

– № 97108261/03; Заявлено 20.05.97; Опубл. 20.07.98, Бюл. № 14. **9.** Патент 18723. МПК В01J 3/04. Автоклавна установка тепловологісної обробки / *Сліпенька О. П., Сторожук С. Б., Коц І. В.*  
– № u 200605904; Заявлено 29.05.2006; Опубл. 15.11.2006, Бюл. № 11. **10.** *Сліпенька О. П., Коц І. В.*  
Аналітичне дослідження автоклавних установок із аеродинамічним нагрівом. // Вісник Хмельницького національного університету. – 2006. – № 5. – С. 93. **12.** *Тевис П.И., Ананьев В.А., Шадек Е.Г.* Рециркуляционные установки аэродинамического нагрева. – М.: Машиностроение, 1986. – 208 с.

*Надійшла до редколегії 11.09.08*

УДК 666.3.016 : 666.714

**Е.С. ЦИБУЛЬКО**, ООО ЕПК «Братья», м. Одеса, Україна  
**В.В. КОЛЄДА**, канд. техн. наук, **Є.В. АЛЕКСЄЄВ**,  
**О.С. МИХАЙЛЮТА**, канд. техн. наук, ДВНЗ “УДХТУ”,  
м. Дніпропетровськ, Україна

## **КЕРАМІЧНІ МАСИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА КЛІНКЕРНОЇ ЦЕГЛИ З ВИКОРИСТАННЯМ СИРОВИННИХ МАТЕРІАЛІВ СХІДНОЇ УКРАЇНИ**

Представлено результати досліджень сировинних матеріалів Східної України з метою розробки на їх основі складів мас для виготовлення клінкерних виробів. Одержані в результаті роботи керамічні маси після традиційних технологічних операцій – підготовки, пластичного формування та випалу при 1180 °С забезпечують високі значення експлуатаційних показників керамічного матеріалу, тобто, водопоглинання до 4 % та механічну міцність при стисканні більше 40 МПа.

In this article are results of investigations the clay raw materials West Ukraine to elaborate ceramic masses for clinker brick production. The choice of rational compositions masses was carried out. The materials obtained after plastic forming and sintering by temperature 1180 °C has the wateruptake to 4 % and mechanical strength more than 40 MPa.

Останнім часом, завдяки зростанню темпів будівництва в нашій країні, спостерігається підвищення попиту на клінкерну цеглу, оскільки вона характеризується високими експлуатаційними та естетичними властивостями [1 – 3], а саме – відрізняється широкою гамою кольорів, високою міцністю й морозостійкістю. Очевидно, що ринок таких керамічних виробів і в подаль-

шому буде інтенсивно розширюватися. В зв'язку із зазначеним, наукові дослідження, спрямовані на розробку мас для виготовлення клінкерної кераміки сьогодні є актуальними і перспективними.

В даній роботі вивчались різні сировинні матеріали Східної України, такі як глина глауконітова, глинистий сланець, глини "Технік", бентонітова глина та пегматитова порода, на предмет їх застосування у складах керамічних мас для вказаних виробів. Аналіз хімічного, мінералогічного складів вибраних матеріалів (табл. 1, рис. 1) та основних властивостей (табл. 2) свідчить про їх значну відмінність, що, в свою чергу, обумовлює різну поведінку при термообробці.

Таблиця 1

Хімічний склад дослідних матеріалів, мас.%

№	Назва матеріалу	Вміст компонентів, 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>	CaO	MgO	SO <sub>3зар</sub>	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O	в.п.п.
1	Глина глауконітова	76,0	7,0	5,4	0,4	0,5	0,9	0,230	1,65	0,40	6,8
2	Глинистий сланець	59,0	18,1	7,5	0,9	1,2	3,1	0,060	3,05	0,85	6,5
3	Глина "Технік-1"	59,5	24,5	2,2	1,5	0,3	0,5	0,055	1,85	0,50	8,4
4	Глина "Технік-2"	66,2	20,2	1,5	1,6	0,3	0,4	0,050	1,75	0,50	6,8
5	Глина бентонітова	70,7	14,8	6,0	0,9	0,6	2,1	0,130	1,00	0,67	3,4
6	Пегматитова порода	73,2	16,2	1,5	0,2	1,6	0,3	–	4,25	2,00	0,9

Таблиця 2

Властивості дослідних глинистих матеріалів

№	Назва матеріалу	Розмір часток, мм				Число пластичності	Усадка повітряна, %	Вода затворіння, %	
		> 0,25	0,25 – 0,05	0,05 – 0,01	< 0,01			абсолютна	відносна
1	Глина глауконітова	1,5	21,5	13,4	63,6	15,9	5,20	31,6	24,0
2	Глинистий сланець	0,9	7,1	10	82,0	10,6	4,67	22,0	18,0
3	Глина "Технік-1"	0,5	5,1	9	85,4	23,7	6,45	28,2	22,0
4	Глина "Технік-2"	0,8	8,8	6,6	83,8	25,0	5,86	22,0	18,0
5	Глина бентонітова	1,3	10,7	1,6	86,4	43,0	10,90	37,9	27,5

Для встановлення характеру спікання глинистих матеріалів, методом

пластичного формування було виготовлено зразки-кубики розміром 30 × 30 × 30 мм, які після природного сушіння випалювали в температурному інтервалі від 950 до 1200 °С.

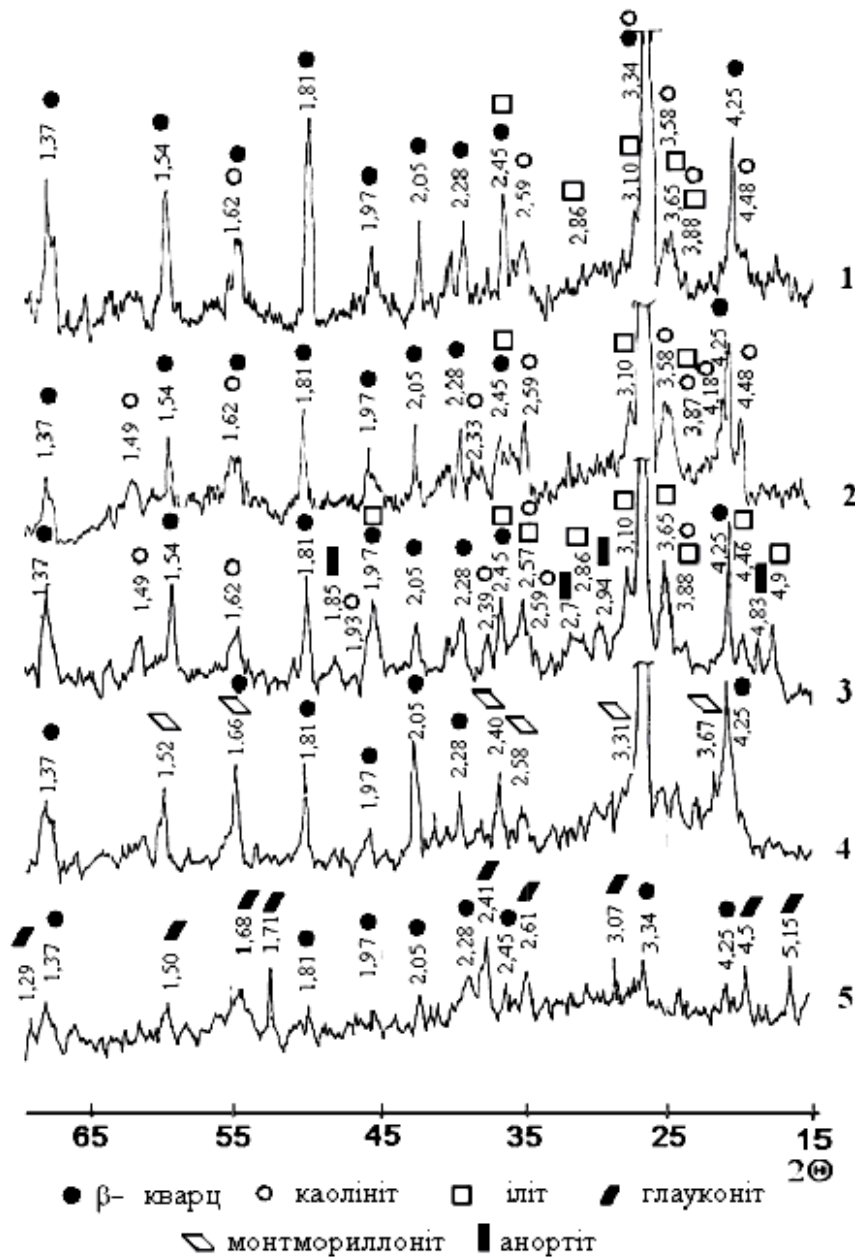


Рис. 1. Фазовий склад дослідних матеріалів:  
1 – глина “Технік-2”, 2 – глина “Технік-1”, 3 – глинистий сланець,  
4 – глина глауконітова, 5 – глина бентонітова

Встановлено, що одним з більш легкоплавких матеріалів є глинистий сланець, на поверхні зразків з якого починає з’являтися склоподібна плівка вже при 1100 °С. Останнє пов’язане з високим вмістом таких активних плав-

нів, як оксиди заліза (7,5 %), кальцію (1,2 %), магнію (3,1 %), калію (3,05 %) та натрію (0,85 %), які сприяють появі значної кількості рідкої фази. Підвищення температури випалу призводить до збільшення інтенсивності склоутворення в керамічній масі, а при 1150 °С й вище спостерігається її інтенсивне спучування, що підтверджується збільшенням значень водопоглинання дослідних зразків (табл. 3). При цьому має місце також змінення їх забарвлення від світло-бурого до коричневого.

Таблиця 3

Властивості керамічних зразків, випалених при різних температурах

№ проби	Температура випалу °С	Усадка, %		Водопоглинання, %	Пористість, %	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Межа міцності при стисканні, кг/см <sup>2</sup>
		вогнева	повна				
Глина глауконітова	1000	3,9	8,9	24,0	35,6	1,5	197
	1200	10,1	15,1	8,6	16,7	1,9	300
Глинистий сланець	1000	3,9	8,4	7,8	11,5	1,4	270
	1200*	–	–	9,4	19,8	2,1	–
Глина “Технік-1”	1000	2,9	9,4	12,4	23,9	1,9	246
	1200	7,1	13,8	0,5	1,2	2,4	327
Глина “Технік-2”	1000	2,2	8,7	12,4	24,2	1,9	283
	1200	6,1	11,8	0,2	0,4	2,3	342
Глина бен-тонітова	1000	6,2	13,8	9,3	17,3	1,9	165
	1200**	–	–	–	–	–	–

\*інші властивості не визначались, оскільки зразки засклілись або спучились

\*\* зразки в наслідок їх підвищеної легкоплавкості не випалювали

Більш світлий жовтувато-червоний колір мають зразки, виготовлені з глауконітової глини, яка відрізняється незначною кількістю досить тугоплавкого оксиду алюмінію (7,0 %) та меншим вмістом оксиду заліза (5,4 %) у своєму складі. Окрім того, глауконітова глина має відносно високу кількість грубодисперсних часток (більше 0,05мм 23 %), які в інтервалі температур 950 – 1000 °С не дозволяють досягти високого ступеня спікання матеріалу, що підтверджується високим водопоглинанням (24,0 %) та низькою механічною міцністю зразків (197 кг/см<sup>2</sup>). З підвищенням температури до 1050 – 1100 °С спостерігається ущільнення матеріалу та зміна його забарвлення із світло-жовтого у більш темні відтінки, яке при 1200 °С переходить у темно-буре. Вказане свідчить про появу достатньої кількості рідкої фази, щоб

забезпечити спікання зразків до водопоглинання 8,6 % та міцності 300 кг/см<sup>2</sup>, але ще не призводить до засклення.

Характер спікання глин “Технік-1” та “Технік-2” майже ідентичний: при температурі 1000 °С дослідні зразки мають водопоглинання 12,4 %, яке при 1150 – 1200 °С у зразків із обох глин зменшується відповідно до 0,5 та 0,2 %, що свідчить про їх високу схильність до спікання. За рахунок різного вмісту оксидів заліза (2,2 та 1,5 % відповідно) на зразках спостерігається відмінність забарвлення, яке при підвищенні температури змінюється від сірувато-рожевого кольору до сірого, але для глини “Технік-1” характерні більш насичені тони.

Бентонітова глина містить невисоку кількість оксиду алюмінію та є найбільш легкоплавкою серед дослідних глинистих матеріалів в першу чергу за рахунок досить високої дисперсності (86,4 % часток розміром менше 0,01 мм) – вже після випалу при температурі 1000 °С зразки мають водопоглинання 9,3 %. Вказане пояснюється також високим вмістом в ній оксидів-плавнів (6,0 % Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 2,1 % MgO) [1]. З підвищенням температури випалу дослідні зразки набувають буруватого забарвлення, на поверхні з’являються ознаки спучування, а в інтервалі температур 1150 – 1200 °С – сильно оплавляються і повністю втрачають форму.

Таким чином, представлені дані дозволили прогнозувати можливість одержання із вказаних матеріалів керамічних зразків з різними властивостями та широкою кольоровою гаммою. Для цього на наступному етапі роботи було вивчено вплив різних комбінацій вибраних глинистих матеріалів у складах керамічних мас, та зміну їх властивостей при різних температурах випалу. Склади дослідних мас представлені на рис. 2.

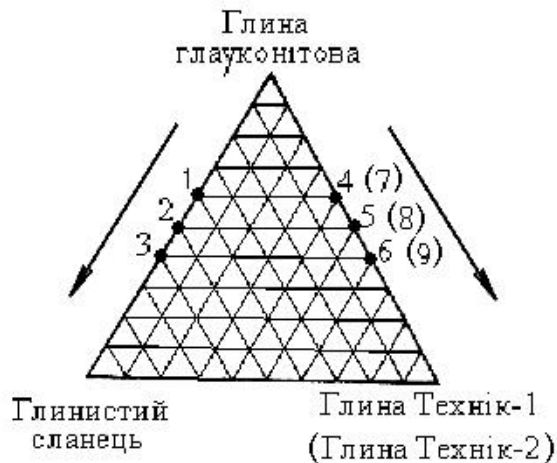


Рис. 2. Схематичне зображення складів дослідних мас

Дослідні зразки розміром  $30 \times 30 \times 30$  мм виготовляли методом пластичного формування та випалювали в лабораторній електричній печі при 1100, 1140 та 1180 °С з витримкою при максимальних температурах протягом 2 годин і наступним охолодженням у печі.

Контроль характеру спікання керамічного черепка проводили за рахунок порівняння таких властивостей, як водопоглинання та механічна міцність при стисканні. Аналіз одержаних результатів (рис. 3) показав, що дослідні керамічні маси, які містять глинистий сланець (№№ 1 – 3) є більш легкоплавкими. Найбільш щільно спечені та, відповідно, міцні зразки були одержані в системі “глауконітова глина – глинистий сланець” після випалу при 1100 °С: вони мають водопоглинання 1 – 2 % та межу міцності при стисканні від 39,0 до 22,4 МПа, яка знижується при підвищенні вмісту глинистого сланцю від 40 до 60 мас. %. Із підвищенням температури від 1100 до 1180 °С водопоглинання у вказаній серії зразків збільшується від до 14,7 – 16,2 %, що свідчить про їх спучення, обумовлене надлишковою кількістю склоподібної фази.

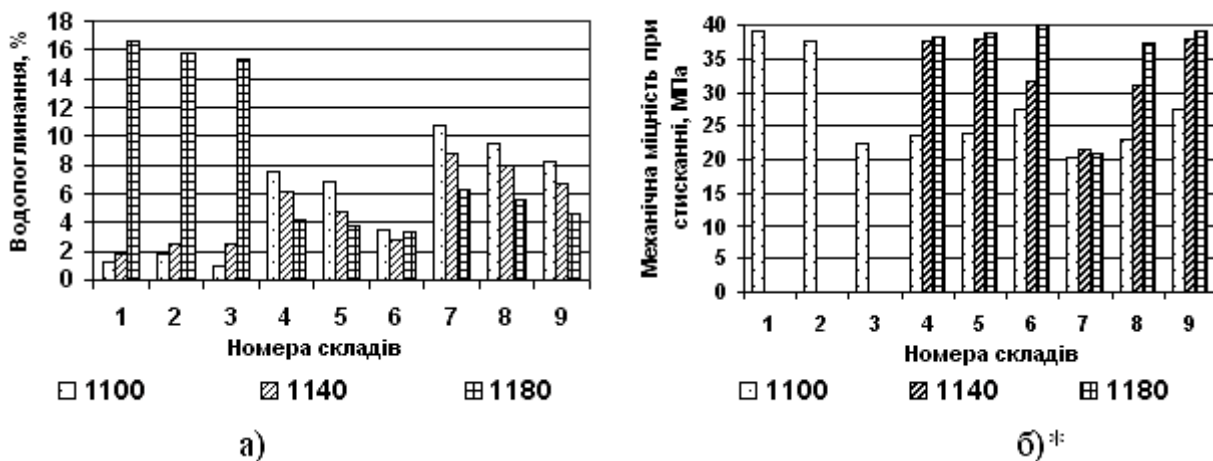


Рис. 3. Залежність водопоглинання (а) та механічної міцності при стисканні (б) дослідних зразків від температури випалу

(\*механічну міцність зразків № 1 – 3 після випалу при температурах 1140 і 1180 °С не визначали внаслідок їх засклення та спучування)

Керамічні зразки, які містять від 40 до 60 мас. % глин “Технік-1” (склади мас 4 – 6) та “Технік-2”(7 – 9) не мають ознак перевипалу у дослідному інтервалі температур. Збільшення в масах вмісту глин серії “Технік” призводить до покращення їх спікання, що підтверджується зниженням водопоглинання при всіх температурах випалу. Кращі характеристики основних влас-

тивостей мають зразки, виготовлені із керамічних мас складів № 6 та № 9, в яких співвідношення глауконітова глина : глина “Технік-1 (або Технік-2)” складає 2 : 3. Міцність дослідних зразків після випалу при 1180 °С знаходиться в межах 35 – 40 МПа, а водопоглинання відповідно для зразків на основі глин “Технік-1” та “Технік-2” складає 3,5 та 4,2 %.

Таким чином, проведені дослідження показали можливість одержання керамічних зразків з високою щільністю в системах “глауконітова глина – глина “Технік-1” та “глауконітова глина – глина “Технік-2” , але їх міцність при цьому залишається низькою (не більше 40,0 МПа), а інтервал спікання мас – вузьким, що робить їх чутливими до температурних перепадів, які часто мають місце в промислових печах.

З метою запобігання вказаних недоліків до складів мас № 6 та № 9, які мали кращі показники властивостей і були обрані для подальших досліджень, вводили добавки пегматитової породи в кількості 10 (склади 6-1 та 9-1) та 20 мас.% (склади 6-2 та 9-2) замість легкоплавких глин “Технік”. Передбачалось, що пегматитова порода, завдяки підвищеному вмісту тугоплавкого компоненту кремнезему, а також наявності польвошпатових мінералів, які, з одного боку виступають в ролі “плавня”, а з другого – при взаємодії з кремнеземом сприяють утворенню рідкої фази з підвищеною в’язкістю [5], буде в цілому позитивно впливати на розширення інтервалу спікання дослідних керамічних мас та зниження їх схильності до деформації в процесі випалу. Враховуючи збільшення у складах мас опіснюючих складових, для забезпечення їм необхідних формувальних властивостей додатково вводили до 5 мас. % бентонітової глини. Вода затворіння в залежності від вмісту пегматитової породи складала 19 – 22 %, усі дослідні маси були досить пластичні та добре формувались. Висушені дослідні зразки випалювали при температурі 1180 °С з витримкою протягом 2 годин.

Аналіз хімічного складу керамічних мас (рис. 4а) показав, що при введенні пегматитової породи та бентонітової глини спостерігається підвищення кількості  $\text{SiO}_2$  та  $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$  при зниженні вмісту  $\text{Al}_2\text{O}_3$ . Вказане призводить до утворення додаткової кількості склоподібної фази. При збільшенні вмісту  $\text{SiO}_2$  в склоподібній фазі підвищується її в’язкість та, відповідно, міцність [4], що в свою чергу обумовлює зростання механічної міцності зразків (рис. 3б). Для серії складів мас, в яких кількість  $\text{SiO}_2$  змінюється в меншому ступені (склади 9, 9-1 та 9-2), механічна міцність зразків збільшується на 7 %, тоді як для зразків 6, 6-1 і 6-2 цей показник складає 15 %. При цьому також спостері-

гається зниження водопоглинання дослідних зразків від 3,3 до 2,8 % та 4,8 до 3,4 % відповідно. Зменшення вмісту  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$  в дослідних масах сприяє підвищенню їх стійкості до деформації при випалі.

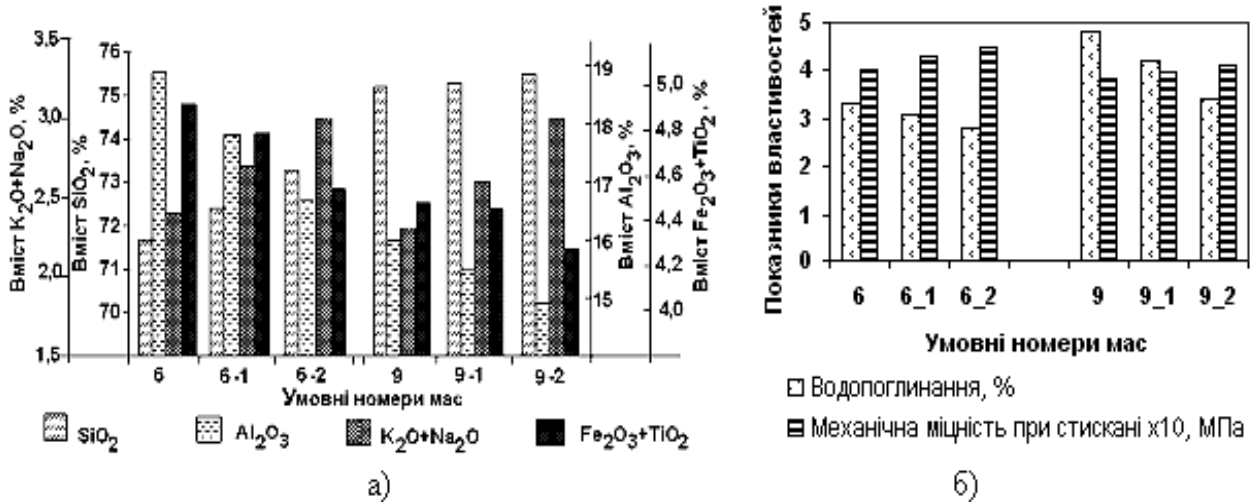
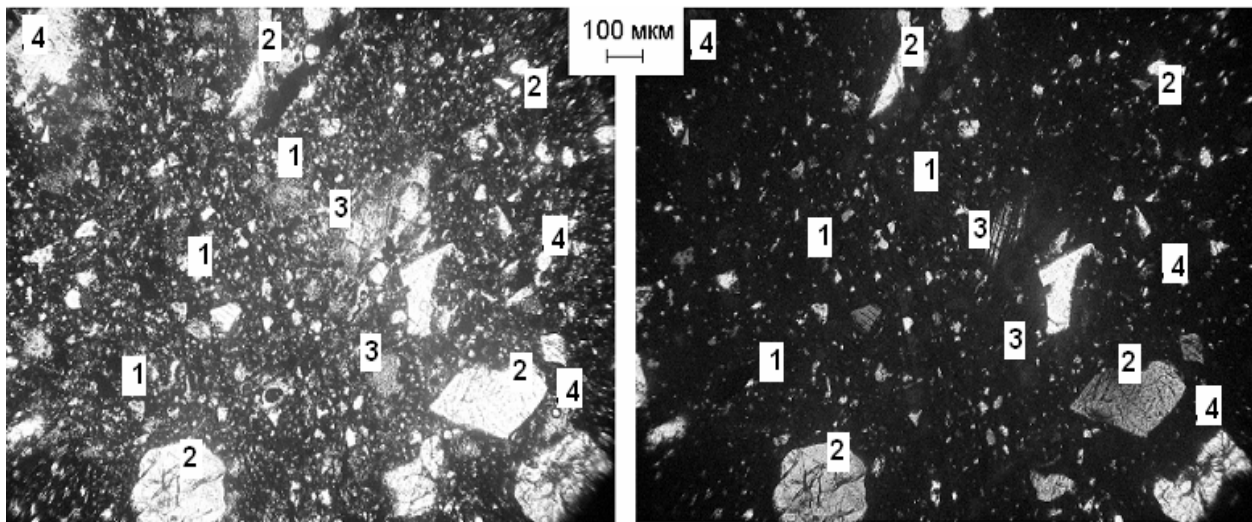


Рис. 4. Вплив хімічного складу дослідних зразків (а) та їх основні фізико-керамічні властивості (б) після випалу при 1180 °С

Як показав петрографічний аналіз, дослідні зразки мають ідентичну мікроструктуру. На прикладі зразка № 6-2 (рис. 5) можна стверджувати, що вона представлена різними кристалічними та склоподібною фазами.



1 - основна склоподібна фаза, 2 - зерна кварцу, 3 - оплавлені зерна польового шпату, 4 - пори

Рис. 5. Фрагмент мікроструктури зразка № 6-2, фото без аналізатора (зліва) та з аналізатором (справа)



В останній розташовані “залишкові зерна” кварцу різної дисперсності та фрагменти оплавлених зерен польового шпату. Необхідно зазначити, що зерна кварцу мають тріщинувату поверхню, що можна пояснити високою корозійною здатністю рідкої фази, яка під час випалу при температурі 1180 °С взаємодіє з кварцом, обумовлюючи появу великої кількості тріщин на поверхні його зерен.

Необхідно зазначити значну зміну польовошпатових зерен при термообробці. Як відомо, температура початку плавлення мікрокліну, який є однією з основних складових пегматитової породи, знаходиться в межах  $1150 \pm 20$  °С [6]. Але на мікрофотографії (рис. 5) чітко видно, що зерна мікрокліну розміром менше 50 – 60 мкм повністю перейшли в склоподібний стан під час випалу та залишають нечіткі контури. Лише більш крупні зерна (~ 100 мкм, в центрі знімка) мають широку кайму оплавлення (20 – 25 мкм) та в центрі зберігають двійникову структуру, але такі зерна трапляються в одиничних фрагментах.

В дослідних зразках також присутні пори різного розміру (від 100 до 10 мкм), утворені як внаслідок вигорання органічних домішок, розкладання кальциту та ін. (більш крупні), так і в місцях “бувших зерен” польового шпату (більш дрібні).

Мікроструктура зразку 6-1 відрізняється від 6-2 меншою кількістю склоподібних ділянок, утворених при плавленні польовошпатових зерен, а для зразка № 6 – відсутністю таких фрагментів. Вказане свідчить про формування менш щільної структури зразків, що підтверджується значеннями їх водопоглинання – для зразків № 6-1 та 6 відповідно цей показник складає 3,1 та 3,4 %. В цілому, враховуючи призначення розроблених керамічних мас, вони мають досить високий ступінь спікання та формують досить щільноспечений матеріал після випалу при 1180 °С.

Таким чином, лабораторні дослідження показали можливість використання легкоплавких глин та пегматитових порід східного регіону України для розробки складів клінкерних керамічних мас. При цьому кращі зразки після випалу при відносно низьких температурах (до 1180 °С) мають властивості, які відповідають вимогам для клінкерної цегли, а також широку кольорову гаму. В ході досліджень також встановлено, що для стабілізації технологічних властивостей цегли у якості добавки доцільно вводити пегматитову породу та бентонітову глину.

Отримані результати роботи являють значну практичну цінність, оскільки

ки розроблені склади керамічних мас включають недефіцитні, широко розповсюджені та дешеві сировинні матеріали, що передбачає їх низьку собівартість, дає можливість вітчизняним виробникам такої продукції, виготовляти конкурентноздатні з зарубіжними аналогами вироби та задовольнити потреби сучасного ринку будівельних матеріалів.

**Список літератури:** 1. *Августиник А.И.* Керамика. – Л.: Стройиздат, 1975. – С. 223 – 227. 2. *Кройчук Л.А.* Новый европейский стандарт на клинкерный дорожный кирпич: По материалам журнала "Ziegelindustrie International" за 2003 г. // Строительные материалы. – 2003. – №9. – С. 42 – 43. 3. *Мороз И.И.* Технология строительной керамики. – К.: Вища школа, 1981. – 384 с. 4. *Кара-Сал Б.* Влияние окислительно-восстановительных реакций на спекание керамических масс при пониженном давлении / Строительные материалы. – 2005. – № 2. – С. 59 – 61. 5. *Коледа В.В., Шевченко Т.А., Михайлюта Е.С.* Влияние степени помола песка на свойства фарфора низкотемпературного обжига // Вопросы химии и химической технологии. Днепропетровск: „Новая идеология”. – 2006. – № 4. – С. 52 – 55. 6. *Бобкова Н.М.* Физическая химия силикатов. – Минск: Высшэйшая школа, 1977. – 288 с.

*Надійшла до редколегії 11.09.08*

УДК 629.114.4

**О.В. БЕРЕЗЮК**, канд. техн. наук, ВНТУ, м. Вінниця

## **АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВІБРАЦІЙНОГО ГІДРОПРИВОДУ ПРЕСУВАННЯ ТВЕРДИХ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ**

Предложена упрощенная математическая модель вибрационного гидропривода прессования твердых бытовых отходов с использованием генератора импульсов давления. Получены аналитические зависимости частоты и амплитуды от основных параметров данного привода, необходимые для выполнения предварительных проектных расчетов его параметров.

It is offered simplified mathematical model vibratory hydraulic drive pressing the hard domestic waste with use a pulser of pressure. They are received analytical dependencies of frequency and amplitudes from the main parameters of given drive, required for performing the preliminary design calculations of its parameters.

**Постановка проблеми.** Щороку в Україні утворюється близько 35 млн. м<sup>3</sup> твердих побутових відходів (ТПВ) [1], і на їх перевезення смітте-