

*Л. П. ЩУКИНА, О. О. ГАМОВА, М. Ю. ГЕРАСЬОВ*

## **РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОРИСТО-ПУСТОТЛИХ КЕРАМІЧНИХ КАМЕНІВ**

Розроблена ресурсозберігаюча технологія поризованих керамічних матеріалів з використанням неспікливої супіску низької технологічної якості як базової сировини. На основі аналізу пластичних властивостей двокомпонентних і трикомпонентних керамічних мас, складених із супіску, керамзитової глини та паливного шлаку у різних співвідношеннях встановлено, що необхідний рівень їх пластичності забезпечуватиме основна сировина в наступних межах (мас. %): паливний шлак – 15 – 20; супісок – 50 – 65; керамзитова глина – 20 – 30. Методом планування експерименту проведено обґрунтування раціонального складу трикомпонентної керамічної маси, що містить: 62,5 мас. % супіску, 20 мас. % середньоспікливої пластичної глини як пластифікатора маси та 17,5 мас. % паливного шлаку ТЕС як поризатора. Для розробленої маси були досліджені основні технологічні властивості, що дозволило рекомендувати режим сушки сирцю – 60 годин, оптимальну температуру випалу – 950 °С, які забезпечують отримання зразків без сушильних тріщин та ознак деформації. Спроектований раціональний режим випалу високопустотних напівфабрикатів на основі результатів дилатометричного аналізу маси, який передбачає 44-годинний випал і зниження швидкостей нагріву на ділянках дегідратації глинистих мінералів, прямого кварцового переходу та інтенсивного спікання маси, а також зниження швидкості охолодження на ділянці зворотного кварцового переходу. Запропонований режим випалу забезпечує необхідний для керамічного матеріалу ступінь спікання та властивості. На основі розробленої маси за рекомендованими режимами сушки та випалу отримані поризовані керамічні матеріали з уявною густиною 1,48 г/см<sup>3</sup>, межею міцності при стиску 18,2 МПа і морозостійкістю 30 циклів, які відносяться до групи умовно ефективних, а за умови організації 50 % пустотності – можуть бути віднесені до групи ефективних.

**Ключові слова:** пористо-пустотлі керамічні камені; густина; механічна міцність; морозостійкість; теплоефективність; супісок; паливний шлак; ресурсозбереження.

*Л. П. ЩУКИНА, О. А. ГАМОВА, М. Ю. ГЕРАСЕВ*

## **РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ ПОРИСТО-ПУСТОТЕЛЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ КАМНЕЙ**

Разработана ресурсосберегающая технология поризованных керамических материалов с использованием неспекающейся супеси низкого качества в качестве базового сырья. На основе анализа пластических свойств двух- и трехкомпонентных керамических масс, включающих супесь, керамзитовую глину и топливный шлак в различных соотношениях установлено, что необходимый уровень их пластичности обеспечивает содержание основного сырья в следующих пределах (мас. %): топливный шлак - 15 - 20; супесь - 50 - 65; керамзитовая глина – 20 - 30. Методом планирования эксперимента проведено обоснование рационального состава трехкомпонентной керамической массы, которая содержит: 62,5 масс. % супеси, 20 масс. % среднеспекающейся пластичной глины в качестве пластификатора массы и 17,5 масс. % топливного шлака ТЭС в качестве поризатора. Для разработанной массы были исследованы основные технологические свойства, что позволило рекомендовать режим сушки сырца – 60 часов, оптимальную температуру обжига – 950 °С, которые обеспечивают получение образцов без сушильных трещин и признаков деформации. Спроектирован рациональный режим обжига высокопустотных полуфабрикатов на основе результатов дилатометрического анализа массы, предусматривающий 44-часовой обжиг и снижение скоростей нагрева на участках дегидратации глинистых минералов, прямого кварцового перехода и интенсивного спекания массы, а также снижение скорости охлаждения на участке обратного кварцового перехода. Предложенный режим обжига обеспечивает необходимую для керамических материалов степень спекания и их свойства. На основе разработанной массы при рекомендованных режимах сушки и обжига получены поризованные керамические материалы с кажущейся плотностью 1,48 г/см<sup>3</sup>, пределом прочности при сжатии 18,2 МПа и морозостойкостью 30 циклов, которые относятся к группе условно эффективных, а при условии организации 50 % пустот – могут быть отнесены к группе эффективных.

**Ключевые слова:** пористо-пустотелые керамические камни; плотность; механическая прочность; морозостойкость; теплоэффективность; супесь; топливный шлак; ресурсосбережение;

*L. P. SHCHUKINA, O. O. GAMOVA, M. YU. HERASOV*

## **DEVELOPMENT OF RESOURCE-SAVING TECHNOLOGY OF POROUS-HOLLOW CERAMIC STONES**

A resource-saving technology of porous ceramic materials using low-quality non-sintering sandy loam as a basic raw material has been developed. Based on the analysis of the plastic properties of two- and three-component ceramic masses, including sandy loam, expanded clay and fuel slag in

© Л. П. Щукина, О. О. Гамова, М. Ю. Герасов, 2021

various ratios, it was found that the required level of their plasticity provides the content of the main raw material in the following range (wt%): fuel slag – 15 – 20; sandy loam – 50 – 65; expanded clay – 20 – 30. By the method of planning the experiment, the rational composition of the three-component ceramic mass was substantiated. This which contains: 62.5 wt. % sandy loam, 20 wt. % medium-sintering plastic clay as a plasticizer and 17.5 wt. % fuel slag of TPP as a porous agent. For the developed mass, the main technological properties were investigated, which made it possible to recommend the drying mode of the raw material – 60 hours, the optimal firing temperature – 950 °C. Such conditions ensure that samples are obtained without drying cracks and signs of deformation. On the results of dilatometric analysis of mass the rational mode of firing high-hollow semifinished products was designed. The firing mode provides for a 44-hour firing and a decrease in the heating rates in the areas of dehydration of clay minerals, direct quartz transition and intensive sintering of the mass, as well as a decrease in the cooling rate in the area of the reverse quartz transition. The proposed firing mode provides the degree of sintering and their properties necessary for ceramic materials. Based on the developed mass under the recommended drying and firing modes, porous ceramic materials with an apparent density of 1.48 g/cm<sup>3</sup>, a compressive strength of 18.2 MPa and frost resistance of 30 cycles were obtained. The developed materials belong to the group of conditionally effective, and if 50% of the voids are organized, they can be classified as effective.

**Key words:** porous-hollow ceramic stones; density; mechanical strength; frost resistance; thermal efficiency; sandy loam; fuel slag; resource saving.

**Вступ.** В умовах посилення норм до теплопередачі огорожувальних стінових конструкцій останні десятиліття в Україні спостерігається зростання попиту на вироби теплоефективної будівельної кераміки. Використання такої кераміки у вигляді цегли або, частіше за все, у вигляді крупнорозмірних пористо-пустотілих каменів завдяки їх формату, низьким значенням густини, маси та теплопровідності дозволяє збільшити швидкість будівництва, знизити навантаження на фундамент будівель, забезпечити високий рівень акустичної та термічної ізоляції стін [1, 2]. Враховуючи функцію таких виробів як конструкційно-теплоізоляційного керамічного матеріалу, їх удосконалення відбувається в напрямку покращення механічної міцності для збільшення поверховості будівництва та теплотехнічних показників для забезпечення їх енергозберігаючих функцій. Актуальними задачами при розробці таких матеріалів є скорочення енергоспоживання та розширення сировинної бази виробництв за рахунок залучення недефіцитної глинистої сировини [3–7].

Основною сировиною для виробництва такої кераміки є легкотопкі полімінеральні глини, які широко розповсюджені в Україні. Зазвичай ці глини характеризуються невисокою технологічною якістю за причини їх значної засміченості домішками, зокрема кварцовим піском і карбонатами. Саме тому легкотопкі глини у своїй більшості відносяться до неспікливої сировини, що ускладнює отримання на їх основі матеріалів з покращеними механічними властивостями.

Особливістю технології ефективною будівельної кераміки є використання в масах спеціальних пороутворюючих добавок [8]. У більшості випадків вибір того чи іншого поризатора для конкретного виробництва здійснюють з урахуванням економічного фактору, не приділяючи уваги ефективності його поризуючої дії при використанні на конкретній глинистій сировині. В той же час саме взаємозв'язок «поризатор-глина» визначає структуру матеріалу, його фізико-

механічні властивості, а отже конструктивну якість і довговічність окремого виробу та конструкції в цілому [9, 10].

**Мета роботи.** Розроблення складів керамічних мас і технології отримання пористо-пустотілих керамічних каменів з використанням недефіцитних полімінеральних глин і техногенних поризуючих добавок на основі взаємозв'язку «склад-властивості матеріалів».

**Основна частина.** Попередніми дослідженнями, проведеними з метою технологічної оцінки пороутворювачів (розглядалися 16 різних добавок органічного, неорганічного та органо-мінерального походження) [11], встановлено, що використання паливного шлаку ТЕС та мергелю дозволяє отримати керамічні зразки з більш високими показниками механічних властивостей навіть при переважному вмісті в матеріалі відкритих пор. Це пояснювалося зміцненням стінок пор розплавом склофази шлаку та дрібними відкритими порами при використанні мергелю. До того ж паливний шлак (20 мас. %) і мергель (25 мас. %) за температури випалу 950 °C забезпечували заданий рівень густини керамічних зразків (1,5 г/см<sup>3</sup>). Але враховуючи незначну поширеність мергелю в Україні, а також затребуваність цієї мінеральної сировини для багатотоннажних цементних виробництв, для досліджень було обрано паливний шлак як матеріал техногенного походження. Цей поризатор являє собою відходи паливно-енергетичної промисловості, утворюється при згорянні вугілля в котлах ТЕС та представляє інтерес з точки зору його утилізації на підприємствах, що виробляють стінову кераміку.

Розробка складів керамічних мас проводились з використанням глинистої породи Хорольського родовища Полтавської області, яка за гранулометричним складом відноситься до помірно пластичних супісків з числом пластичності 10. Супісок містить надвелику кількість пилюватої фракції (71 %), надто засмічений кварцом (50 %) і карбонатами (кальцит – 10 %,

доломіт – 5 %) за даними петрографічного аналізу. За випалювальними властивостями супісок є неспікливою сировиною з температурою перепаду 1050 °С. За температури випалу 1000 °С продукти випалу супіску характеризуються від'ємною вогневою лінійною усадкою (6 %) і високим водопоглинанням (20,7 %), що пояснюється значним вмістом карбонатних домішок. Механічні властивості випаленого за цієї ж температури супіску знаходяться на невисокому рівні: межа міцності при стиску 13 МПа, при згині – 3 МПа.

Враховуючи низьку технологічну якість супіску (недостатню пластичність і неспікливість), для його використання в технології високопустотних керамічних виробів, що формуються пластичним методом, як глинисту добавку було використано високопластичну керамзитову глину Щемилівського родовища. Дана глина є високопластичною породою монтморилоніт-гідролюдистого складу, відноситься до категорії середньоспікливої сировини з водопоглинанням продуктів випалу на рівні 2–3 % за температур 900–950 °С та може служити добавкою для покращення пластичності і спікливості основної сировини – Хорольського супіску. Це особливо важливо з огляду на те, що у складі мас буде використаний паливний шлак, який є описуючим компонентом.

Для встановлення кількості керамзитової глини, яка може забезпечити необхідний рівень пластичності керамічної маси (не менше 15), було досліджено пластичність двокомпонентних глиномас, складених з хорольського супіску і керамзитової глини у різних співвідношеннях. З метою вивчення зв'язуючої здатності цих глиномас додатково визначалася пластичність трикомпонентних мас з додаванням до суміші глини паливного шлаку, пропущеного крізь сито № 05. Результати такого експерименту наведені в табл. 1.

З наведеної таблиці видно, що з додаванням до супіску високопластичної керамзитової глини пластичність двокомпонентних глиномас закономірно збільшується і, починаючи з вмісту 20 % керамзитової глини, досягає необхідного рівня. За вмісту в трикомпонентних масах 20 % і 30 % керамзитової глини вони можуть зв'язати 15 % і 20 % паливного шлаку при збереженні гарної пластичності мас (число пластичності змінюється від 15 до 17). Отже, для розробки мас на основі хорольського супіску, в яких, як визначено вище, паливний шлак має міститися у кількості приблизно 15–20 мас. %, керамзитову глину доцільно використовувати в кількості 20 – 30 мас. %.

Таблиця 1 – Характеристика пластичних властивостей керамічних мас

супісок	Склад маси, мас. %		Число пластичності
	керамзитова глина	паливний шлак	
90	10	-	13,1
80	20	-	14,8
70	30	-	17,6
60	40	-	22,8
50	50	-	25,0
65	20	15	14,6
55	30	15	17,0
60	20	20	14,1
50	30	20	16,4
50	20	30	13,2
40	30	30	13,7

Далі на основі встановлених меж вмісту сировини було проведено обґрунтування оптимального складу трикомпонентної керамічної маси з використанням методу симплекс-решітчастого планування експерименту [12]. При дослідженні мас за цим методом були прийняті наступні позначення: А – кількість паливного шлаку – 100 мас. %; В – кількість хорольського супіску – 100 мас. %; С – кількість керамзитової глини – 100 мас. %. Кількість сировини у шихтах змінювалася в наступних межах: паливний шлак – 15–20 %; супісок – 50–65 %; керамзитова глина – 20–30 %. Досліджувана область складів мас у псевдокоординатах « $X_n$ » показана на рис. 1.

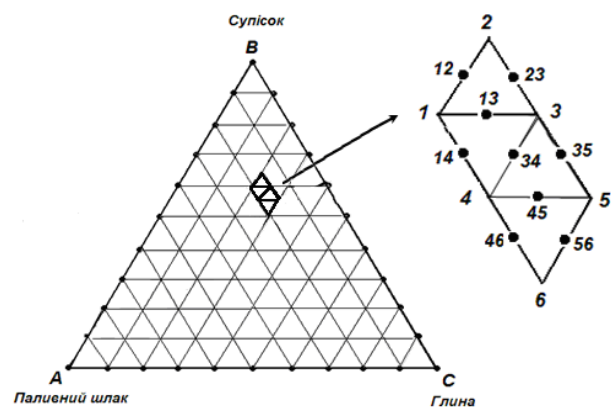


Рисунок 1 – Область розташування дослідних мас на симплексі ABC

Зразки у вигляді кубів зі стороною 20 мм отримували методом пластичного формування при вологості мас 20 %, висушували та випалювали в муфельній печі за температури 950 °С. Далі були досліджені наступні властивості керамічних зразків: водопоглинання (W), уявна густина ( $\rho$ ), межа міцності при стис-

ку ( $\sigma_{ст}$ ) [13] та коефіцієнт структурності ( $K_{стр}$ ) [14], який непрямо оцінює морозостійкість матеріалів. Се-

редні значення цих властивостей, визначені на трьох паралельних зразках, наведені в табл. 2.

Таблиця 2 – Властивості керамічних зразків, отриманих за температури випалу 950 °С

№ досліду	Коор-дината точки	Шихтовий склад, мас. %			Властивості керамічних зразків			
		шлак	супісок	глина	W, %	$\rho$ , г/см <sup>3</sup>	$\sigma_{ст}$ , МПа	$K_{стр}$
1	1	20,0	60,0	20,0	12,0	1,46	17,2	0,83
2	2	15,0	65,0	20,0	12,0	1,52	22,0	0,85
3	3	15,0	60,0	25,0	10,5	1,61	24,0	0,87
4	4	20,0	55,0	25,0	11,5	1,57	23,0	0,87
5	5	15,0	55,0	30,0	7,40	1,70	26,0	0,87
6	6	20,0	50,0	30,0	10,0	1,60	24,0	0,88
7	12	17,5	62,5	20,0	12,0	1,48	18,2	0,85
8	23	15,0	62,5	22,5	10,5	1,56	23,0	0,85
9	13	17,5	60,0	22,5	11,8	1,54	19,0	0,85
10	14	20,0	57,5	22,5	11,0	1,52	23,0	0,85
11	34	17,5	57,5	25,0	11,0	1,58	23,0	0,87
12	35	15,0	57,5	27,5	9,1	1,64	24,0	0,87
13	45	17,5	55,0	27,5	8,6	1,65	23,5	0,87
14	46	20,0	52,5	27,5	11,2	1,59	24,0	0,87
15	56	17,5	52,5	30,0	9,3	1,59	24,0	0,87

Проведено статистичну обробку експериментальних даних та отримано експериментально-статистичні моделі, які мають наступний вигляд:

$$y = \sum b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j,$$

де  $y$  – властивості зразків,  $b$  – коефіцієнти поліному;  $x_{ij}$  – кодовані значення факторів.

Адекватність моделей оцінювалася за відносним відхиленням експериментального значення властивості від її розрахункового значення в контрольних точках (в центрі плану). Отримані моделі характеризувалися достатньою для практичних цілей точністю (відносне відхилення не перевищувало 5 %). Графічна інтерпретація залежностей властивостей керамічних зразків від шихтового складу мас наведена на рис. 2.

З наведених діаграм видно, що збільшення кількості паливного шлаку в шихті лише на 5 % приводить до зменшення густини матеріалів, їх механічної міцності та збільшення водопоглинання. Протилежний вплив на означені властивості чинить керамзитова глина: збільшення її вмісту в шихті від 20 мас. % до 30 мас. % приводить до помітного ущільнення матеріалів і покращення їх механічних властивостей. Щодо впливу супіску, то можна побачити, що ця сировина слабо впливає на усі дослідні властивості. Так, зі збільшенням кількості супіску у шихті від 50 мас. % до 65 мас. % відбувається збільшення водопоглинання лише на 2 %, зменшення густини лише на

0,08 г/см<sup>3</sup> і межі міцності при стиску лише на 2 МПа. Це приводить до висновку про те, що найбільш вагомим фактором, що впливає на властивості керамічних матеріалів, є фактор вмісту поризатора та спікаючої добавки (керамзитової глини).

Враховуючи необхідність отримання зразків з уявною густиною менше 1,5 г/см<sup>3</sup> та коефіцієнтом структурності більше 0,85, область оптимальних складів мас обмежується вмістом супіску 60–62,5 %, паливного шлаку – 17,5–20 % при 20 %-му вмісті керамзитової глини. На основі шихтових складів цієї області можна отримати поризовані керамічні матеріали з водопоглинанням 12 %, уявною густиною 1,46 – 1,48 г/см<sup>3</sup>, межею міцності при стиску 17,2 – 18,2 МПа і коефіцієнтом структурності  $K_{стр} = 0,83 – 0,85$ , який дає позитивний прогноз відносно морозостійкості. Але враховуючи необхідність досягнення значень  $K_{стр} > 0,85$ , оптимальним шихтовим складом слід вважати сировинну композицію, що відповідає точці плану 12 (дослід 7): супісок – 62,5 %, керамзитова глина – 20 %, паливний шлак – 17,5 %. Для означеної маси було досліджено основні властивості, що визначають режими сушки і випалу напівфабрикатів (табл. 3).

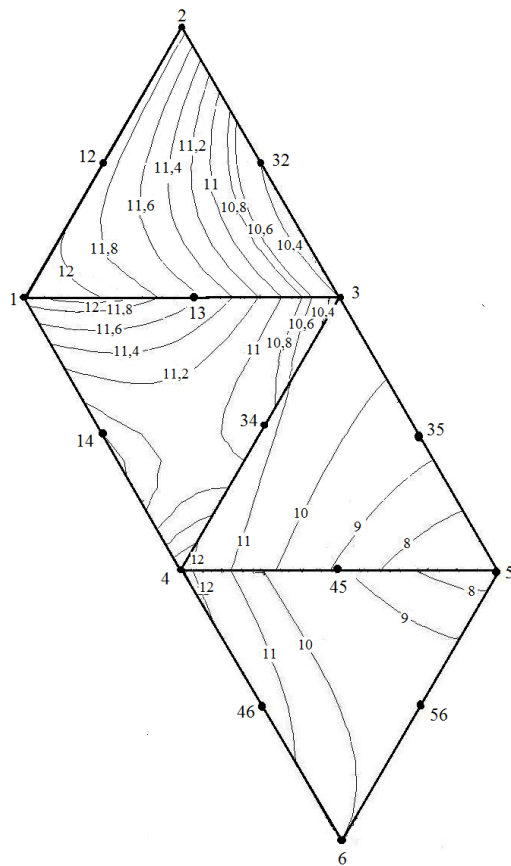
Як видно з даних табл. 3, виходячи з наближеності коефіцієнта чутливості до сушки маси до середньочутливих глин, рекомендований режим сушки си-

рцю має становити 60 годин. Оптимальною температурою випалу є температура 950 °С, яка забезпечує властивості зразків на необхідному рівні без ознак деформації. Слід відмітити, що дослідна маса характеризується вузьким інтервалом випалу (лише 50 °С), що потребує використання заходів, спрямованих на зменшення температурного перепаду в печі.

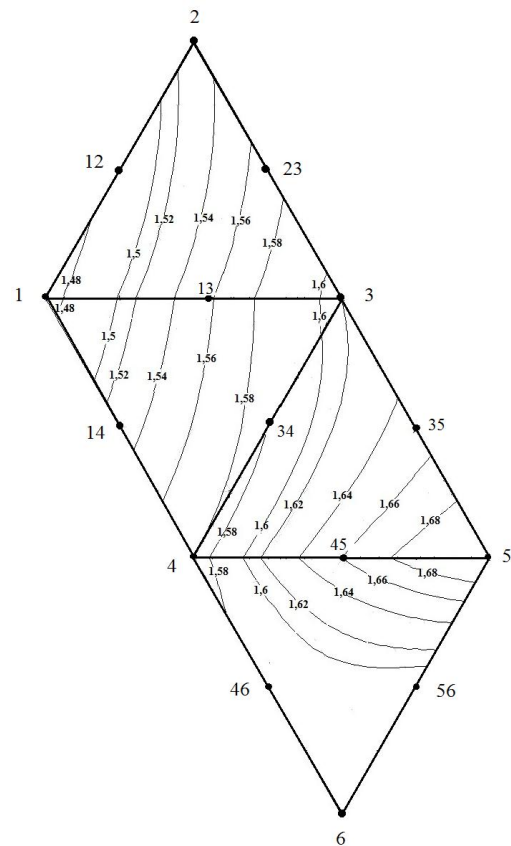
Важливо також проводити випал за раціональним режимом, адаптованим до конкретної керамічної маси, з урахуванням особливостей її поведінки при випалі. З метою розробки раціонального режиму випалу напівфабрикатів було проведено дилатометричний аналіз шихти оптимального складу, результати якого наведені на рис. 3.

Таблиця 3 – Властивості керамічної маси і матеріалів, отриманих на основі шихти оптимального складу

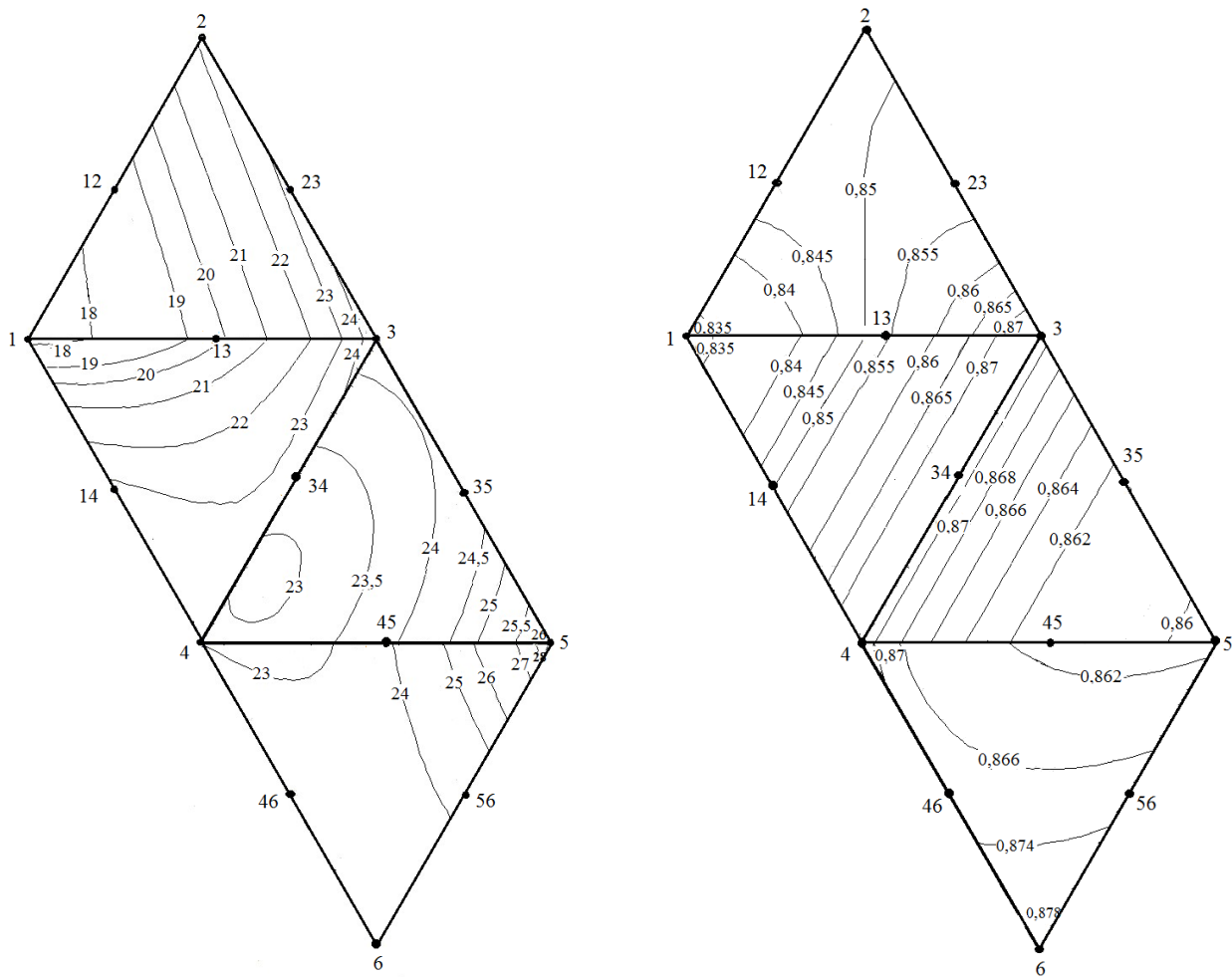
Показник	Значення показника
Нормальна формувальна вологість, %	20
Коефіцієнт чутливості до сушки за методом З.А. Носової	0,95 малочутлива
Повітряна лінійна усадка, %	6,4
Середня густина, г/см <sup>3</sup>	1,50 (900 °С), 1,48 (950 °С)
Водопоглинання, %	14,6 (900 °С), 12,0 (950 °С)
Межа міцності при стиску, МПа	14,0 (900 °С), 18,2 (950 °С)
Морозостійкість, цикли	27 (900 °С), 30 (950 °С)



а) водопоглинання, %



б) уявна густина, г/см<sup>3</sup>



в) межа міцності при стиску, МПа

г) коефіцієнт структурності

Рисунок 2 – Діаграми «шихтовий склад – властивість» для керамічних зразків (температура випалу 950 °С)

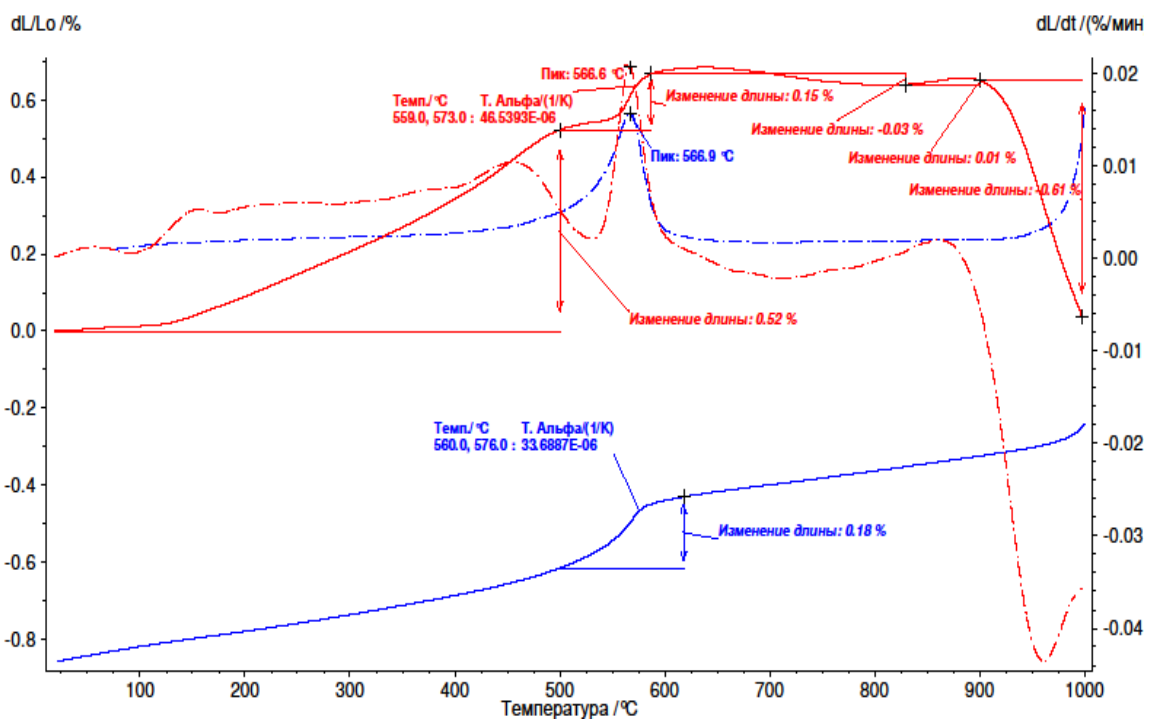


Рисунок 3 – Дилатограма шихти оптимального складу

Таблиця 4 – Характеристика періодів випалу напівфабрикатів

Інтервал зміни температури, °С	Фізико-хімічні процеси	Тривалість періоду, год	Швидкість зміни температури, °С/год
100 – 400	Видалення вологи з напівфабрикатів, теплове розширення компонентів маси	6,0	50
400 – 500	Теплове розширення компонентів маси, початок окислення вуглецю паливного шлаку	3,0	33
500 – 600	Розклад глинистих мінералів, окислення вуглецю паливного шлаку, прямий кварцовий перехід	4,0	25
600 – 950	Окислення вуглецю паливного шлаку, розкладання карбонатів, початок спікання	9,0	39 – 40
950 – 950	Спікання матеріалу	8	Ізотермічна витримка
950 – 700	«Загартування» матеріалу	3,5	70
700 – 500	Затвердіння розплаву, зворотний кварцовий перехід	5,5	36
500 – 50	—	5,0	90

Дилатометричний аналіз показав, що робоча маса характеризується слабкою спікливою, про що свідчить незначне зменшення довжини зразка протягом всього періоду вимірювання. Температурою випалу напівфабрикатів слід вважати температуру 950–960 °С, тому що за цих температур маса спікається з максимальною швидкістю, а за більш високих температур процес спікання уповільнюється. Найбільш критичними, з точки зору виникнення небезпечних термічних напружень в матеріалі, є температурні зони, які відповідають ділянкам дегідратації глинистих мінералів, прямого та зворотного кварцових переходів та інтенсивного спікання. Для зменшення небезпеки виникнення дефектів випалу швидкість нагрівання та охолодження в означених температурних зонах має бути зменшена.

На основі даних дилатометричного аналізу був спроектований раціональний режим випалу напівфабрикатів. При проектуванні режиму випалу виходили з практичних даних про те, що для випалу пустотілих виробів тривалість цього технологічного процесу може становити 40–48 год. Враховуючи задану пустотність виробів (50 %), було прийнято тривалість випалу 44 години. Виходячи з дилатометричних характеристик робочої маси, пропонуються наступні тривалості періодів випалу, які мають забезпечити бездефектний випал напівфабрикатів. Періоди випалу з даними про швидкість зміни температури протягом цих періодів наведені в табл. 4.

#### Висновки.

Запропонована ресурсозберігаюча технологія отримання поризованих керамічних матеріалів з використанням неспікливої супіску низької технологічної якості як базової сировини. Проведений аналіз пластичності керамічних мас, складених із супіску, керамзитової глини та паливного шлаку в різних співвідношеннях, встановлені межі вмісту основної сировини, що забезпечуватимуть необхідний рівень пластичності мас: паливний шлак – 15–20 %; супісок – 50–65 %; керамзитова глина – 20–30 %. Методом планування експерименту проведено обґрунтування раціонального складу керамічної маси, що характеризується наступним вмістом сировини: 62,5 мас. % супіску, 20 % середньоспікливої пластичної глини як пластифікатора маси і спікаючої добавки та 17, 5 % паливного шлаку ТЕС як поризатора. На основі результатів дилатометричного аналізу маси спроектований раціональний режим випалу пустотних напівфабрикатів, який передбачає 44 годинний випал і зниження швидкостей нагріву на небезпечних температурних ділянках, які відповідають дегідратації глинистих мінералів, прямого та зворотного кварцових переходів та інтенсивного спікання. На основі розробленої маси за температури випалу 950 °С отримані поризовані керамічні матеріали з уявною густиною 1,48 г/см<sup>3</sup>, межею міцності при стиску 18,2 МПа і морозостійкістю 30 циклів, які відносяться до групи умовно ефективних, а з урахуванням 50 % пустот можуть бути віднесені до групи ефективних.

Розроблена технологія рекомендується для виробництва керамічних каменів з поризованою стінкою та пустотністю 50 %, що можуть використовуватися в сучасному енергозберігаючому будівництві для спорудження будівель з мінімальним або нульовим споживанням електроенергії.

#### Список літератури

1. Юрковська Н. Р. *Енергоефективність будівель як важливий фактор сучасного будівництва*. 2016. URL: <https://www.sworld.com.ua/konfer42/108.pdf>.
2. Гречин В.Ю. Стеновая керамика компании Wienerberger для строительства жилых домов. Будівельні матеріали, виробы та санітарна техніка. 2006. Вип. 22. С. 17–21.
3. Семенен Р. І., Василюшин О. Я., Якимечко Я. Б. Керамічні теплоізоляційні матеріали низькотемпературного спікання. Вісник Національного університету «Львівська політехніка». 2007. № 590. С. 304–307.
4. Котляр В. Д., Устинов А. В., Ковалев В. Ю., Терехина Ю. В., Котляр А. В. Керамические камни компрессионного формования на основе опок и отходов углеобогащения. Строительные материалы. 2013. № 4. С. 44–46.
5. Субота І. С., Спасьонова Л. М., Булка Т. І., Токова М. І. Застосування золошлакових відходів для виробництва будівельної кераміки. *Промислове будівництво та інженерні споруди*. 2019. № 1. С. 45–48.
6. Гомеля Н.Д., Иваненко Е.И., Гончарук А.В. Применение отходов бумажных предприятий для получения теплоизоляционных материалов. *Экотехнологии и ресурсосбережение*. 2007. № 3. С.36–39.
7. Wang Qingtao, Huaqin Yu, Tao Ben, Qiang Li, Fengzhi Li, Huijun Xu, Haibo Qiao, Qingyang Du. Preparation of lightweight high-strength thermal insulation and decoration integration porous ceramics using red mud. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2019. P. 1–8.
8. Руппик М. Применение органических и неорганических порообразующих добавок. Кирпич и черепица. 2007. № 2. С. 24–28.
9. Оксамит Т. В. Регулювання процесів структуроутворення керамічних мас системи «глина полімінеральна-каоолініт-польовошпатована сировина». *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2014. № 5/5 (71). С. 49–55.
10. Pierre-Marie Nigay, Thierry Cutard, Ange Nzihou. The impact of heat treatment on the microstructure of a clay ceramic and its thermal and mechanical properties. *Ceramics International*. 2017. Vol. 43 (2). P. 1747–1754. URL: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01619238/document>.
11. Щукіна Л. П., Пилипчатін О. В., Галушка Я. О., Міхеєнко Л. О. Вплив органічних та неорганічних поризаторів на властивості пористо-пустотилої будівельної кераміки *Вісник НТУ «ХПІ»*. 2012. № 32. С. 32 – 38.
12. Винарский М.С., Лурье М.В. *Планирование эксперимента в технологических исследованиях*. Київ: Техніка, 1975. 135 с.
13. *ДСТУ В В.2.7-42-97. Будівельні матеріали. Методи визначення водопоглинання, густини й морозостійкості будівельних матеріалів і виробів*. Вид. офіц. Київ: Держкоммістобудування України, 1997. 25 с.
14. Книгина Г. И., Вершинина Э. Н. *Лабораторные работы по технологии строительных и легких пористых заполнителей*. Москва: Вища школа, 1972. 197 с.

#### References (transliterated)

1. Yurkovs'ka N. R. Enerhoefektyvnist' budivel' yak vazhlyvyi faktor suchasnoho budivnytstva [Energy efficiency of buildings as an important factor in modern construction] 2016. Available at: <https://www.sworld.com.ua/konfer42/108.pdf>.
2. Grechin V.YU. Stenovaya keramika kompanii Wienerberger dlya stroitel'stva zhilykh domov [Wall ceramics from Wienerberger for the construction of residential buildings] *Budivel'ni materialy, vyroby ta sanitarna tekhnika*. 2006. Vol. 22., pp. 17–21.
3. Semehen R. I., Vasylyshyn O. YA., Yakymchko YA. B. Keramichni teploizolyatsiyni materialy nyz'kotemperaturnoho spikannya [Ceramic heat-insulating materials of low-temperature sintering] *Visnyk Natsionalnoho universytetu «L'viv's'ka politekhnika»* [Bulletin of the National University «Lviv Polytechnic»], 2007, no. 590, pp. 304–307.
4. Kotlyar V. D., Ustinov A. V., Kovalev V. YU., Terekhina YU. V., Kotlyar A. V. Keramicheskiye kamni kompressionnogo formovaniya na osnove opok i otkhodov ugleobogashcheniya [Ceramic stones of compression molding based on flasks and waste of coal preparation] *Stroitel'nyye materialy*, 2013, no. 4, pp. 44–46.
5. Subota I. S., Spas' onova L. M., Bulka T. I., Tokova M. I. Zastosuvannya zoloshlakovykh vidkhodiv dlya vyrobnytstva budivel'noy keramiky [Application of ash and slag waste for production of building ceramics] *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, 2019, no. 1, pp. 45–48.
6. Gomelya N.D., Ivanenko Ye.I., Goncharuk A.V. Primeneniye otkhodov bumazhnykh predpriyatiy dlya polucheniya teploizolyatsionnykh materialov [The use of waste paper enterprises to obtain thermal insulation materials] *Ekotekhnologii i resursosberezhniye*, 2007, no. 3, pp. 36–39.
7. Wang Qingtao, Huaqin Yu, Tao Ben, Qiang Li, Fengzhi Li, Huijun Xu, Haibo Qiao, Qingyang Du. Preparation of lightweight high-strength thermal insulation and decoration integration porous ceramics using red mud. *Journal of the Australian Ceramic Society*. 2019. pp. 1–8.
8. Ruppik M. Primeneniye organicheskikh i neorganicheskikh poroobrazuyushchikh dobavok [Application of organic and inorganic pore-forming additives] *Kirpich i cherepitsa*, 2007. No. 2, pp. 24–28.
9. Oksamyt T. V. Rehulyuvannya protsesiv strukturoutvorennya keramichnykh mas systemy «hlyna polimineraln' nakaolinit-pol ovoshpatova syrovyna» [Regulation of processes of structure formation of ceramic masses of the system clay polymineralkaolinite-feldspar raw materials] *Vostochno-Yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy* [Eastern European Journal of Advanced Technologies], 2014, no. 5/5 (71). pp. 49–55.
10. Pierre-Marie Nigay, Thierry Cutard, Ange Nzihou. The impact of heat treatment on the microstructure of a clay ceramic and its thermal and mechanical properties. *Ceramics International*. 2017. Vol. 43 (2). P. 1747–1754. Available at: <https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01619238/document>.
11. Shchukina L. P., Pylypchatin O. V., Halushka YA. O., Mikheyenko L. O. Vplyv orhanichnykh ta neorhanichnykh poryzatoriv na vlastyosti porysto-pustotiloyi budivel'noy keramiky [Influence of organic and inorganic porous agents on the properties of porous-hollow building ceramics] *Vestnik NTU «KhPI»* [Bulletin of NTU «KhPI»], 2012, no. 32, pp. 32 – 38.
12. Vinarskiy M.S., Lur'ye M.V. *Planirovaniye eksperimenta v tekhnologicheskikh issledovaniyakh* [Planning an experiment in technology research]. Kiev: Technology, 1975. 135 p.
13. *DSTU B V.2.7-42-97. Budivel'ni materialy. Metody vyznachennya vodopohlynannya, hustyny y morozostiykosti budivel'nykh materialiv i vyrobiv* [State Standard B V.2.7-42-97. Building



materials. Methods for determining water absorption, density and frost resistance of building materials and products] Kyiv: State Committee for Urban Development of Ukraine Publ., 1997. 25 p.

14. Knigina G. I., Vershinina E. N. *Laboratoryye raboty po tekhnologii stroitel'nykh i legkikh poristykh zapolniteley*

[Laboratory work on the technology of construction and light porous aggregates] Moscow, Vishcha school, 1972. 197 p.

*Надійшла (received) 09.09.2021*

#### *Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors*

**Шукіна Людмила Павлівна (Шукина Людмила Павловна, Shchukina Liudmyla Pavlivna)** – кандидат технічних наук, доцент, Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; м. Харків, Україна; тел.: +38(057) 707-64-82; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5817-4279>; e-mail: [shchlp2016@gmail.com](mailto:shchlp2016@gmail.com).

**Гамова Ольга Олександрівна (Гамова ольга Александровна, Gamova Olha Oleksandrivna)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», молодший науковий співробітник кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; м. Харків, Україна; тел.: +38(057) 707-60-51; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2814-9790>; e-mail: [gamova80@gmail.com](mailto:gamova80@gmail.com).

**Герасов Максим Юрійович (Герасев Максим Юрьевич, Herasev Maksym Yurevych)** – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», студент групи ХТ-119св кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей; м. Харків, Україна; тел.: +38(057) 707-64-82; e-mail: [maksym.herasov@iht.khpi.edu.ua](mailto:maksym.herasov@iht.khpi.edu.ua).