сушки состоит в объемности и высокой скорости нагрева, после 10-12 мин достигается постоянное значение влажности (10%). При конвективной сушке постоянное значение влажности (10%) достигается после 2-часовой выдержки.

Таким образом, установлена эффективность микроволновой сушки гидросиликата циркония и шихт цирконовых пигментов.

Исследование выполнено при финансовой поддержке ГКН МОН РА в рамках научного проекта 11-1d198.

ՑԻՐԿՈՆԱՅԻՆ ՊԻԳՄԵՆՏՆԵՐԻ ԲՈՎԱՆԱՌՆՈՒՐԴԻ ՄԻԿՐՈՍԻԼԻԲՍԻՆՆԵՐԻ ՍՏԱՑՈՒՄԸ ԵՎ ՉՈՐԱՑՈՒՄԸ

Վ. Վ. ԲԱՂԴԱՍՅԱՆ, Ա. Ա. ՍԱՐԳՍՅԱՆ, Ա. Ա. ՂԱԶԱՐՅԱՆ, Ռ. Վ. ՀԱՐՈՒԹՅՈՒՆՅԱՆ, Գ. Խ. ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ և Ա. Մ. ՄԵԼԻՔՍԵԹՅԱՆ

Ուսումնասիրվել են ցիրկոնիումի հիդրոսիլիկատների և հետևյալ բաղադրությամբ՝ $0.97ZrO_2 \cdot 0.03V_2O_5 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Fe_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Ce_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Pr_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Nd_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$ ցիրկոնային պիգմենտների բովանդակությունների միկրոալիքային չորացման պրոցեսները: Բովանդակությունները ստացվել են միկրոալիքային սինթեզի մեթոդով նատրիումի սիլիկատների, ցիրկոնիումի և գունավորող քրոմոֆորային մետաղների աղերի լուծույթների միաժամանակյա փոխազդեցությամբ: Հետազոտվել են ցիրկոնիումի հիդրոսիլիկատների և ցիրկոնային պիգմենտների չորացման պրոցեսները միկրոալիքային և կոնվեկցիոն տաքացման պայմաններում: Ներկայացված են ցիրկոնիումի

հիդրոսիլիկատների և ցիրկոնային պիգմենտների բովանդակությունների չորացման պրոցեսների հետազոտության արդյունքները: Ցույց է տրված, որ միկրոալիքային չորացումը ընթանում է շատ ավելի արագ, քան կոնվեկցիոնը: Հաստատվել է ցիրկոնիումի հիդրոսիլիկատների և ցիրկոնային պիգմենտների բովանդակությունների միկրոալիքային չորացման արդյունավետությունը:

MICROWAVE SYNTHESIS AND DRYING OF ZIRCON PIGMENTS' CHARGES

V. V. BAGHRAMYAN, A. A. SARGSYAN, A. A. GHAZARYAN, R. V. HARUTYUNYAN,
G. X. PETROSYAN and A. M. MELIKSETYAN

"Stone and Silicates" Scientific – Industrial
and Projecting Closed Joint – Stock Company
40a, Acharyan Str., Yerevan, 0040, Armenia
E – mail: v_bagramyan@mail.ru

Microwave drying processes of zirconium hydrosilicates ($ZrO_2SiO_2 \cdot mH_2O$) and zircon pigment charges with compositions: $0.97ZrO_2 \cdot 0.03V_2O_5 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Fe_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Ce_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Pr_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$; $0.98ZrO_2 \cdot 0.02Nd_2O_3 \cdot SiO_2 \cdot mH_2O$, obtained by the microwave (MW) synthesis of simultaneous interaction of sodium silicate solutions, solutions of chromophoric metals and solutions of zirconium salts have been studied.

Sodium silicate solutions were obtained from diatomite by the method developed by us, by hydrothermal microwave processing of silica-rocks. Physicochemical analysis of synthesized batches has been carried out and the water state has been detected in hydrosilicates. IR and X-ray analyses have shown that the obtained charges are amorphous, wet (85%), fine-dispersed substances. The processes of drying of zirconium hydrosilicates and zircon pigments charges in modes of microwave and convective heating have been studied. Comparative studies of drying processes of zirconium hydrosilicate and charges of zircon pigments have been carried out. Kinetic curves of drying and drying rate in modes of microwave and convective heating are presented. It is shown that microwave drying runs faster than convective drying. In the case of microwave heating of materials heating rate considerably exceeds the rate of drying, which leads to the development of the basic drying process in the material. As a result, the rate of drying grows to a maximum value and moisture content decreases in descending order. Constant rate of drying at MW heating was not observed. The advantage of microwave drying consists in volumetric heating. In the case of microwave drying after 10-12 min, humidity remains constant without altering properties of materials in the drying process. The efficiency of microwave drying of zirconium hydrosilicate and charge of zircon pigments has been established.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Масленникова Г.Н., Пиш И.В. Керамические пигменты. М., ООО РИФ "Стройматериалы", 2009, с.224
- [2] Kyu-Ri Pyon, Kyong-Sop Han, Byung-Ha Lee // Journal of Ceramic Processing Research, 2011, v. 12(3), p.279.
- [3] Monros, G., Carda J., Tena M.A., Escribano P., Sales M., Alarcon J. // J. Eur. Ceram. Soc., 1993, v. 11(1), p.77.
- [4] Alarcon J. // J. Eur. Ceram.Soc., 2000, v. 20(11), p. 1749.

- [5] *Valentin C., Munoz M. C., Alarcon J.* // J. Sol-Gel Sci.Tech., 2000, v. 15(3), p. 221.
- [6] *Llusar M., Vincent J.B., Badenes J., Tena M.A., Monros G.* // J. Eur.Ceram. Soc., 1999, v. 19(15), p. 2647.
- [7] *Del Nero G., Cappelletti G., Ardizzone S., Fermo P., Gilardoni S.* //Journal of the European Ceramic Society,2004,v. 24(14), p.3603.
- [8] *Dimitrov Z., Georgieva L., Vassilev S.* // Bol. Soc. Esp. Cerám. Vidrio, 2003, v.42(4), p. 235.
- [9] *Kyu-Ri Pyon , Kyong-Sop Han, Byung-Ha Lee* // Journal of Ceramic Processing Research, 2011, v. 12, (3), p. 279.
- [10] *Берданосов С.С.* // Соросовский образовательный журнал, 2001, т. 7, ¹¹, с. 127.
- [11] *Рахманкулов Д.Л., Бикбулатов И.Х., Улаев Н.С., Шавшукова С.Ю.* Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов. М., Химия, 2003, с.220.
- [12] *Blosi M., Dondi M., Albonetti S., Baldi G., Barzanti A., Zanelli C.* // Journal of the European Ceramic Society, 2009, v.29(14), p.2951.
- [13] *Rajeswari K., Hareesh U.S., Subasri R., Chakravarty D., Johnson R.* // Science of Sintering, 2010, v.42(3), p.259.
- [14] *Baghramyan V.V., Sargsyan A. A., Meliksetyan A.M., Ghazaryan A.A, Leonelli C.* //2GCMEA, 2012, Kalifornia,Book of Abstracts, p.98.
- [15] *Явчуновский В.Я.* Микроволновая и комбинированная сушка: физические основы, технологии и оборудование. Саратов, Изд. Саратов. ун-та, 1999, с. 211.
- [16] *Антипов С.Т.* / Модернизация существующего и разработка новых видов оборудования для пищевой промышленности. Сб. научных трудов Воронеж. гос.технол.акад., Воронеж, 2003, вып. 13. с. 6.
- [17] *Brukov A., Rikenglez L.* // Journal of Microwave Power and Electromagnetic Energy, 2000, v.35(3), p. 191.
- [18] *Антипов С.Т.* // Хранение и переработка сельхоз.сырья, 2002, ¹⁹, с. 50.
- [19] *Фролов В.Ф.* Моделирование сушки дисперсных материалов. Л., Химия, 1987, с. 207.
- [20] *Баграмян В.В.* // Информационные технологии и управление. Ереван, 2001, т. 3, ¹², с. 27.
- [21] *Баграмян В.В., Саркисян А.А., Чалян А.Г., Бабаян Г.Г.* // Вестник Инженерный академии Армении, 2011, т. 8, ¹³, с. 404.
- [22] *Баграмян В.В., Саркисян А.А., Меликсетян А.М., Казарян А.А., Леонелли К.* // Хим. ж. Армении, 2013, т. 66, ¹¹, с. 49.