

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»  
МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Кваліфікаційна наукова  
праця на правах рукопису

Галушка Ярослав Олегович

УДК 666.72

ДИСЕРТАЦІЯ

КОНСТРУКЦІЙНО-ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНІ КЕРАМІЧНІ МАТЕРІАЛИ  
З ОРГАНІЗОВАНОЮ ПОРОВОЮ СТРУКТУРОЮ  
ДЛЯ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОГО БУДІВНИЦТВА

05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів  
161 – хімічні технології та інженерія

Подається на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей,  
результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

*Згідно з вимогами до змісту  
з черешком прикріплення  
дисертації досліджено.  
Внесений науковий внесок  
всеступеня науковця вищої категорії  
03  
Щукина Людмила Павлівна  
02.01.2021*



Я.О. Галушка

Науковий керівник  
Щукіна Людмила Павлівна  
кандидат технічних наук, професор



Харків – 2021

## АНОТАЦІЯ

*Галушка Я. О.* Конструкційно-теплоізоляційні керамічні матеріали з організованою поровою структурою для енергозберігаючого будівництва. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук (доктора філософії) за спеціальністю 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів (161 – Хімічні технології та інженерія). Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2021.

Дисертацію присвячено розробці технології теплоефективної конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки з покращеними теплотехнічними і механічними властивостями на основі цегельно-черепичної сировини невисокої технологічної якості та компонентів техногенного походження.

В роботі здійснено огляд та аналіз сучасних науково-технологічних досягнень в галузі створення теплоефективної кераміки для енергозберігаючого будівництва. Надана порівняльна характеристика сучасних конструкційно-теплоізоляційних матеріалів для зведення теплоізоляційної оболонки будівель, показані переваги керамічних матеріалів при їх використанні в одношарових стінових конструкціях. Розглянуті особливості технологій конструкційно-теплоізоляційної кераміки та фактори, що визначають рівень експлуатаційних властивостей таких матеріалів. Проаналізований взаємозв'язок між структурно-фазовим складом і властивостями конструкційно-теплоізоляційної стінової кераміки.

Наведені відомості про використані сировинні матеріали, методи та методики теоретичних та експериментальних досліджень, застосованих в роботі.

Проведені теоретичні дослідження, спрямовані на прогнозування теплозахисних властивостей моделей крупнорозмірних поризованих і непоризованих виробів різної пустотності. З використанням імітаційного 3D-моделювання проведений порівняльний аналіз механічних властивостей моделей, вивчений вплив геометричних параметрів пористої структури керамічного матеріалів на їх механічні властивості. Показані переваги моделі меншої пустотності з поризованою ке-

рамічною стінкою з точки зору кращої теплопровідності, а також переваги структурної моделі зі сферичними порами з точки зору кращої механічної міцності.

Проведені системні дослідження полімінеральних глин з відмінним хіміко-мінеральним складом як типових представників сировинної бази цегельно-черепичної галузі. Вивчені процеси фазоутворення цих порід у взаємозв'язку з характеристиками їх спікання і властивостями. Показано, що для посилення механічної міцності керамічних матеріалів доцільно використовувати середньоспікливі породи, однак можливо застосовувати і неспікливі породи з підвищеним вмістом карбонатних мінералів, які є джерелом синтезу структурозмінюючих кристалічних фаз при випалі.

Досліджений взаємозв'язок «технологія-структура-властивості» керамічних матеріалів, отриманих за різними механізмами поризації. Визначені добавки, здатні утворювати підвищену пористість матеріалів при мінімальному рівні їх знеміцнення. Встановлені корелятивні зв'язки між структурними показниками, які вказують на необхідність організації пористих структур з дрібними замкненими сферичними порами як найменш дефектних і міцних. Вивчені різні види золоматеріалів як пороутворювачів при виготовленні конструкційно-теплоізоляційної кераміки з поризованою стінкою. Встановлена доцільність та ефективність використання техногенних золосфер, які дозволяють організувати високопористу структуру (в середньому 53 %) з переважанням пор закритого типу (30 %).

Проведені дослідження в напрямку опрацювання способів зміцнення керамічної основи поризованих керамічних матеріалів, отримуваних на основі неспікливих суглинків. Показана доцільність використання глинистих добавок, зокрема керамзитової глини в кількості 10 – 20 %, для покращення пластичних властивостей мас, їх спікання та механічної міцності керамічної матриці поризованих матеріалів. Досліджені металургійні шлаки (доменні та ваграночний) як техногенні добавки структурозміцнюючої дії, які є джерелом синтезу кристалічних фаз анортиту, діопсиду та воластоніту при випалі матеріалів. Визначений позитивний вплив ваграночного шлаку на зміцнення керамічних матеріалів (на 70 %).

Проведені дослідження по розробці оптимальних рецептурно-технологічних

параметрів отримання поризованої конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки на основі неспікливого суглинку і техногенних компонентів. Визначена область раціональних складів керамічних мас, оптимальний склад маси (56 % суглинку, 14 % керамзитової глини, 10 % золосфер і 20 % ваграночного шлаку), температура випалу, а також ступінь подрібнення сировинних компонентів, які в комплексі за температури випалу 970 °С дозволяють отримати матеріали з середньою густиною 1380 кг/м<sup>3</sup> і межею міцності при стиску 20,2 МПа. Опрацьовані технологічні прийоми по зміцненню контактної зони «керамічна матриця–золосфера» шляхом попередньої обробки золосфер для забезпечення їх адгезії до інших компонентів маси. Встановлено, що для покращення міцності необхідно забезпечувати максимально можливу взаємодію між поризатором і масою, що досягається використанням попередньої обробки золосфер керамзитовим шлікером, який сприяє рідкофазному спіканню золосфери з масою під час випалу.

Досліджені технологічні властивості керамічної маси оптимального складу, (пластична міцність, чутливість до сушки, дилатометричні температури спікання), на підставі чого визначені режими сушки та випалу напівфабрикатів. Розроблена технологічна схема виробництва поризованої конструкційно-теплоізоляційної кераміки, яка передбачає скорочений цикл сушки (24 год) і випалу (44 год), на основі якої можна отримати поризовану конструкційно-теплоізоляційну кераміку з маркою за механічною міцністю М 175, коефіцієнтом теплопровідності 0,19 Вт/(м·К) і густиною 850 кг/м<sup>3</sup> (при 40 % пустотності). Прогнозований економічний ефект від скорочення випалу та відповідної економії природного газу складає 3656391 грн/рік при річній продуктивності підприємства 33 млн ум. штук виробів.

*Наукова новизна результатів роботи.* Теоретично обґрунтована та експериментально підтверджена можливість отримання конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів із заданою пористою структурою збільшеної теплової ефективності та механічної міцності на основі недефіцитної цегельно-черепичної сировини та техногенних компонентів.

Вперше:

- на основі 3D-моделювання експлуатаційної поведінки пустотілих кераміч-

них виробів з пористим та щільним каркасом визначені технологічні принципи отримання конструкційно-теплоізоляційної будівельної кераміки з покращеними теплозахисними і деформаційно-міцнісними характеристиками, які полягають у зниженні пустотності виробів, організації раціональної пористої структури керамічного каркасу зі сферичними порами та зміцненні локальних зон «керамічна матриця-пора» як найбільш уразливих ділянок структури;

- на основі системного дослідження процесів спікання і фазоутворення полімінеральних глинистих порід доведена можливість використання неспікливих суглинків в масах для отримання поризованої будівельної кераміки з їх модифікацією керамзитовою глиною (10 – 20 мас. %), яка забезпечує необхідну пластичну консистенцію глиномас (коефіцієнт консистенції 0 – 0,25) і суттєве зміцнення матеріалів (максимально на 112 %) залежно від кількості глини і температури випалу (920 – 980 °С) за рахунок кращої спікливості мас;

- встановлені закономірності структуроутворення в поризованих керамічних матеріалах з використанням пороутворюючих добавок з різними механізмами поризації у взаємозв'язку з технологічними параметрами їх отримання та властивостями. Вони полягають в тому, що за однакового рівня загальної пористості (40 %) механічна міцність структур визначається їх однорідністю та долею закритих пор, оптимальне поєднання яких можливо при використанні тонкодисперсних органо-мінеральних поризаторів, які формують найбільш міцні структури з глобулярними і сферичними порами та коефіцієнтом анізотропії 0,8 – 1,0;

- визначена ефективність використання висококальцієвого ваграночного шлаку в масах для отримання керамічних матеріалів підвищеної міцності як функціонального компонента, який при випалі матеріалів за температур 970 – 1000 °С є джерелом синтезу новоутворень з подовженою неізометричною формою кристалів (анортит, діопсид, воластоніт), які зміцнюють структуру, що покращує межу міцності при стиску матеріалів на 70 %.

*Практичне значення отриманих результатів* для промисловості будівельних матеріалів полягає у розробці ресурсоощадної технології пористо-пустотілих керамічних будівельних виробів зниженої пустотності з покращеними теплотех-

нічними та експлуатаційними характеристиками на основі неспікливої глинистої сировини і техногенних добавок.

Проведені в умовах ТОВ «Плінфа» (м. Харків) лабораторно-промислові випробування керамічної маси оптимального складу і запропонованих технологічних рішень підтвердили практичну цінність розробок, впровадження яких у промислове виробництво дозволить отримати економічний ефект за рахунок суттєвого зниження витрат природного газу на рік (414556,8 м<sup>3</sup>) для підприємства середньої продуктивності (33 млн штук умовних виробів на рік).

Результати дисертаційної роботи впроваджено у навчальний процес кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП» при викладанні дисциплін: «Інноваційні матеріали і технології в технологіях тугоплавких неметалевих силікатних матеріалів (ТНСМ)», «Хімічні технології будівельних матеріалів для медицини, техніки і будівництва», «Виробництво кераміки та вогнетривів», «Ресурсо- та енергозбереження в технології ТНСМ».

**Ключові слова:** конструкційно-теплоізоляційні керамічні матеріали, полімеральна глиниста сировина, неспікливі суглинки, пороутворюючі добавки, механізми поризації, макро- і мікроструктура, золосфери, ваграночний шлак, механічна міцність, густина, теплопровідність

#### СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Щукіна Л. П., Пилипчатін О. В., Галушка Я. О., Міхеєнко Л. О. Вплив органічних та неорганічних поризаторів на властивості пористо-пустотілої будівельної кераміки. *Вісник Національного технічного університету «ХП»*. 2012. № 32. С. 32–38.

2. Щукина Л. П., Галушка Я. О., Михеенко Л. А., Цовма В. В. Структура и свойства теплоизоляционной керамики, получаемой методом введения удаляемых и газообразующих добавок. *Вісник Національного технічного університету «ХП»*. 2014. № 27 (1070). С. 142–147.

3. Щукіна Л. П., Цовма В. В., Галушка Я. О., Міхеєнко Л. О. Технологічні

способи регулювання пористої структури і властивостей конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів. *Технологический аудит и резервы производства*. 2015. № 6/4 (26). С. 51–55.

4. Рыщенко М. И., Белостоцкая Л. А., Щукина Л. П., Трусова Ю. Д., Павлова Л. В., Галушка Я. О. Утилизация металлургических шлаков в производстве стеновой керамики. *Экология и промышленность*. 2017. № 2. С. 78–84.

5. Рыщенко М. И., Щукина Л. П., Лисачук Г. В., Галушка Я. О., Цовма В. В. Керамические строительные материалы с использованием шлаковых отходов чугунолитейного производства. *Экология и промышленность*. 2018. № 2. С. 67–73.

6. Shchukina L., Galushka Ya., Bohdanova K. An improvement of criteria for assessing the quality of clay raw material for architectural and construction ceramics. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2018. № 6 (6). P. 51–57.

7. Rykusova N., Shestopalov O., Shchukina L., Briankin O., Galushka Ya. Study of the properties of drill cuttings at their use as technogenic raw materials for the production of building ceramics. *ScienceRise*. 2020. No. 1 (66). P. 10–22.

8. Щукіна Л. П., Галушка Я. О., Савенков А. С., Хлопицький О. О. Перспективи використання золоматеріалів у виробництві конструкційно-теплоізоляційної кераміки. *Питання хімії та хімічної технології*. 2020. № 3. С. 215–224.

9. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Цовма В. В., Мироненко Д. О. Взаємозв'язок інтервалу газоутворення поризаторів і властивостей стінової кераміки на основі глин різної спікливості. *Кераміка: наука і життя*. 2016. № 1(30). С. 4–10.

10. Керамічна маса для виготовлення стінових виробів: пат. 119091 Україна: МПК С04В 33/00. № u2017036100; заявл. 03.04.2017; опубл. 11.09.2017, Бюл. № 17. – 4 с.

11. Щукина Л. П., Пилипчатин А. В., Галушка Я. О., Орлов В. Б., Зарипова Р. Р. Влияние поризующих добавок на свойства стеновой керамики, получаемой на основе глин с различной степенью спекания. *Новейшие достижения в области импортозамещения в химической промышленности и производстве строительных материалов*: матер. Междунар. науч.-техн. конф. (Минск, 22–23 ноября 2012 г.). Минск: БГТУ. 2012. Ч. 1. С. 87–90.

12. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Міхеєнко Л. О., Пилипчатін О. В. Поризована кераміка для будівництва споруд з низьким енергоспоживанням. *Львівські хімічні читання – 2013*: збірник наукових праць XIV наукової конференції (Львів, 26–29 травня 2013 р.). Львів: Львівський НУ ім. І. Франка. 2013. С. У53.

13. Щукіна Л. П., Галушка Я. О., Пилипчатін О. В., Колесник Є. В., Використання комбінованих поризаторів при отриманні теплоефективної стінової кераміки. *Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалевих та силікатних матеріалів*: тез. доп. Міжнар. наук.-техн. конф. (Дніпропетровськ, 8–9 жовтня 2013 р.). Дніпропетровськ: УДХТУ. 2013. С. 67.

14. Щукіна Л. П., Галушка Я. О., Вернігора К. П., Кушнірюк А. Д. Роль фазового складу у формуванні рівня механічної міцності поризованої стінової кераміки. *Технология и применение огнеупоров и технической керамики в промышленности*: тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. (Харьков 29–30 апреля 2014 г.). Харьков: Оригинал. 2014. С. 73–75.

15. Щукіна Л. П., Галушка Я. О. Вплив структурного фактору на фізико-механічні властивості кераміки. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я*: тез. доп. XXII Міжнар. наук.-техн. конф. (Харків, 15–17 жовтня 2014 р.). Харків: НТУ «ХПІ». 2014. Ч.ІІ. С. 306.

16. Галушка Я. О., Мироненко Д. О. Дослідження факторів, які впливають на макроструктуру поризованої будівельної кераміки. *«Science and Scientists»*: збірник матер. Міжнародної міждисциплінарної наукової конференції студентів, аспірантів і молодих вчених (Дніпропетровськ, 21–22 грудня 2015 р.). Дніпропетровськ: GlobalNauka. 2015. С. 185–187.

17. Щукіна Л. П., Галушка Я. О., Цовма В. В., Мироненко Д. О. Вплив техногенних органо-мінеральних добавок на конструктивну якість поризованої кераміки. *«Проблеми та досягнення сучасної хімії»*: збірник тез. доп. XVIII наукова молодіжна конференція (Одеса, 17–20 травня 2016 р.). Київ: ТОВ НВП «Інтерсервіс». 2016. С. 96.

18. Галушка Я. О. Дослідження фазового складу і кераміко-технологічних властивостей ваграночного шлаку. *Наукові дослідження: перспективи інновацій у*



*суспільстві і розвитку технологій: матеріали конф. V Всеукраїнської науково-практичної конференції (Харків, 14–15 березня 2017 р.).* Харків: НП «НТЦ». 2017. С. 101–103.

19. Щукіна Л. П., Рищенко М. І., Галушка Я. О., Лігезін С. Л., Міхесенко Л. О. Комплексна обробка інформації щодо техногенної сировини для керамічних технологій. *Прикладні науково-технічні дослідження: матер. Міжнар. наук.-практ. конф. (Івано-Франківськ, 5–7 квітня 2017 р.).* Івано-Франківськ. 2017. С. 129.

20. Мироненко Д. О., Щукіна Л. П., Галушка Я. О. Залежність властивостей пористо-пустотілої стінової кераміки від газотвірної здатності поризаторів. *XI Міжнародна науково-практична конференція магістрантів та аспірантів: матеріали конф. (Харків, 18–21 квітня 2017 р.).* Харків: НТУ «ХП». 2017. Ч. 2. С. 180.

21. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Лігезін С. Л. Способи підвищення механічної міцності поризованої будівельної кераміки. *Львівські хімічні читання – 2017: збірник наукових праць XVI наукової конференції (Львів, 28–31 травня 2017 р.).* Львів: Львівський НУ ім. І. Франка. 2017. С. У22.

22. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Рищенко М. І., Павлова Л. В., Гуміров Е. І. Будівельна кераміка з використанням техногенних компонентів з власною структурною пористістю. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матер. XXVI Міжнар. наук.-практ. конф. MicroCAD-2018, (Харків, 16–18 травня 2018 р.).* Харків. 2018. Ч. II. С. 217.

23. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Ященко Л. О., Маслов А. В. Мінеральні добавки для зміцнення керамічної матриці конструкційно-теплоізоляційних матеріалів. *Львівські хімічні читання – 2019: матер. XVII наук. конф., (Львів, 2–5 червня 2019 р.).* Львів. 2019. С. 3133.

24. Галушка Я. О., Щукіна Л. П. Використання відходів міського господарства при виготовленні конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів. *Актуальні питання хімії та інтегрованих технологій: матеріали конф. Міжнар. наук.-практ. конф. (Харків, 7–8 листопада 2019 р.).* Харків: ХНУМГ ім. О.М. Бекетова. 2019. С. 117.

25. Галушка Я. О., Щукіна Л. П., Пітак О. Я., Маслов А. В. Теплоэффективна кераміка з використанням функціональних добавок техногенного походження. *Фізико-хімічні проблеми в технології тугоплавких неметалічних і силікатних матеріалів*: матер. Міжнарод. науч.-техн. конф. (Харьков, 2020 г.). Харьков. 2020. С. 59–60.

## ABSTRACT

*Galushka Ya. O.* Insulating construction ceramic materials with organized pore structure for energy-saving civil engineering. – Qualification scientific work equated to manuscript.

Dissertation for a degree of Candidate of Science, Technology (PhD), Specialty 05.17.11 – Technology of Refractory Nonmetallic Materials (161 – Chemical Technologies and Engineering). National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute”, Kharkiv, 2021.

The dissertation is devoted to technology of heat-efficient insulating construction ceramic materials with improved thermal and mechanical properties on the basis of low-quality brick/tile feed and industrial origin components.

The work includes a review and analysis of up-to-date research and development achievements in the field of heat-efficient ceramics for energy-saving civil engineering. Comparative characteristics were specified for contemporary insulating construction ceramic materials used in insulating envelopes of buildings, advantages of ceramic materials are demonstrated in their application for single-layer wall structures. Mutual dependence was analyzed between phase structural composition and properties of insulating construction wall ceramics.

Data were specified of applied raw materials, methods and methodologies of theoretical and experimental research applied in the work.

Performed theoretical research was aimed to predict insulating properties of models of large-size porous and non-porous various voidance articles. Using 3D imitation we performed comparative analysis of mechanical properties of models, studied the effect of ceramic material porous structure geometric parameters on their mechanical properties. Advantages of least voidance model with porous ceramic wall are shown from the point of view of better thermal conductivity as well as advantages of globular pore structural model from the point of view of better mechanical strength.

Polym mineral clays of different chemical mineral composition were studied as typical sources of raw materials for brick and tile industry. Phase formation processes of

these rocks were studied in connection with their sintering characteristics and properties. It was demonstrated that for improvement of ceramic material mechanical strength usage of non-sinterable rocks with high carbonate mineral content will be feasible as they are sources of structure-amending crystalline phases in the course of burning.

Process-structure-properties string was traced for ceramic materials obtained under different pore formation mechanisms. Additives are defined capable to arrange increased porosity of materials at their weakening values as small as possible. Correlations are found between structural parameters indicative of the necessity to arrange porous structures with small closed globular pores as being least imperfect and most strong. Various types of ash materials were studied as pore formants in manufacture of insulation construction ceramics with a porous wall. Feasibility and efficiency were proved for application of process ash globules enabling to arrange a high porosity (53 % at the average) structure with prevalent closed-type pores (30 %).

Techniques were studied for ceramic basis strengthening of ceramic materials obtained from non-sinterable loams. Clay additives, such as claydite, were shown to be favorable to the amount of 10 – 20 % in improvement of ceramic mass plasticity, of their sintering and mechanical strength of porous material ceramic matrix. Metallurgical slags (blast-furnace and cupola) were studied as structure-strengthening additives of industrial origin to start synthesis of structure-strengthening phases of anorthite, diopside and wollastonite in burning of materials. Positive effect of cupola slag was determined in strengthening of ceramic materials by as much as 70 %.

We studied optimal composition and process parameters for manufacture of porous and insulating construction ceramics on the basis of non-sinterable loams and components of industrial origin. The range of reasonable ceramic mass composition was determined as well as its optimal analysis (56 % loam, 14 % claydite, 10 % ash globules and 20 % cupola slag), burning temperature and degree of fineness of crude components, which together with burning temperature of 970 °C enable manufacture of materials with average density 1380 kg/m<sup>3</sup> and compression strength 20,2 MPa. Process techniques were proved for strengthening of “ceramic matrix-ash globule” area by pre-treatment of ash globules in order to ensure their adhesion to other mass components. In

order to improve strength it was shown expedient to create as close as possible interaction between pore formant and the mass, which is attained by ash globule pretreatment with claydite slurry which is favorable to liquid phase sintering between ash globule and the mass in the course of burning.

Processability properties of optimal composition ceramic mass were studied (plastic strength, susceptibility to drying, sintering dilatometry characteristics), which enabled establishment of process patterns for semi-finished drying and burning. Process flow diagram was developed for insulating porous construction ceramics which provides for shorter drying (24 hrs) and burning (44 hrs) cycles. This permits manufacture of insulating construction ceramics meeting the values of mechanical strength M 175, thermal conductivity of 0,19 W/(m·K) and density of 850 kg/m<sup>3</sup> (at voidance 40 %). Predicted profit from shortened burning cycle and respective natural gas saving was UAH 3656391 at production capacity of 33 million standard articles per annum.

*Scientific novelty of work results.* A possibility was theoretically substantiated and experimentally confirmed to produce insulating construction ceramic materials with organized pore structure possessing improved thermal efficiency and mechanical strength on the basis of cheap brick/tile feed and industrial origin components.

For the first time:

- on the basis of 3D modeling of porous and dense carcass hollow ceramic article operational behavior process engineering principles were defined insulating construction ceramic materials with organized pore structure possessing improved heat insulation and strain-strength characteristics consisting in reduced voidage of articles, reasonable pore structure of ceramic carcass with globular pores and strengthening of local ceramic matrix-pore areas as most vulnerable sections of structure;

- on the basis of systemic study of sintering and phase formation processes in polymineral clay rocks a possibility was proved to apply non-sinterable loams manufacture of porous construction ceramics under modification of the latter with claydite (10 – 20 mass %), which ensures necessary plastic consistency of clay mass (consistency factor 0 – 0,25) and substantial strengthening of materials (at the most by 112 %) depending on clay amount and burning temperature (920 – 980 °C) due to better mass sinterability;

- regularities were defined for structure formation in porous ceramic materials using pore formants with various pore formation mechanisms in connection with process parameters of their preparation and their properties. These regularities consist in the fact that under identical total porosity level (40 %) mechanical strength of structures depend on their homogeneity and percentage of closed pores, and they may be optimally coerced using fine organic-mineral pore formants which form the most steadfast structures with globular and spherical pores and anisotropic factor of 0,8 – 1,0;

- efficiency was determined of high-calcium cupola slag application in masses for manufacture of increased strength ceramic materials as a functional component which under burning of materials at 970 – 1000 °C acts as a source of new formations with elongated non-isometric crystal shape (anorthite, diopside, wollastonite) which increase ultimate compression strength by 70 %.

*Practical importance of obtained results* for building materials industry lies in development of resource-saving technology for manufacture of hollow porous insulating construction ceramics having low voidance at improved thermal and operational characteristics on the basis of crude clay with additives of industrial origin.

Laboratory and pilot tests of ceramic mass with optimal composition and proposed process solutions at Plinfa Company, Kharkiv have confirmed practical value of our developments; their implementation will enable to gain due to substantial reduction of natural gas consumption (414556,8 m<sup>3</sup> per annum) for a facility of medium capacity (33 million standard articles per annum).

The results of work have been implemented in academic process at Department of Ceramics, Refractories, Glass and Enamels, National Technical University “Kharkiv Polytechnic Institute” in teaching courses of “Innovative Materials and Technologies in Manufacture of Refractory Nonmetal Silicate Materials (RNSM)”, “Chemical technologies of Building Materials for Medicine, Industry and Civil Engineering”., “Manufacture of Ceramics and Refractories”, ”Resource and Energy Saving in RNSM”.

**Keywords:** insulating ceramic construction materials, polymineral clay raw materials, non-sinterable loams, pore formant additives, pore formation mechanisms, macro-

and microstructure, ash globules, cupola slag, mechanical strength, density, thermal conductivity.

#### LIST OF PUBLISHED PAPERS ON THE TOPIC OF THE DISSERTATION

1. Shchukina L. P., Pylypchatin O. V., Galushka Ya. O., Mikheenko L. O. Vplyv orhanichnykh ta neorhanichnykh poryzatoriv na vlastyivosti porysto-pustotiloi budivelnoi keramiky. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. 2012. № 32. S. 32–38.

2. Shchukina L. P., Galushka Ya. O., Mikheenko L. A., Tsovma V. V. Struktura i svoystva teploizolyatsionnoy keramiki, poluchaemoy metodom vvedeniya udalyaemykh i gazoobrazuyuschih dobavok. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. 2014. № 27 (1070). S. 142–147.

3. Shchukina L. P., Tsovma V. V., Galushka Ya. O., Mikheenko L. O. Tekhnologichni sposoby rehuliuвання porystoi struktury i vlastyivostei konstruktsiino-teploizoliatsiinykh keramichnykh materialiv. *Tehnologicheskij audit i rezervy proizvodstva*. 2015. № 6/4 (26). S. 51–55.

4. Ryshchenko M. I., Belostockaya L. A., Shchukina L. P., Trusova Yu. D., Pavlova L. V., Galushka Ya. O. Utilizatsiya metallurgicheskikh shlakov v proizvodstve stenovoy keramiki. *Ekologiya i promyshlennost*. 2017. № 2. S. 78–84.

5. Ryshchenko M. I., Shchukina L. P., Lisachuk G. V., Galushka Ya. O., Tsovma V. V. Keramicheskie stroitelnyie materialyi s ispolzovaniem shlakovykh othodov chugunoliteynogo proizvodstva. *Ekologiya i promyshlennost*. 2018. № 2. S. 67–73.

6. Shchukina L., Galushka Ya., Bohdanova K. An improvement of criteria for assessing the quality of clay raw material for architectural and construction ceramics. *Eastern-European Journal of Enterprise technologies*. 2018. № 6 (6). P. 51–57.

7. Rykusova N., Shestopalov O., Shchukina L., Briankin O., Galushka Ya. Study of the properties of drill cuttings at their use as technogenic raw materials for the production of building ceramics. *ScienceRise*. 2020. No. 1 (66). P. 10–22.

8. Shchukina L. P., Galushka Ya. O., Savenkov A. S., Khlopytskyi O. O. Perspektyvy vykorystannia zolomaterialiv u vyrobnytstvi konstruktsiino-teploizoliatsiinoi keramiky. *Pytannia khimii ta khimichnoi tekhnolohii*. 2020. № 3. S. 215–224.

9. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Tsovma V. V., Myronenko D. O. Vzaiemozviazok intervalu hazoutvorennia poryzatoriv i vlastyvostei stinovoï keramiky na osnovi hlyn riznoi spiklyvosti. *Keramika: nauka i zhyttia*. 2016. № 1(30). S. 4–10.

10. Keramichna masa dlia vyhotovlennia stinovykh vyrobiv: pat. 119091 Ukraina: MPK S04V 33/00. № u2017036100; zaiavl. 03.04.2017; opubl. 11.09.2017, Biul. № 17. – 4 s.

11. Shchukina L. P., Pylypchatin A. V., Galushka Ya. O., Orlov V. B., Zaripova R. R. Vliyanie porizuyuschih dobavok na svoystva stenovoy keramiki, poluchaemoy na osnove glin s razlichnoy stepenyu spekaniya. *Noveyshie dostizheniya v oblasti importozamescheniya v himicheskoy promyshlennosti i proizvodstve stroitelnykh materialov*: mater. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (Minsk, 22–23 noyabrya 2012 g.). Minsk: BGTU. 2012. Ch. 1. S. 87–90.

12. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Mikheenko L. O., Pylypchatin O. V. Poryzovana keramika dlia budivnytstva sporud z nyzkym enerhospozhyvanniam. *Lvivski khimichni chytannia – 2013*: zbirnyk naukovykh prats XIV naukovoï konferentsii (Lviv, 26–29 travnia 2013 r.). Lviv: Lvivskyi NU im. I. Franka. 2013. S. U53.

13. Shchukina L. P., Galushka Ya. O., Pylypchatin O. V., Kolesnyk Ye. V., Vykorystannia kombinovanykh poryzatoriv pry otrymanni teploefektyvnoi stinovoï keramiky. *Fyzyko-khimichni problemy v tekhnolohii tuhoplavkykh nemetalevykh ta sylikatnykh materialiv*: tez. dop. Mizhnar. nauk.-tehn. konf. (Dnipropetrovsk, 8–9 zhovtnia 2013 r.). Dnipropetrovsk: UDKhTU. 2013. S. 67.

14. Shchukina L. P., Galushka Ya. O., Vernihora K. P., Kushniriuk A. D. Rol fazovoho skladu u formuvanni rivnia mekhanichnoi mitsnosti poryzovanoi stinovoï keramiky. *Tehnologiya i primenenie ogneuporov i tehnicheskoy keramiki v promyshlennosti*: tez. dokl. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (Kharkov 29–30 aprelya 2014 g.). Kharkov: Original. 2014. S. 73–75.



15. Shchukina L. P., Galushka Ya. O. Vplyv strukturnoho faktoru na fizyko-mekhanichni vlastyvoli keramiky. *Informatsiini tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiiia, osvita, zdorovia: tez. dop. XXII Mizhnar. nauk.-tehn. konf. (Kharkiv, 15–17 zhovtnia 2014 r.)*. Kharkiv: NTU «KhPI». 2014. Ch.II. S. 306.

16. Galushka Ya. O., Myronenko D. O. Doslidzhennia faktoriv, yaki vplyvaiut na makrostrukturu poryzovanoi budivelnoi keramiky. *«Science and Scientists»*: zbirnyk mater. Mizhnarodnoi mizhdystsyplinarnoi naukovo konferentsii studentiv, aspirantiv i molodykh vchenykh (Dnipropetrovsk, 21–22 hrudnia 2015 r.). Dnipropetrovsk: GlobalNauka. 2015. S. 185–187.

17. Shchukina L. P., Galushka Ya. O., Tsovma V. V., Myronenko D. O. Vplyv tekhnohennykh orhano-mineralnykh dobavok na konstruktyvnu yakist poryzovanoi keramiky. *«Problemy ta dosiahnennia suchasnoi khimii»*: zbirnyk tez. dop. XVIII Naukova molodizhna konferentsiia (Odesa, 17–20 travnia 2016 r.). Kyiv: TOV NVP «Interservis». 2016. S. 96.

18. Galushka Ya. O. Doslidzhennia fazovoho skladu i keramikotekhnologichnykh vlastyvostei vahranochnoho shlaku. *Naukovi doslidzhennia: perspektyvy innovatsii u suspilstvi i rozvytku tekhnologii: materialy konf. V Vseukrainskoi naukovo-praktychnoi konferentsii (Kharkiv, 14–15 bereznia 2017 r.)*. Kharkiv: NP «NTTs». 2017. S. 101–103.

19. Shchukina L. P., Ryshchenko M. I., Galushka Ya. O., Lihezin S. L., Mikheienko L. O. Kompleksna obrobka informatsii shchodo tekhnohennoi syrovyny dlia keramichnykh tekhnologii. *Prykladni naukovo-tekhniczni doslidzhennia: mater. Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Ivano-Frankivsk, 5–7 kvitnia 2017 r.)*. Ivano-Frankivsk. 2017. S. 129.

20. Myronenko D. O., Shchukina L. P., Galushka Ya. O. Zalezhnist vlastyvostei porysto-pustotiloi stinovo keramiky vid hazotvirnoi zdatnosti poryzatoriv. *XI Mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiia mahistrantiv ta aspirantiv: materialy konf. (Kharkiv, 18–21 kvitnia 2017 r.)*. Kharkiv: NTU «KhPI». 2017. Ch. 2. S. 180.

21. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Lihezin S. L. Sposoby pidvyshchennia mekhanichnoi mitsnosti poryzovanoi budivelnoi keramiky. *Lvivski khimichni chytannia*

– 2017: zbirnyk naukovykh prats XVI naukovoï konferentsii (Lviv, 28–31 travnia 2017 r.). Lviv: Lvivskyi NU im. I. Franka. 2017. S. U22.

22. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Ryshchenko M. I., Pavlova L. V., Humirov E. I. Budivselna keramika z vykorystanniam tekhnohennykh komponentiv z vlasnoiu strukturnoiu porystistiui. *Informatsiini tekhnolohii: nauka, tekhnika, tekhnolohiia, osvita, zdorovia*: mater. XXVI Mizhnar. nauk.-prakt. konf. MicroCAD-2018, (Kharkiv, 16–18 travnia 2018 r.). Kharkiv. 2018. Ch.II. S. 217.

23. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Yashchenko L. O., Maslov A. V. Mineralni dobavky dlia zmitsnennia keramichnoi matrytsi konstruktsiino-teploizoliatsiinykh materialiv. *Lvivski khimichni chytannia – 2019*: mater. XVII nauk. konf., (Lviv, 2–5 chervnia 2019 r.). Lviv. 2019. S. Z133.

24. Galushka Ya. O., Shchukina L. P. Vykorystannia vidkhodiv miskoho hospodars-tva pry vyhotovlenni konstruktsiino-teploizoliatsiinykh keramichnykh materialiv. *Aktualni pytannia khimii ta intehrovanykh tekhnolohii*: materialy konf. Mizhnar. nauk.-prakt. konf. (Kharkiv, 7–8 lystopada 2019 r.). Kharkiv: KhNUMH im. O.M. Beketova. 2019. S. 117.

25. Galushka Ya. O., Shchukina L. P., Pitak O. Ya., Maslov A. V. Teplo-efektyvna keramika z vykorystanniam funktsionalnykh dobavok tekhnohennoho pokhodzhennia. *Fiziko-himicheskie problemy v tehnologii tugoplavkih nemetallicheskih i silikatnyih materialov*: mater. Mezhdunar. nauch.-tehn. konf. (Kharkov, 2020 g.). Kharkov. 2020. S. 59–60.

## ЗМІСТ

Перелік умовних позначень та скорочень.....	5
Вступ.....	6
1 Огляд та аналіз сучасних науково-технологічних досягнень в галузі створення конструкційно-теплоізоляційної кераміки для енергозберігаючого будівництва.....	14
1.1 Характеристика сучасних конструкційно-теплоізоляційних матеріалів для енергозберігаючого будівництва.....	14
1.1.1 Енергетична ефективність сучасних будівель.....	14
1.1.2 Порівняльний аналіз властивостей сучасних матеріалів для зведення теплоізоляційної оболонки будівель.....	16
1.1.3 Аналіз ринку і стану виробництва конструкційно-теплоізоляційної кераміки в Україні.....	21
1.2 Особливості сучасних технологій конструкційно-теплоізоляційної кераміки. Технологічні фактори, що визначають рівень експлуатаційних властивостей матеріалів.....	25
1.3 Взаємозв'язок між структурно-фазовим складом і властивостями конструкційно-теплоізоляційної стінової кераміки.....	30
1.3.1 Фазоутворення і властивості керамічних матеріалів на основі легкотопких глин.....	30
1.3.2 Способи формування властивостей твердої матриці пористої кераміки.....	33
1.3.3 Пориста структура керамічних матеріалів, способи організації, регулювання та вплив на властивості.....	35
1.4 Огляд сучасних розробок в області створення конструкційно-теплоізоляційної кераміки.....	39
1.5 Висновки за розділом.....	41
2 Характеристика сировинних матеріалів, методів і методик досліджень...	44

2.1	Сировинні матеріали та приготування зразків.....	44
2.2	Методи та методики досліджень.....	48
3	Науково-теоретичне обґрунтування технічних рішень з удосконалення конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів та виробів.....	55
3.1	Прогнозування теплозахисних властивостей крупнорозмірних поризованих і непоризованих виробів різної пустотності.....	55
3.2	Порівняльний аналіз механічних властивостей поризованих і непоризованих модельних виробів різної пустотності.....	61
3.3	Теоретична оцінка впливу геометричних параметрів пористої структури матеріалів на їх механічні властивості.....	70
3.4	Висновки за розділом.....	78
4	Розроблення технології виробництва конструкційно-теплоізоляційної стінової кераміки з використанням вітчизняної мінеральної та техногенної сировини.....	80
4.1	Обґрунтування вибору глинистої сировини для проведення досліджень на основі вивчення фазового складу і властивостей типових цегельно-черепичних глин.....	80
4.1.1	Характеристика вітчизняної сировинної бази виробництва стінової кераміки.....	80
4.1.2	Дослідження хіміко-мінерального складу і технологічних властивостей модельних суглинків.....	83
4.1.3	Фазовий аналіз продуктів термічної обробки суглинків у взаємозв'язку з їх властивостями.....	91
4.2	Дослідження взаємозв'язку «технологія-структура-властивості» керамічних матеріалів, отримуваних за різними механізмами поризації.....	98
4.2.1	Технологічна оцінка різних видів пороутворюючих добавок для виробництва конструкційно- теплоізоляційної кераміки.....	98

4.2.2	Вивчення впливу структурного фактору на властивості поризованих керамічних матеріалів.....	110
4.3	Дослідження різних видів золоматеріалів як пороутворювачів при виготовленні конструкційно-теплоізоляційної кераміки .....	123
4.4	Розроблення способів зміцнення керамічної матриці матеріалів, отримуваних з використанням золосфер.....	142
4.4.1	Обґрунтування вибору глинистих добавок для покращення пластичних властивостей мас, їх спікання та механічної міцності матеріалів.....	142
4.4.2	Покращення механічної міцності керамічної матриці шляхом використання функціональних добавок для синтезу структурозміцнюючих кристалічних фаз.....	156
4.5	Розроблення рецептурно-технологічних параметрів отримання конструкційно-теплоізоляційних керамічних матеріалів.....	167
4.6	Опрацювання технологічних способів зміцнення контактної зони «керамічна матриця–золосфера» при отриманні конструкційно-теплоізоляційних матеріалів.....	177
4.7	Висновки за розділом.....	182
5	Розроблення практичних рекомендацій і технологічної схеми виробництва поризованої конструкційно-теплоізоляційної кераміки.....	184
	Висновки.....	195
	Перелік джерел посилання.....	198
Додаток А	Акт про практичну апробацію та використання результатів дисертаційної роботи .....	222
Додаток Б	Акт про впровадження результатів дисертаційної роботи в навчальний процес .....	225
Додаток В	Список публікацій здобувача за темою дисертації.....	226