

ВІДГУК

офіційного опонента

Хоменко Олени Сергіївни

на дисертаційну роботу Лігезіна Станіслава Леонідовича
«Стінові керамічні матеріали з використанням вуглецьвмісної
сировини та енергозберігаючих технологічних процесів»,
представлену на здобуття наукового ступеня доктора філософії
за спеціальністю 161 «Хімічні технології та інженерія»

Актуальність теми

Розвиток виробництва стінової кераміки в Україні відбувається в умовах зростаючих екологічних вимог та нестабільного енергозабезпечення, що обумовлює необхідність підвищення ефективності технологічних процесів. Особливої уваги потребує скорочення питомих витрат палива та електроенергії на енергоємних стадіях виробництва. Актуальним є також впровадження імпортозаміщення в частині паливних ресурсів та раціональне використання місцевої і некондиційної сировини.

Одним із перспективних рішень є залучення вуглевідходів як енергетичних добавок у масах для виробництва кераміки та використання концепції «самовипалу», що базується на горінні вуглевідходів, відкриває можливості для енергозаощадження у процесі випалу. Особливий інтерес становить застосування магнітно-імпульсного пресування, яке дозволяє покращити якість напівсухого формування виробів і скоротити енерговитрати. Запровадження інноваційних технологій у процес формування і випалу продукції сприяє підвищенню енергоефективності виробництва.

Дисертаційна робота Лігезіна С.Л., яка спрямована на вирішення науково-практичної задачі з розробки нової ресурсозберігаючої та енергоощадної технології стінової кераміки на основі комплексного підходу, що включає інкорпорацію вуглевідходів і впровадження енергозберігаючих хіміко-технологічних процесів на стадіях формування і випалу, є актуальною.

Тема пов'язана з виконанням науково-дослідних робіт кафедри «Технології

кераміки, вогнетривів, скла та емалей НТУ «ХП», в яких здобувач брав участь як виконавець окремих етапів: 1) «Розроблення наукових основ ефективного використання енергоносіїв і техногенних ресурсів в технологіях композиційних, керамічних та скломатеріалів для сучасних технічних об'єктів» (№ ДР 0120U001009), 2) «Розробка складів для створення високоефективних неметалічних матеріалів з використанням структурно-фазового моделювання та енергозберігаючих технологічних процесів» (№ ДР 0117U004888).

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих в дисертаційній роботі.

Наукові положення, висновки та рекомендації дисертаційної роботи є результатом системного експериментального і теоретичного дослідження процесів удосконалення технології стінової кераміки за рахунок використання вуглевідходів та інноваційних методів формування виробів. Достовірність отриманих результатів у дисертаційній роботі Лігезіна С.Л. підтверджується комплексом проведених експериментів із застосуванням сучасних методик аналізу, серед яких рентгенофазовий аналіз, механічні випробування зразків, термічні дослідження процесів вигорання вуглецю та визначення фізико-механічних властивостей матеріалів.

Експериментальні дані базуються на багатофакторних дослідженнях впливу складу сировини, параметрів формування і випалу на якість та міцність готової продукції, що забезпечує високий рівень відтворюваності отриманих результатів. Використання комбінованих окисників і впровадження магнітно-імпульсного пресування обґрунтовано результатами порівняльного аналізу міцнісних характеристик та енергетичних параметрів традиційних і нових технологічних схем. Розроблені розрахункові методики і програмне забезпечення «CeramMath» для оптимізації витрат окисників та енерговитрат при випалі базуються на теоретичних розрахунках і верифіковані експериментальними даними.

Проведені випробування керамічних виробів за показниками міцності, водопоглинання, щільності та морозостійкості підтверджують ефективність запропонованих рішень та відповідність продукції вимогам ДСТУ Б В.2.7-61:2008. Сформульовані рекомендації щодо впровадження технології «самовипалу»,

використання магнітно-імпульсного пресування та комбінованих окисників є науково обґрунтованими, практично досяжними та мають потенціал широкого промислового застосування.

У цілому ступінь обґрунтованості наукових результатів підтверджений сукупністю експериментальних, розрахункових і практичних даних, а також їхньою внутрішньою узгодженістю та відповідністю поставленим завданням дослідження. Запропоновані наукові положення та рекомендації можуть бути використані для розробки та оптимізації сучасних ресурсоефективних технологій у виробництві будівельної кераміки.

Достовірність результатів досліджень.

Достовірність результатів дослідження забезпечується комплексністю експериментальної програми, використанням сучасних методів аналізу та статистичною обробкою експериментальних даних. Всі етапи експериментів супроводжувалися паралельними вимірюваннями, що дозволило мінімізувати випадкові похибки та забезпечити відтворюваність результатів. Застосування рентгенофазового аналізу, визначення фізико-механічних властивостей матеріалів, термічного аналізу вигоряння вуглецю і дослідження енергетичних характеристик випалу проводилося із залученням сучасного обладнання та відповідно до загальноприйнятих методик: для визначення хімічного складу застосовано спектрометр Elvax Light, мінерального складу - дифрактометр ДРОН-3М та термічний аналізатор STA 409, макроструктури зразків - цифровий USB-мікроскоп САМ-01 N. Технологічні властивості глинистої сировини і відходів, фізико-механічні властивості керамічних зразків досліджували згідно з діючими в Україні стандартами (ДСТУ Б В.2.7-9-94, ДСТУ Б В.2.7-42-97, ДСТУ Б В.2.7-248:2011).

Результати досліджень впливу магнітно-імпульсного пресування, комбінованого використання окисників та «самовипалу» були зіставлені із результатами для контрольних зразків, виготовлених за традиційними технологіями. Отримані експериментальні дані логічно узгоджуються між собою та підтверджуються теоретичними положеннями щодо впливу складу сировини, режимів формування і випалу на властивості керамічних виробів.

Розроблені методики оптимізації витрат окисників із використанням

програмного забезпечення «CeramMath» верифіковані шляхом порівняння розрахункових і реальних експериментальних показників міцності матеріалів. Додаткову достовірність результатів забезпечує статистичний аналіз розподілу властивостей за допомогою моделей типу Вейбулла, що засвідчує високу надійність розроблених технологічних рішень.

Актуальність і практична цінність отриманих результатів відображені у впровадженні рекомендацій в освітній процес та у реальні технологічні процеси підприємств будівельної кераміки.

До основних нових наукових результатів дисертації слід віднести наступне:

- теоретично обґрунтовано та експериментально підтверджено можливість виготовлення стінової кераміки за новою ресурсо- та енергоощадною технологією із використанням вуглевідходів, окисників, динамічного методу формування та модернізованого випалу;

- вперше розроблено підхід до вибору окисників і їх сумішей для активізації вигорання органічної складової паливовмісних мас шляхом узгодження температурних інтервалів окиснення вуглецю і розкладу окисників;

- вперше запропоновано використання магнітно-імпульсного пресування для формування стінової кераміки, що дозволяє знизити температури випалу та покращити фізико-механічні властивості матеріалів завдяки інтенсифікації процесу ущільнення та випалу;

- розвинено напрям використання вуглевідходів як енергетичної сировини; експериментально доведено можливість реалізації «самовипалу» напівфабрикатів із повною заміною традиційного технологічного палива на етапі ізотермічної витримки;

- вперше розроблено архітектуру штучної нейронної мережі для достовірного прогнозування властивостей кераміки, отриманої на основі паливовмісних шихт та різних видів вуглецевмісної сировини і окисників.

Значимість отриманих результатів для науки і практичного використання.

1. Розроблена ресурсо- та енергоощадна технологія виробництва стінової кераміки на основі суглинку, відходів вуглезбагачення (15–22 %) та речовин-окисників із застосуванням магнітно-імпульсного пресування і самовипалу, що

дозволила при температурі 950 °С отримувати матеріали марок М75–М100 та морозостійкістю F35 згідно з ДСТУ Б В.2.7-61:2008.

2. Запропонована розрахункова методика і створена прикладна програма для підбору оптимальних окисників та їх сумішей для інтенсифікації вигорання вуглецю під час випалу.

3. Розроблено програмне забезпечення «CeramMath» на базі штучних нейронних мереж для прогнозування міцності керамічних матеріалів з урахуванням типу окисників і паливних добавок.

4. Створені номограми для швидкої оцінки енергетичного потенціалу різних вуглевідходів та розрахунку економії газу на одиницю продукції залежно від складу шихти.

5. Результати дослідження впроваджені у навчальний процес Національного технічного університету «ХПІ» і використані при виконанні держбюджетних науково-дослідних тем кафедри технології кераміки, вогнетривів, скла та емалей.

Повнота викладення результатів досліджень в опублікованих працях.

Основні положення і результати дисертаційних досліджень, які виносяться на захист, опубліковані у 18 наукових працях, з них: 6 статей – у наукових періодичних фахових виданнях України категорії «А» і «Б» (1 стаття у збірнику, що індексується у БД Scopus); 1 розділ колективної монографії (у співавторстві), 9 матеріалів апробаційного характеру, 1 стаття і 1 патент України, які додатково відображають результати дисертації.

Участь здобувача у роботах, що опубліковані у співавторстві зазначена у дисертаційній роботі.

Опубліковані матеріали повністю відображають зміст дисертації та відповідають вимогам пункту 8 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44.

Оцінка змісту дисертаційної роботи

Дисертаційна робота Лігезіна С.Л. складається з анотації двома мовами, вступу, п'яти розділів, висновків, переліку джерел інформації та додатків. Загальний

обсяг роботи становить 181 сторінку, серед них: 42 рисунки по тексту, 15 рисунків на 9 окремих сторінках, 43 таблиці по тексту, 17 таблиць на 14 окремих сторінках, список використаних джерел з 147 найменувань на 16 сторінках та 5 додатків на 11 сторінках.

У вступі обґрунтовано актуальність теми, сформульовані мета, задачі дослідження, наведено характеристику використаних методів, зазначено наукову новизну, практичне значення роботи, особистий внесок здобувача, апробацію результатів і структуру дисертації.

У першому розділі проаналізовано тенденції розвитку виробництва стінової кераміки з використанням вуглецьвмісної сировини, розглянуто фізико-хімічні основи її застосування, оцінено перспективи використання вугільних відходів та виокремлено напрями подальших досліджень щодо підвищення енергоефективності технологічних процесів.

Другий розділ присвячено характеристиці сировинних матеріалів і методик виготовлення зразків; описано методи дослідження складу сировини, структури й властивостей матеріалів із застосуванням сучасних аналітичних методів відповідно до державних стандартів.

У третьому розділі теоретично обґрунтовано вибір окисників для інтенсифікації вигоряння вуглецю, проведено термодинамічний аналіз реакцій розкладу речовин-окисників, розроблено методику розрахунку їх ефективності, використано штучні нейронні мережі для визначення оптимальних комбінацій окисників.

Четвертий розділ містить результати експериментальних досліджень вуглевідходів як енергетичної сировини, оптимізацію складу окисників, оцінку ефективності магнітно-імпульсного пресування, а також обґрунтування застосування «самовипалу» для виготовлення стінової кераміки за енергоощадною технологією.

У п'ятому розділі запропоновано рекомендації щодо впровадження розробленої технології, здійснено техніко-економічний аналіз процесу, розроблено технологічну схему виробництва та номограми для оцінки енергетичної ефективності використання вуглевідходів.

У висновках узагальнено основні наукові та практичні результати роботи та визначено шляхи впровадження запропонованих технологічних рішень. Висновки до розділів та за результатами роботи сформульовані чітко та відповідають змісту дисертаційної роботи.

Академічна доброчесність

Порушень академічної доброчесності в дисертації та наукових публікаціях, у яких висвітлені основні наукові результати дисертації, не виявлено.

Усі результати, які винесено автором на захист, отримані самостійно і містяться в опублікованих роботах. У роботах, опублікованих у співавторстві, використані тільки ті ідеї, положення та розрахунки, які є результатом особистих наукових пошуків.

По дисертаційній роботі можна зробити наступні зауваження:

1. NaNO_3 , $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2$ – гігроскопічні матеріали, схильні до утворення кристалогідратів. Як це буде враховано у практичних умовах, чи не позначиться це на точності дозування добавок-окисників, адже їх кількість має бути розрахована з високою точністю?
2. Вуглевідходи мають достатньо високі втрати при прожарюванні (18-30%, с. 71). Як їх застосування відображається на усадці керамічних мас? Чи не призводить це до значного відхилення від стандартних розмірів цегли?
3. Яким чином наявність окисників у складі керамічних мас впливатиме на знос футерівок теплових агрегатів? Персонал у приміщенні заводу – чи є загроза працівникам (з точки зору збільшення негативного зору на органи дихання? Отже, за реакцією 3.17 (с. 54) при розкладанні нітратів виділяється NO – токсичний газ, який відноситься до 3 класу небезпеки за класифікацією ЄС, а враховуючи тоннажність виробництва, його буде достатньо висока кількість.
4. С. 88. Рекомендується 3 мас.% добавки-окисника NaNO_3 у 100 % відходів. Але відходи вводять в суглинки, в яких можуть бути також компоненти, що беруть участь в окисно-відновних реакціях. Як в практичних умовах крупнотонажного виробництва Ви пропонуєте точно вирахувати кількість окисника, якщо відходи мають постійно змінний хімічний склад?
5. До п. 4 зауважень. С. 90-94 – представлені такі дуже точні розрахунки

добавки-окисника, але ж ми маємо дуже умовний хімічний склад відходів (с. 71), який є непостійним. Отже, результат дії окисника надто залежний від складу добавки... Як при практичному використанні розробки постійно контролювати склад? Якщо добавки буде занадто багато або недостатньо – як це вплине на технологічний процес та властивості випаленого матеріалу? Наскільки стабільний ефект від застосування комбінацій окисників при зміні партій вихідних матеріалів або умов випалу (вологості, складу атмосфери тощо)?

6. Доцільно було б розглянути - які вимоги до безпеки при роботі з такими комбінаціями нітратів, враховуючи їх потенційну вибухонебезпечність при неправильній експлуатації? Чи потрібна зміна конструкції печі для забезпечення контрольованого самовипалу?

7. На С. 116 представлена лабораторна установка ударної дії індукційно-динамічного типу. А чи є такий прототип у промислових умовах (зокрема, в Україні)? На скільки більше енергії така установка споживатиме і чи це буде «вигідно» у порівнянні зі зниженням енерговитрат на випал за рахунок введення добавок вуглевідходів?

8. Чи можна сформулювати окремі вимоги до застосування магнітно-імпульсного пресування грубодисперсних глинистих порошків у порівнянні з тонкодисперсними порошками технічної славсонітової кераміки? (вологість, сипучість, зв'язність частинок порошку, наявність крупних кам'яних часток і т.д.)?

9. С. 149, табл. 5.1. Отримано досить високі значення водопоглинання цегли ~22%. Де може бути застосована така цегла і чи можуть окупитись капіталовкладення з урахуванням введення відходів (та добавок-окисників), а також впровадження магнітно-імпульсного пресування?

10. Як відбудуватиметься контроль рівня вигорання вуглецю під час випалу, щоб уникнути недопалу чи вибухових явищ? Які перспективи масштабування технології «самовипалу» на великі заводи порівняно з малими керамічними підприємствами?

Вказані недоліки не впливають на загальну позитивну оцінку виконаної роботи. Дисертація є актуальною і має високу наукову цінність та практичну значущість.

ВИСНОВОК

Дисертаційна робота Лігезіна Станіслава Леонідовича «Стінові керамічні матеріали з використанням вуглецьвмісної сировини та енергозберігаючих технологічних процесів» за своїм змістом відповідає спеціальності 161 – Хімічні технології та інженерія. Дисертація є завершеною науково-дослідною роботою і розв'язує важливу науково-практичну задачу, яка полягає у розробці нової ресурсозберігаючої та енергоощадної технології стінової кераміки на основі комплексного підходу, що включає інкорпорацію вуглевідходів і впровадження енергозберігаючих хіміко-технологічних процесів на стадіях формування і випалу.

Подана дисертаційна робота Лігезіна Станіслава Леонідовича «Стінові керамічні матеріали з використанням вуглецьвмісної сировини та енергозберігаючих технологічних процесів» відповідає вимогам до дисертацій на здобуття наукового ступеня доктора філософії, а саме вимогам пунктів 6, 7, 8 і 9 Порядку присудження ступеня доктора філософії та скасування рішення разової спеціалізованої вченої ради закладу вищої освіти, наукової установи про присудження ступеня доктора філософії, затвердженого Постановою КМУ від 12.01.2022 р. № 44, а здобувач Лігезін Станіслав Леонідович заслуговує присудження наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 161 – Хімічні технології та інженерія.

Офіційний опонент,

доцент кафедри хімічних технологій кераміки,

скла та біомедичних матеріалів

Українського державного університету науки і технологій

канд. техн. наук, доцент

02.05.2025

 Олена ХОМЕНКО

Підпис Хоменко Олени Сергіївни засвідчую:

Вчений секретар Вченої Ради УДУНТ

 Тетяна РАДКЕВИЧ

