

7. Richard, D. Carbon to cast iron electrical contact resistance constitutive model for finite element analysis [Text] / D. Richard, M. Fafard, R. Lacroix, P. Clery, Y. Maltais // Journal of Materials Processing Technology. – 2003. – Vol. 132, Issue 1. – P. 119–131. doi:10.1016/s0924-0136(02)00430-2
8. Pradille, C. An experimental study to determine electrical contact resistance [Text] / C. Pradille, F. Bay, K. Mocellin // In Electrical Contacts. Proceeding of the 56th IEEE Holm conference on Electrical Contacts. – Charleston, South Carolina, USA : 2010. – P. 1–5. doi:10.1109/holm.2010.5619522
9. Song, Q. An experimental study determines the electrical contact resistance in resistance welding [Text] / Q. Song, W. Zhang, B. Niels // Welding Journal. – 2005. – Vol. 92, Issue 2. – P. 73–76.
10. Панов, Е. Н. Комплекс сбора данных для высокотемпературных промышленных агрегатов [Текст] / Е. Н. Панов, С. В. Лелека, М. В. Коржик // ПиКАД. – 2005. – № 2. – С. 28–30.
11. Мышкин, Н. К. Электрические контакты [Текст] / Н. К. Мышкин, В. В. Кончиц, М. Браунович. – М.: Интеллект, 2008. – 560 с.

*В якості основної сировини, для синтезу керамічних мас, для виробництва керамічних клінкерних виробів, вибрано полімінеральну глинисту сировину з відсутнім інтервалом спікання.*

*Досліджено способи направлено регулювання структуроутворення керамічних мас на основі полімінеральної глини з використанням каолінит-польовошпатової сировини. На основі дослідних мас отримано керамічні клінкерні вироби з широким інтервалом спікаючого стану (100 °С)*

*Ключові слова: структуроутворення, глина, каолін, пегматит, спікання, клінкер, склад, властивості, інтервал, сировина*

*В качестве основного сырья для синтеза керамических масс, для производства керамических клинкерных изделий, выбрано полиминеральное глинистое сырье с отсутствующим интервалом спекания.*

*Исследованы способы направленного регулирования структурообразования керамических масс на основе полиминеральной глины с использованием каолинит-полевошпатового сырья. На основе исследовательских масс получено керамические клинкерные изделия с широким интервалом обжига состояния (100 °С)*

*Ключевые слова: структурообразования, глина, каолин, пегматит, спекания, клинкер, состав, свойства, интервал, сырье*

УДК 666.3/7

DOI: 10.15587/1729-4061.2014.28011

## РЕГУЛЮВАННЯ ПРОЦЕСІВ СТРУКТУРО- УТВОРЕННЯ КЕРАМІЧНИХ МАС СИСТЕМИ ГЛИНА ПОЛІМІНЕРАЛЬНА- КАОЛІНІТ- ПОЛЬОВОШПАТОВА СИРОВИНА

Т. В. Оксамит

Головний технолог

ПАТ «Майдан-Вильський комбінат вогнетривів»  
вул. Некрасова, с. Михайлючка, р-н Шепетівський,  
обл. Хмельницька, Україна, 30416  
E-mail: okcamut\_t@mail.ru

### 1. Вступ

В Україні, у зв'язку зі збільшенням вимог до якості будівництва, останні роки простежується динамічне зростання попиту на високоякісні будівельні матеріали. На Європейському ринку будівельних матеріалів відсутня така категорія керамічних виробів, як лицьова цегла. Замість цього на Західному ринку широко використовуються такі високоякісні керамічні вироби, як керамічний клінкер різного призначення. Починаючи з 2006–2007 рр. на Україні було розпочато роботи по розробці та впровадженню нових видів керамічних виробів.

### 2. Аналіз літературних даних і постановка проблеми

В літературних даних зазначено [1–3], що основною сировиною для отримання високоякісних керамічних клінкерних виробів являються тугоплавкі глини з великим інтервалом між температурою спікання і початком деформації. Вартість такої сировини, з точки зору ринкової економіки, є високою, крім того родовища розташовані в Східній частині України. Отже, використання даної сировини для виробництва керамічних клінкерних виробів обумовить високу собівартість готової продукції, що стримуватиме попит на неї.

Водночас майже всі керамічні заводи України використовують для виробництва стінових виробів дешеvu полімінеральну глинисту сировину, яка широко представлена в різних регіонах України та суттєво відрізняються за кількістю породоутворюючих мінералів і домішків.

Полімінеральна глиниста сировина характеризується малим інтервалом спікання (<60 °C), що обмежує їх застосування у виробництві клінкерних виробів [4, 5]. Крім цього при сушці та випалу вироби можуть давати велику усадку, яка супроводжується розтріскуванням та деформацією [6, 7], що не дозволяє отримання виробів правильної форми і точних розмірів.

Враховуючи інтенсивний розвиток будівельного ринку та необхідність використання конкурентноспроможних будівельних матеріалів розробка технології виробництва керамічних клінкерних виробів на основі полімінеральної легкоплавкої глинистої сировини представляє як науковий так і практичний інтерес.

---

### 3. Мета та задачі дослідження

---

Метою роботи є теоретичне обґрунтування та експериментальне підтвердження можливості отримання пластичним способом формування керамічних клінкерних виробів на основі полімінеральної глинистої сировини за рахунок використання каолінит-польовошпатвмісної сировини природного походження.

Задачі дослідження:

1. Дослідити та оцінити придатність полімінеральної глинистої сировини для її застосування в технології виробництва керамічних клінкерних виробів високої якості.

2. Провести цілеспрямований пошук польовошпатвмісної сировини природного походження для її застосування в технології виробництва клінкерних керамічних виробів;

3. Дослідити процеси структуроутворення, спікання та властивості керамічних мас на основі полімінеральних глин до складу яких входить польовошпатвмісна сировина.

---

### 4. Шляхи регулювання структуроутворення керамічних мас

---

Об'єктом дослідження є фізико-хімічні процеси формування структури і властивостей, інтенсифікація спікання керамічних мас шляхом регулювання хіміко-мінералогічного складу.

Для вирішення поставлених задач застосовували комплекс сучасних фізико-хімічних і фізико-технологічних методів, які включають рентгеноструктурний, диференційно-термічний і хімічний методи дослідження сировинних компонентів і мас на їх основі, що дає можливість оцінити особливості структуроутворення керамічних матеріалів; комплекс кераміко-технологічних методів дослідження, що дає можливість оцінити експлуатаційні властивості виробів. Експериментальні дані отримані на основі так званого активного експерименту, який проводили шляхом математичного планування та активного впливу на проходження

процесу при активній взаємодії на об'єкт по раніше вибраному плану. План експерименту передбачає умови та число необхідних дослідів та, головним чином, визначає точність отриманої в результаті експерименту математичної моделі, збудованої на основі проведення кореляційного та регресійного аналізу. Для визначення експлуатаційних властивостей виробів також використано стандартизовані методики.

Як свідчать отримані результати дослідні полімінеральні глини розрізняються за своїм хімічним складом. Перша група полімінеральної глини за вмістом  $Al_2O_3$  (<14 %) відноситься до сировини кислої. Друга група полімінеральної глини за вмістом  $Al_2O_3$  (>14 %) відноситься до напівкислої сировини.

Дані глини характеризуються високим вмістом оксидів заліза (5,51–5,57 %) і лужних оксидів (4,34–4,76 %).

Рентгеноструктурним аналізом порошкоподібного препарату дослідних полімінеральних глин встановлено, що їх якісний мінералогічний склад представлений кварцом, каолінітом, гідрослюдою, гематитом, гауазитом, кальцитом, польовими шпатами; глиниста речовина представлена монтморилонітом.

Кераміко-технологічні властивості полімінеральних глин показують неможливість використання їх у чистому вигляді для виробництва керамічного клінкеру, так як дані глини характеризуються високою пластичністю, підвищеною чутливістю до сушіння глинистої сировини, низькою міцністю при стиску, високим водопоглинанням та відсутністю інтервалу спікаючого стану.

В зв'язку з цим перед авторами постала задача розробки таких керамічних мас для виробництва керамічних клінкерних виробів, використання яких дозволило б комплексно вирішити задачу оптимізації як коагуляційно-конденсаційної, так і кристалізаційної структури виробів.

Попередніми дослідженнями встановлено [8], що ефективною добавкою, для полімінеральних монтморилонітових глин Центрального регіону, являється каолінит-польовошпатової сировини природного походження.

В якості таких добавок були вибрані каолін та пегматит Хмельського родовища. Вибір даних добавок обумовлений особливостями їх хіміко-мінералогічного складу і набутих дослідом використання каолінит-польовошпатової сировини в якості домішок до складу полімінеральних монтморилонітових глин.

Для визначення оптимального співвідношення вказаної сировини, і підвищення надійності результатів дослідження, вибір складу багатокомпонентної суміші здійснювали на основі даних, отриманих при реалізації симплекс – решітчастого планового експерименту. Особливістю поданих експериментів являється те, що факторний простір представляє собою правильний симплекс, а властивості досліджуються в зарання заданих його точках які утворюють так названу симплексну решітку.

Кожній решітці відповідає загально визначена поліноміальна модель. Як правило, при обробці оптимальних технологій використовується поліноми четвертого ступеню.

План широко використовується при проведенні технологічних експериментів типу „склад – власти-

вості". Вони відрізняються високою інформативністю і ефективністю, тобто достатньо малою кількістю експериментальних точок, які необхідно для побудови математичної моделі високого порядку (до четвертого порядку включно).

Але до їх недоліків можливо віднести, по-перше, малу кількість точок у центральній області факторного простору і, по-друге, важкий перерахунок матриці плану для випадків, коли фактори змінюються не від 0 до 100 %, а в обмежених діапазонах (наприклад  $X_1$  від 40 до 60 %,  $X_2$  від 5 до 15 % і т. д.).

Отже в даній роботі використовували модифікацію плану експерименту, який оснований на симплекс-решітчастому плані, до якого добавлені точки всередині факторного простору.

Матриця плану представлена в табл. 1.

Таблиця 1

План експерименту для побудови математичної моделі властивостей трьохкомпонентної суміші

№	Склад мас, %			$S_1$	$S_2$	$S_3$	$S_4$		
	$X_1$	$X_2$	$X_3$				Вміст компонентів		RO/R <sub>2</sub> O
							$\sum_{пл}$	RO+R <sub>2</sub> O	
9	68	20	12	12,65	102	19,52	11,54	7,43	0,58
10	76	15	9	12,70	94	19,77	12,07	7,60	0,63
11	86	10	4	12,59	100	19,97	12,65	7,73	0,72
12	58	34	8	13,52	104	19,83	10,44	6,72	0,55

Як зазначено [9] для оптимального спікання керамічних мас, в їх складі вміст суми плавнів ( $\sum_{пл}$ )  $Fe_2O_3+RO+R_2O$ , а також вміст  $RO+R_2O$  при відношенні  $RO/R_2O$  в залежності від хіміко-мінералогічного складу глини повинно змінюватися в доступних межах.

Для оптимізації властивостей коагуляційної структури, дослідних мас на основі монтморилонітової глини, відкликом була вибрана пластичність ( $S_1$ ). Для оптимізації властивостей конденсаційної структури, було вибрано чутливість до сушіння ( $S_2$ ) та формувальна вологість ( $S_3$ ). Для оптимізації властивостей кристалізаційної структури, було вибрано розширення інтервалу спікання, тобто випал керамічної шихти ( $S_4$ ). Факторами являються: керамічна шихта Західного регіону ( $X_1$ ), каолін ( $X_2$ ) та пегматит ( $X_3$ ) Хмельського родовища, які входили в математичну модель виду:

Як правило при обробці результатів експерименту, проведеного по симплекс-решітчастому плану, для побудови математичної моделі використовують поліноми четвертого ступеню. В даному випадку, враховуючи модифікацію плану, використовували багатомірний варіант методу найменших квадратів. Рівняння (квазілінійні або другого порядку) отримували, використовуючи пошагову регресію, яка базується на результатах кореляційного аналізу. Закінчення процесу побудови математичної моделі і доведення її адекватності здійснювалося за таблицею залишків.

Враховуючи послідовну оптимізацію властивостей коагуляційно-конденсаційної структури дослідних мас в якості відклику вибрали чутливість до сушіння, а для вивчення особливостей спікання їх кристалізаційної структури вибрали водопоглинання і міцність на стиск.

Дослідні маси готовили силікатним способом і випалювали в лабораторній силікатній печі в інтервалі температур 1050–1150 °С.

Результати дослідів, виконаних у відповідності з планом експерименту (табл. 2), представлені в табл. 2.

За результатами експериментів розраховані коефіцієнти математичної моделі, в яких відкликами є – чутливість до сушіння, водопоглинання і міцність на стиск. Значимість факторів, які входять в регресивні рівняння, визначали за допомогою кореляційного аналізу.

Таблиця 2

Коефіцієнти кореляції по окремим факторам

Найменування відкликів (властивостей)	Коефіцієнти кореляції по окремим факторам		
	Полімінеральна керамічна шихта ( $X_1$ )	Каолін Хмельського родовища ( $X_2$ )	Пегматит Хмельського родовища ( $X_3$ )
Міцність на стиск (випал при 1050 °С)	0,38	-0,28	0,05
Міцність на стиск (випал при 1100 °С)	0,67	-0,57	-0,14
Міцність на стиск (випал при 1150 °С)	0,66	-0,69	9.999999E-02
Водопоглинання (випал при 1050 °С)	-0,53	0,62	-0,27
Водопоглинання (випал при 1100 °С)	-0,6	0,75	-0,38
Водопоглинання (випал при 1150 °С)	0,92	-0,93	0,11
Чутливість до сушіння	-0,86	0,91	-0,23

Як свідчить табл. 2 найбільший вплив на збільшення чутливості до сушіння дослідних мас (коефіцієнт кореляції відповідно -0.86) показує керамічна шихта Західного регіону (фактор  $X_1$ ).

Аналіз коефіцієнтів кореляції показав, що найбільший вплив на пониження чутливості до сушіння дослідних мас показує каолін Хмельського родовища (відповідно  $R=0.91$ ).

Кореляційний аналіз дозволить провести більш глибоке дослідження взаємозв'язку незалежних фізико-технічних параметрів і визначити вплив кожного з них на властивості виробів. Отже, перед побудовою математичної моделі з допомогою парних коефіцієнтів кореляції досліджували взаємовплив між факторами, їх взаємовпливами і відкликами.

Математична модель, яка визначає взаємовплив властивостей дослідних мас з їх складом, представлені нижче:

– чутливість до сушіння ( $Ch$ )

$$Ch = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_1X_2 + a_7X_1X_5 + a_8X_2X_5 + a_9X_3X_5 + a_{10}X_4X_5,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = -825,5317$ ;  $a_1 = 56,29106$ ;  $a_2 = -17,9194$ ;  $a_3 = -14,64771$ ;  $a_4 = 12,70108$ ;  $a_5 = 3,689407$ ;  $a_6 = -0,7985781$ ;  $a_7 = -2,904623$ ;  $a_8 = 4,171458$ ;  $a_9 = 1,420609$ ;  $a_{10} = -1,069385$ .

– Водопоглинання при випалі 1050 °C ( $V_1$ )

$$V_1 = a_0 + a_1X_3 + a_2X_5 + a_3X_1X_3 + a_4X_1X_5 + a_5X_2X_3 + a_6X_2X_5 + a_7X_3X_4 + a_8X_3X_5 + a_9X_4X_5 + a_{10}X_3^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = -825,5317$ ;  $a_1 = 56,29106$ ;  $a_2 = -17,9194$ ;  $a_3 = 14,64771$ ;  $a_4 = 12,70108$ ;  $a_5 = 3,689407$ ;  $a_6 = -0,7985781$ ;  $a_7 = -2,904623$ ;  $a_8 = 4,171458$ ;  $a_9 = 1,420609$ ;  $a_{10} = -1,069385$ .

– Водопоглинання при випалі 1100 °C ( $V_2$ )

$$V_2 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_1X_2 + a_6X_1X_4 + a_7X_3X_4 + a_8X_3X_5 + a_9X_4X_5 + a_{10}X_1 + a_{11}X_2^2 + a_{12}X_4^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = -667,9122$ ;  $a_1 = 18,63797$ ;  $a_2 = 14,71498$ ;  $a_3 = -2,586084$ ;  $a_4 = 17,92481$ ;  $a_5 = -0,2058142$ ;  $a_6 = -0,3594897$ ;  $a_7 = 0,1013035$ ;  $a_8 = 0,1490616$ ;  $a_9 = -0,127833$ ;  $a_{10} = -0,1317032$ ;  $a_{11} = -5,974277E-02$ ;  $a_{12} = -0,1404892$ .

– Водопоглинання при випалі 1150 °C ( $V_3$ )

$$V_1 = a_0 + a_1X_3 + a_2X_5 + a_3X_1X_3 + a_4X_1X_5 + a_5X_2X_3 + a_6X_2X_5 + a_7X_3X_4 + a_8X_3X_5 + a_9X_4X_5 + a_{10}X_3^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = -825,5317$ ;  $a_1 = 56,29106$ ;  $a_2 = -17,9194$ ;  $a_3 = -14,64771$ ;  $a_4 = 12,70108$ ;  $a_5 = 3,689407$ ;  $a_6 = -0,7985781$ ;  $a_7 = -2,904623$ ;  $a_8 = 4,171458$ ;  $a_9 = 1,420609$ ;  $a_{10} = -1,069385$ .

– Міцність на стиск при випалі 1050 °C ( $R_1$ )

$$R_1 = a_0 + a_1X_3 + a_2X_5 + a_3X_1X_3 + a_4X_1X_5 + a_5X_2X_3 + a_6X_2X_5 + a_7X_4X_5 + a_8X_3^2 + a_9X_5^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = -29,85134$ ;  $a_1 = 19,52683$ ;  $a_2 = -9,935468$ ;  $a_3 = -0,8692135$ ;  $a_4 = 0,5530862$ ;  $a_5 = 0,8998437$ ;  $a_6 = -0,3497001$ ;  $a_7 = 2,025227E-03$ ;  $a_8 = -0,3579619$ ;  $a_9 = -0,1870425$ .

– Міцність на стиск при випалі 1100 °C ( $R_2$ )

$$R_2 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_4 + a_4X_5 + a_5X_1X_4 + a_6X_2X_4 + a_7X_3X_4 + a_8X_4X_5 + a_9X_1^2 + a_{10}X_4^2 + a_{11}X_4^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = 1813,235$ ;  $a_1 = 86,00381$ ;  $a_2 = -228,2796$ ;  $a_3 = -59,92745$ ;  $a_4 = 1,762043$ ;  $a_5 = -4,631472$ ;  $a_6 = 8,728601$ ;  $a_7 = -7,252963E-02$ ;  $a_8 = -0,3856248$ ;  $a_9 = -0,6828948$ ;  $a_{10} = 2,911522$ ;  $a_{11} = 0,5599209$ .

– Міцність на стиск при випалі 1150 °C ( $R_3$ )

$$R_2 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_4 + a_4X_5 + a_5X_1X_4 + a_6X_2X_4 + a_7X_3X_4 + a_8X_4X_5 + a_9X_1^2 + a_{10}X_4^2 + a_{11}X_4^2,$$

де значення коефіцієнтів:  $a_0 = 1813,235$ ;  $a_1 = 86,00381$ ;  $a_2 = -228,2796$ ;  $a_3 = -59,92745$ ;  $a_4 = 1,762043$ ;  $a_5 = -4,631472$ ;  $a_6 = 8,728601$ ;  $a_7 = -7,252963E-02$ ;  $a_8 = -0,3856248$ ;  $a_9 = -0,6828948$ ;  $a_{10} = 2,911522$ ;  $a_{11} = 0,5599209$ .

Для визначення оптимального складу суміші в якості цільових функцій використовували отримані математичні моделі. Пошук вели з використан-

ням методу багатокритеріальної оптимізації при умовах:

$$\begin{aligned} Ch &\geq 100 \\ 40 &\leq R \leq 60 \\ 2 &\leq V \leq 5 \\ T_{\text{випалу}} &= 1150^\circ\text{C} \\ \text{та} \\ Ch &\geq 100 \\ 30 &R \leq 40 \\ 7 &\leq V \leq 8 \\ T_{\text{випалу}} &= 1100^\circ\text{C} \end{aligned}$$

Для кожного варіанту суміші визначалася її собівартість і із можливих вибирали більш дешевше співвідношення.

Особливості взаємозв'язку компонентів керамічної шихти Західного регіону – каоліну Хмельівського родовища – пегматиту Хмельівського родовища на формування коагуляційно-конденсаційної і кристалізаційної структур досліджували шляхом аналізу коефіцієнтів кореляції.

Аналіз розрахунку впливу парних кореляцій показав, що найбільший вплив на пониження чутливості до сушіння керамічної шихти Західного регіону вказує сумарний вплив каоліну та пегматиту Хмельівського родовища (відповідно  $R=0.65$ ) (табл. 3.).

Як показав кореляційний аналіз при випалі на 1050 °C найбільший вплив на ріст міцності на стиск показує каолін ( $R=0.38$ ).

При збільшенні температури випалу до 1100 °C на збільшення міцності на тиск значно впливає пегматит ( $R=0.16$ ), дана тенденція зафіксована і при температурі випалу 1150 °C (відповідно  $R=0.43$ ).

Таблиця 3

Вплив парних кореляцій на експлуатаційні властивості

Найменування відкликів (властивостей)	Коефіцієнти кореляції за ефектами взаємодії (виробничим) факторам		
	$X_1 X_2$	$X_1 X_3$	$X_2 X_3$
Міцність на стиск (випал при 1050 °C)	0.38	-0.28	-0.16
Міцність на стиск (випал при 1100 °C)	-0.45	0.16	-0.7
Міцність на стиск (випал при 1150 °C)	-0.57	0.43	-0.75
Водопоглинання (випал при 1050 °C)	0.63	-0.42	0.31
Водопоглинання (випал при 1100 °C)	0.73	-0.65	0.57
Водопоглинання (випал при 1150 °C)	0.68	-0.31	0.93
Чутливість до сушіння	0.83	-0.54	0.65

Як показує кореляційний аналіз на інтенсифікацію спікання дослідних мас (зниження водопоглинання) найбільший вплив показує керамічна шихта Західного регіону та пегматит Хмельівського родовища ( $R=-0.42$ ;  $-0.65$ ;  $-0.31$ ).

Таким чином, аналіз коефіцієнтів кореляції виявив значний вплив каолініт-польовошпатової суміші на формування коагуляційної та конденсаційної структур на основі полімінеральних монтморилонітових глин Західного регіону, і як наслідок, вплив на кристалізаційне структурування дослідних мас.

За допомогою багатокритеріальної оптимізації при заданих параметрах: чутливість до сушіння >100 с, водопоглинання ≤5 % та міцності на стиск більше 40 МПа, при заданому інтервалі вмісту компонентів вибрані оптимальні склади мас. В табл. 4 подано властивості їх коагуляційно-конденсаційної структури.

Аналіз експериментальних даних показав, що оптимальними властивостями коагуляційно-конденсаційної структури дослідних мас характеризуються склади 9, 11, 12, а оптимальними властивостями кристалізаційної структури характеризуються склади 9, 11 (рис. 1, 2).

Таблиця 4

Властивості коагуляційно-конденсаційної структури оптимальних мас

Шифр мас	Пластичність	Формувальна вологість, %	Чутливість до сушіння, с
9	12,65	19,52	102
10	12,70	19,77	94
11	12,59	19,97	100
12	13,52	19,83	104

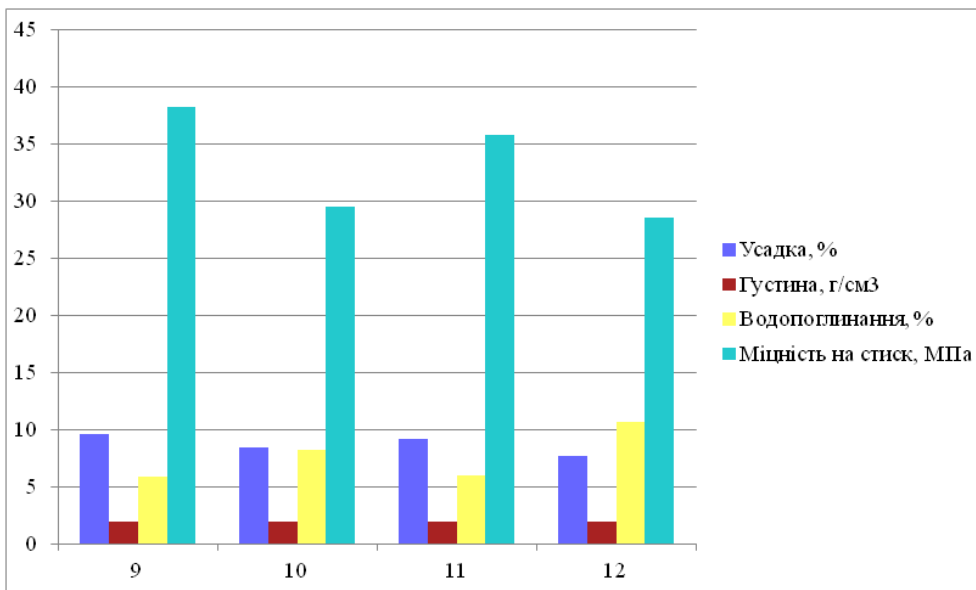


Рис. 1. Властивості кристалізаційної структури дослідних мас, отриманих в результаті математичного планування, випалених при температурі 1050 °C

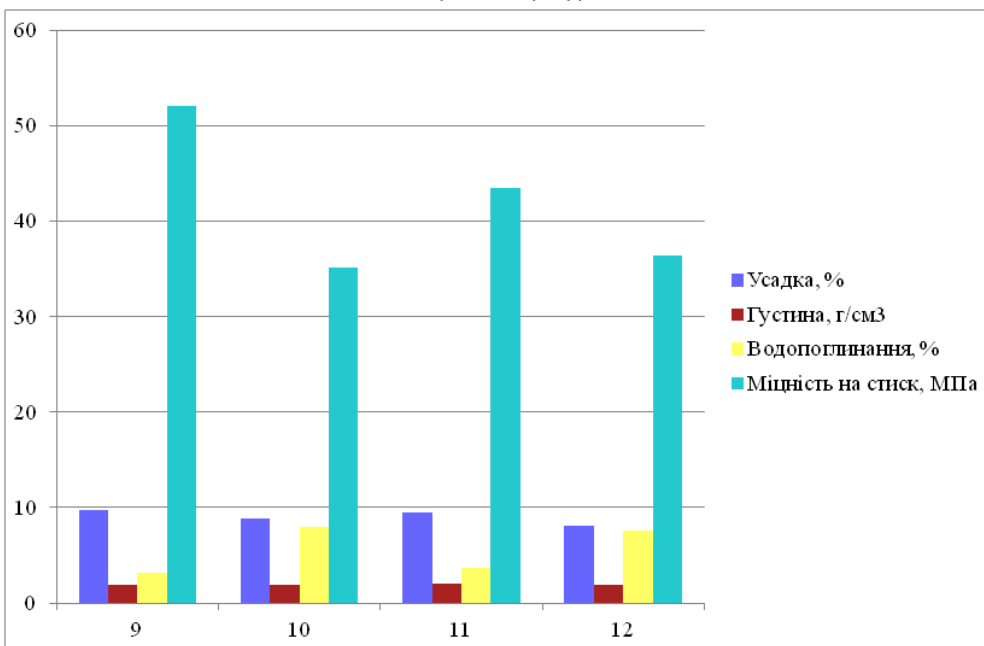


Рис. 2. Властивості кристалізаційної структури дослідних мас, отриманих в результаті математичного планування, випалених при температурі 1100 °C



На рис. 3, 4 представлено моделі спікання дослідних складів мас 9 та 11 для виробництва керамічного клінкеру на основі глин Західного регіону з використанням в якості добавок некондиційних каолінів та пегматитів Хмельвського родовища, Хмельницької області.

Для розкриття механізмів структури важливо вивчити фазові перетворення при переході від конденсаційної до кристалізаційної структури [10] і на базі цих даних регулювати процеси випалу так, щоб отримувати вироби з заданими властивостями.

При переході від конденсаційної до кристалізаційної структури протікаючи фізико-хімічні процеси вивчали за допомогою диференціально-термічного аналізу дослідних мас з використанням дериватографу при високотемпературній обробці дослідних зразків до 1000 °С.

Диференціально-термічний аналіз дослідних шихт (рис. 5) показав наявність ендотермічного ефекту з максимумом при температурі 140 °С, пов'язаного з виділення міжшарової молекулярної води із глинистих мінералів, в основному гідролуд. При температурах

160–170 °С простежується ендотермічний ефект, який вказує на присутність монтморилоніту.

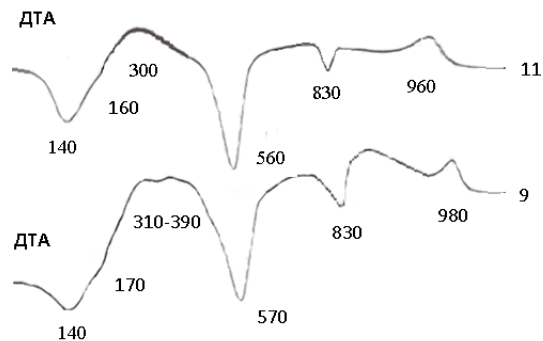


Рис. 5. Диференціально-термічний аналіз шихт 9, 11

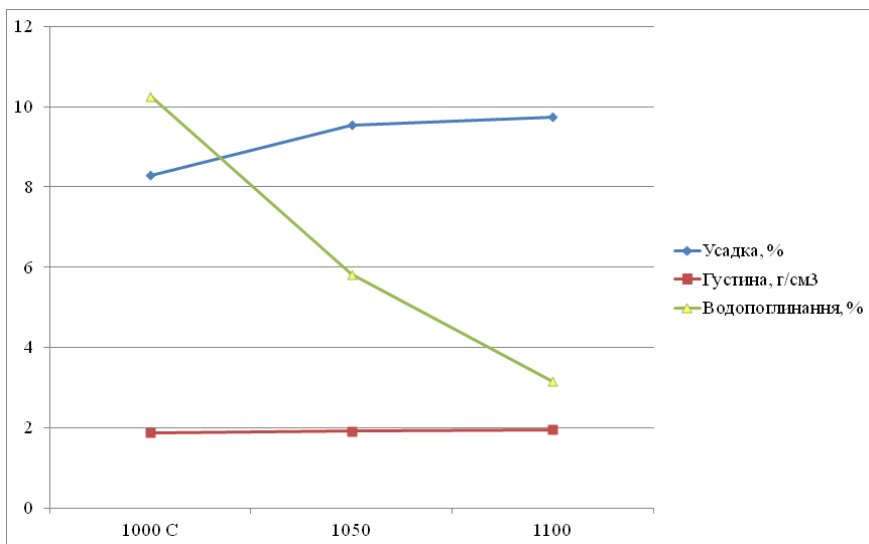


Рис. 3. Модель спікання оптимального складу 9 для виробництва керамічного клінкеру

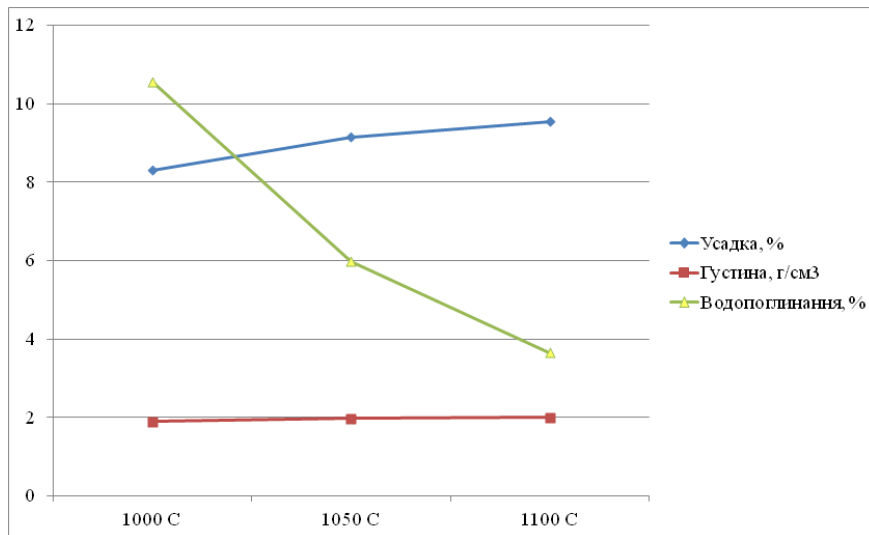


Рис. 4. Модель спікання оптимального складу 11 для виробництва керамічного клінкеру

Подвійна ендотермічна реакція дослідних мас 9 та 11, в інтервалі температур 300–390 °С свідчить про окислення в твердому виді деякої кількості органічних речовин низькотемпературного комплексу і Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>. Максимальне руйнування решітки каолініту в дослідних масах 9 та 11 простежується при більш високих температурах 560–570 °С. Дисоціація кальциту, в дослідних масах 9 та 11, проходить при температурах відповідно 980–960 °С, що може свідчити про високі експлуатаційні властивості.

Таким чином, в результаті проведення досліджень встановлено, що наслідком оптимізації хіміко-мінералогічного складу керамічної суміші є формування оптимальної кристалізаційної структури і, як наслідок, високі експлуатаційні властивості керамічного клінкеру.

### 5. Висновки

1. В якості основної сировини для синтезу керамічних мас для виробництва керамічного клінкеру, способом пластичної екструзії, вибрано полімінеральну глинисту сировину. Кераміко-технологічні властивості полімінеральної сировини, а саме висока пластичність, підвищена чутливість до сушіння, низькі показники міцності та високе водо-

поглинання – показують неможливість використання їх в чистому виді для виробництва керамічних клінкерних виробів.

Основним критерієм, який визначає можливість використання полімінеральної сировини, для виробництва клінкерних виробів, являється наявність інтервалу спікаючого стану, що має бути не менше 50 °С.

2. Проведено цілеспрямований пошук каолінит-польовошпатвмісної сировини природного походження для її застосування в технології виробництва клінкерних керамічних виробів. Результати цього пошуку дозволили стверджувати, що вибір таких добавок обумовлений особливостями їх хіміко-мінералогічного складу, а саме високий вміст лужних оксидів.

3. Досліджено процеси структуроутворення, спікання та властивості керамічних мас на основі полімінеральних глин, до складу яких входить каолін-польовошпатвмісна сировина. Зокрема встановлено, що добавки каолінит-польовошпатової сировини в композиції з полімінеральною монтморилонітовою глиною, при розробленому співвідношенні компонентів, формують оптимальну коагуляційно-конденсаційну структуру, а саме число пластичності – 12,59–12,65, чутливість до сушіння 100–102 с та оптимальну кристалізаційну структуру. На основі сформованої оптимальної кристалізаційної структури, яка отримана при розробленому співвідношенні компонентів, одержані високі фізико-технічні властивості – міцність на стиск, що дорівнює – 43,82–52,12 МПа.

#### Література

1. Бутт, Ю. М. Общая технология силикатов [Текст] / Ю. М. Бутт, Г. Н. Дударев, М. А. Матвеева. – Гостройиздат, 1962. – 457 с.
2. Будников, П. П. Технология керамики и огнеупоров [Текст] / П. П. Будников, А. С. Бережной, И. А. Булавин и др. – Гос. Изд. лит. по строит. матер., 1950. – 575 с.
3. Мороз, И. И. Технология строительной керамики [Текст] / И. И. Мороз. – Гостройиздат УССР, 1961. – 464 с.
4. Августиник, А. И. Керамика [Текст] / А. И. Августиник. – Стройиздат., 1975. – 560 с.
5. Соколов, Я. А. Клинкер и его производство [Текст] / Я. А. Соколов. – Изд-во геосдор., 1973.
6. Дударев, И. Г. Общая технология сыпучих силикатов [Текст] / И. Г. Дударев, Г. М. Матвеев, В. Б. Суханова. – Стройиздат., 1987. – 560 с.
7. Ходаковська, Т. В. Керамічний клінкер для облицювання фасадів і брукування доріг з використанням польовошпатвмісної сировини [Текст] / Т. В. Ходаковська, І. В. Огороднік, Н. Д. Дмитренко // Будівельні матеріали, виробі та санітарна техніка. – 2006. – Вип. 22. – С. 60–67.
8. Якімчук, Т. В. Математичне моделювання складів мас для виробництва керамічної клінкерної цегли на основі глин Київської області [Текст] / Т. В. Якімчук, І. В. Огороднік, О. М. Доній, Н. Д. Дмитренко // Будівельні та матеріали та виробі. – 2008. – № 1. – С. 23–27.
9. Павлов, В. Ф. Физико-химические основы обжига изделий строительной керамики [Текст] / В. Ф. Павлов. – Стройиздат., 1977. – 270 с.
10. Круглицький, Н. Н. Физико-химическая механика дисперсных структур в магнитных полях [Текст] / Н. Н. Круглицький, С. П. Ничипоренко, И. Г. Грановский и др. – Наук. Думка., 1976. – 193 с.