

УДК: 666.3

DOI: 10.20535/iwccmm2025326636

ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ ЗОЛИ ВУГІЛЬНИХ ТЕС ПРИ ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ

Ірина СУББОТА,

Канд. техн. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського
0503850107@ukr.net

Лариса СПАСЬОНОВА,

Канд. хім. наук, доцент
КПІ ім. Ігоря Сікорського
lar_spas@yahoo.com

Валерія ЧЕРЕПЕЙНИК,

Студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського
cherepeynik.valeria@lil.kpi.ua

Марія ЯКОВЧУК,

Студент
КПІ ім. Ігоря Сікорського
yakovchuk.maria@lil.kpi.ua

Анотація: Кераміка у сучасному світі займає багатогранне місце, поєднуючи традиції і інновації, екологічність і практичність. Кераміка продовжує залишатися майбутнім. Керамічна цегла залишається основним будівельним матеріалом, і покращення її фізико-механічних властивостей забезпечує більш надійні та екологічні властивості будівель. Сучасні будівельні норми і стандарти вимагають використання будівельних матеріалів високої якості. Покращення фізико-механічних властивостей керамічної цегли відіграє важливе значення для розвитку будівельної галузі, забезпечення відповідної якості та безпеки будівель, а також для досягнення екологічних та економічних цілей при виробництві керамічних матеріалів. Використання відходів золи вугільних ТЕС у виробництві керамічної цегли сприятиме зменшенню негативного впливу на довкілля, зниженню витрат на виробництво керамічних матеріалів, роблячи процес виробництва цегли більш екологічним і економічно вигідним.

Ключові слова: глиниста сировина, зола, керамічна цегла, водопоглинання, чутливість до сушіння, механічна міцність на стиск, механічна міцність при вигині.

Кераміка у сучасному світі займає багатогранне місце, поєднуючи традиції і інновації, мистецтво і техніку, екологічність і практичність. Вона не лише зберігає культурну спадщину, але й активно розвивається, здатна вирішувати нові технічні й екологічні завдання

Кераміка відіграє важливу роль у сучасній промисловості та будівництві завдяки своїм унікальним властивостям, таким як міцність, стійкість до високих температур, довговічність і екологічність. Вона застосовується в численних галузях, де важливо використовувати матеріали, які поєднують функціональність та естетичність. Сучасне виробництво кераміки активно враховує екологічні проблеми. Використання природних матеріалів, відновлюваних ресурсів, а також зменшення енергоспоживання під час виробництва допомагає створювати більш сталу продукцію. Керамічні вироби є абсолютно безпечними для довкілля, оскільки вони можуть бути перероблені або використані повторно. Традиційним та найбільш поширеним будівельним матеріалом є керамічна цегла, що забезпечує хорошу тепло- та звукоізоляцію. Завдяки своїй міцності і довговічності, керамічна цегла широко використовується для зведення житлових і промислових будівель.

Підвищення якості керамічної цегли може бути досягнуто за допомогою різних методів, які включають зміни в складі матеріалу, технології виробництва та застосування відходів виробництва [1-3]. Зола, що утворюється під час спалювання вугілля, є одним із найпоширеніших відходів. Її склад залежить від типу вугілля (кам'яне, буре, антрацит), умов спалювання і методів золовидалення. Основний склад золи - це оксиди, %: SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO , Na_2O , K_2O ; сірка у вигляді SO_3 та SO_4^{2-} , а також домішки важких металів: Pb , Cd , Hg , As , Se , радіонуклідів у незначних кількостях, залежно від геологічного походження вугілля, вуглецеві залишки [4, 5].

Вона може бути використана як добавка до глини для покращення фізико-механічних властивостей цегли, а також для зменшення споживання природних сировинних матеріалів. Завдяки низькій теплопровідності зола сприяє підвищенню теплоізоляційних характеристик керамічної цегли. Це особливо важливо для зменшення енергоспоживання в будівлях. Використання золи також сприяє зменшенню кількості відходів, які потрібно утилізувати, і знижує потребу в традиційній сировині.

Найбільш поширений вид золи утворюється від спалювання вугілля. Вона містить мікроелементи, такі як кремній, алюміній, залізо та кальцій, що

позитивно впливають на властивості цегли. На заводах в Україні та інших країнах зола додається в кількостях до 20% від загальної маси глини. Це допомагає покращити механічні властивості цегли, такі як міцність на стиск. Зола можна використовувати для виготовлення теплоізоляційних блоків. Зола знижує теплопровідність матеріалу, що робить цеглу більш ефективною для збереження тепла в будівлях. Це особливо актуально в холодних кліматичних умовах. Зола може також впливати на колір готової цегли. Додавання золи до глини може змінювати відтінки цегли, надаючи їй більш різноманітний і естетично привабливий вигляд. У виробництві цегли, яка використовується в агресивних середовищах (наприклад, у промислових зонах або в зонах з високою вологістю), зола може допомогти підвищити стійкість матеріалу до корозії та інших негативних впливів.

Ці приклади демонструють, як зола може бути ефективно використана в різних аспектах виробництва цегли, покращуючи її властивості та зменшуючи екологічний вплив відходів на навколишнє середовище.

Метою роботи є вивчення можливості застосування відходів золи для одержання керамічної цегли на основі місцевої легкоплавкої глини.

Було досліджено глинисту сировину Київської області, яка складається з різних оксидів, вільної і хімічно зв'язаної води і органічних домішок. Аналіз глинистої сировини проводився за стандартними методиками. За результатами хімічного аналізу досліджуваний зразок вирізняється невисоким вмістом SiO_2 , - 56,5%; кількість Al_2O_3 знаходиться в межах 13-14%, що за класифікацією глинистої сировини відповідає групі кислих глин. За кількістю Fe_2O_3 та TiO_2 глина відноситься до сировини з високим вмістом забарвлюючих оксидів. Київська глина має високий вміст карбонатів – більше 7 %, сума лужних оксидів перевищує 2 %. Кількість вільного кварцу складає 32,35 %. Сума водорозчинних солей у вихідній сировині складала 0,25 мг-екв/100 г глини, що відносить її до групи з низьким їх вмістом. Вміст інших оксидів відповідав складу, %: CaO – 7,56; MgO – 2,05; SO_3 – 0,45; Na_2O – 0,75; K_2O – 1,55. Впн становив 11,25 %.

В роботі застосовували відходи, що утворюються внаслідок спалювання вугілля, які мають різний склад, структуру і властивості. Зазвичай вони містять 35% шлаку і 65% пилоподібної золи. До їх складу входять мікроелементи, такі як кремній, алюміній, залізо та кальцій, що позитивно будуть впливати на властивості цегли. Це дає змогу використовувати їх у виробництві керамічної цегли як добавку, яка сприятиме підвищенню міцності, зниженню усадки та покращенню водонепроникності.

Зола являє собою пухкий матеріал чорного або сірого кольору. Крім мінеральних речовин в ній присутня органічна складова. Мікроскопічне вивчення відходів показало, що основними складовими фазового складу є глинисті агрегати – 22%, склоподібна речовина – 50% і кристалічні фази. Склоподібна речовина є продуктом термохімічного впливу на мінеральну частину палива. Склоподібні частинки мають різну форму, суцільні або порожнисті. Склоподібна фаза досліджуваної золи неоднорідна і представлена зернами неправильної форми з гострими гранями розміром 0,3 - 10 мм. Значна частина зерен має пори різних розмірів, що утворилися внаслідок різкого випаровування під час потрапляння шлаку у воду. Іноді зустрічаються також великі включення розміром до 40 мм. Мінералогічний склад золи містить муліт, гематит, магнетит та оксид кремнію представлений різними модифікаціями кварцу у вигляді безбарвних кристалів розміром до 0,14 мм. Дрібні зерна кварцу по краях частково оплавлені та мають округлу форму.

Для визначення придатності місцевої легкоплавкої глини для виготовлення керамічної цегли були проведені систематичні дослідження з розробки складів мас, а також основних характеристик виготовленої продукції. У роботі використовували пластичний спосіб підготовки сировинної суміші та формування зразків. При розробці керамічних мас для виготовлення керамічної цегли необхідно враховувати їх пластичність, чутливість до сушіння, зміну лінійних розмірів зразків під час випалу, межу міцності на стиск та вигин, морозостійкість та водопоглинання.

З метою вивчення впливу добавки золи на технологічні властивості керамічних мас на основі легкоплавкої сировини були досліджені шихти з

додаванням золи від 10 до 50%. Також проводили дослідження керамічної маси без домішок золи.

Керамічні зразки для проведення досліджень готували методом пластичного формування, використовуючи технологічний режим максимально наближений до процесу виготовлення керамічних цегли. Було проведено математичне моделювання складів мас для виробництва керамічної цегли на основі глини Київської області [6]. Для цього глину спочатку подрібнювали, а потім перемелювали у вальцях тонкого помелу і бігунах. Подрібнену золу додавали до вихідної глини у співвідношеннях «глина : зола» у % для зразків: 1 – 100 : 0; 2 – 90 : 10; 3 – 80 : 20; 4 – 70 : 30; 5 – 60 : 40 і 6 – 50 : 50. Підготовлені компоненти просіювали крізь сито, перемішували і зачиняли водою до нормальної формувальної вологості. Після вилежування протягом доби формували зразки розміром 50×50×50 мм і розміром 60×15×10 мм методом пластичного пресування при вологості 18-22 %. Сушіння проводили в сушильній шафі при 105 °С до постійної маси. Випалення проводили в муфельній печі при 1000 °С з витримкою 2-4 години при максимальній температурі з наступним охолодженням протягом доби. Результати досліджень отриманих мас порівнювали із зразком № 1, який складався на 100% з легкоплавкої глини.

На рисунках 1-4 наведені основні результати досліджень отриманих керамічних зразків – чутливість до сушіння, водопоглинання, механічну міцність на стиск та вигин.

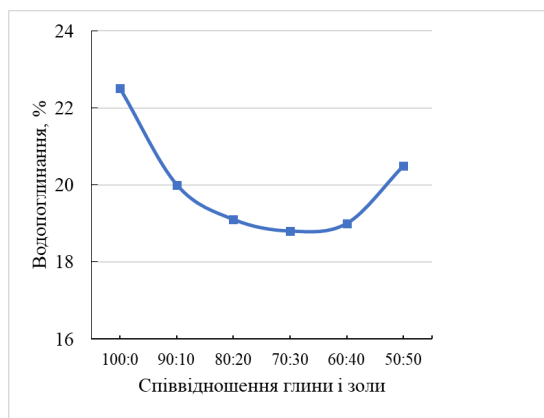


Рис. 1. Залежність водопоглинання отриманих зразків від співвідношення глини і золи

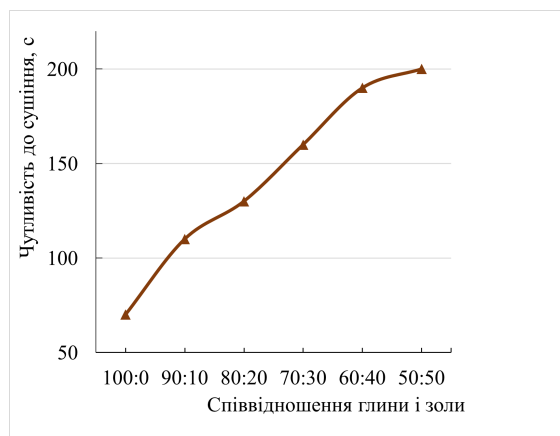


Рис. 2. Залежність чутливості до сушіння керамічних мас від співвідношення глини і золи

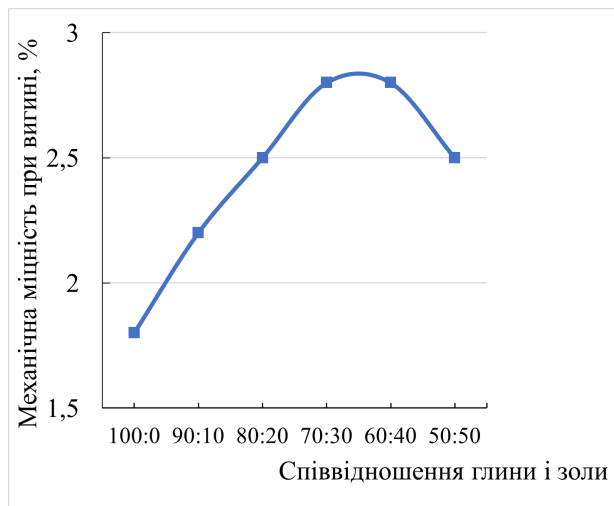


Рис. 3. Залежність механічної міцності при вигині від співвідношення глини і золи після випалення зразків

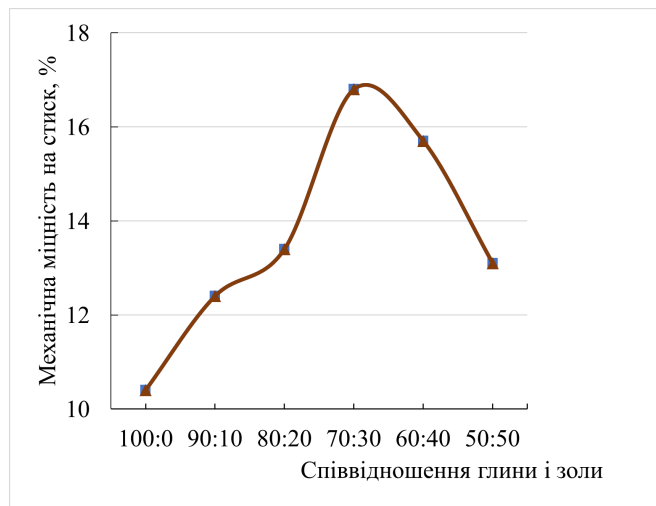


Рис. 4. Залежність механічної міцності на стиск від співвідношення глини і золи після випалення зразків

ВИСНОВКИ

Використання золи, що утворюється в результаті спалювання вугілля на теплових електростанціях, у виробництві керамічної цегли є перспективним напрямком розвитку будівельної індустрії. Відходи золи можуть частково замінити традиційні сировинні матеріали, що сприятиме зниженню витрат на виробництво цегли. Додавання золи до 40% сприятиме підвищенню міцності цегли на згин на 1,6 %. Одночасно межа міцності на вигин збільшилася більше ніж в 2 рази.

Дослідження показали, що використання відходів золи вугільних ТЕС зменшують водопоглинання, що приводить до підвищення морозостійкості керамічної цегли, і сприятиме її довговічності. Зниження чутливості цегли до сушіння призведе до підвищення якості процесу сушіння, а також можливості застосування більш інтенсивної швидкості сушіння і, відповідно, зниження браку.

Використання відходів теплоенергетичних вугільних ТЕС у виробництві керамічної цегли є вигідним як з економічної, так і з екологічної точок зору. Утилізація золи зменшуватиме кількість відходів, покращуючи екологічний

стан навколишнього середовища промислових районів, про що свідчить світовий досвід, та сприятиме більш сталому виробництву.

Список літератури:

1. Kumar, P., & Jain, P. (2021). Performance of fly ash bricks with differential composition. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(7), 132–137. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/361691192>
2. Shaikh, M., & Poonawala, M. (2020). Study of the mechanical properties of the fly ash composite bricks. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 12(2), 180–184. <https://doi.org/10.18090/samriddhi.v12i2.3136>
3. Кошлак Г.В., Павленко А.М. (2021). Перспективи використання золи ТЕС для виготовлення будівельних матеріалів, *Науково-технічний журнал*, №1(23), DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-92-101
4. Деревянко В.М., Мосьпан В.І., Колохов В.В. та ін.(2022). Основні напрямки досліджень із використанням золи ТЕС у виробництві будівельних матеріалів. *Український журнал будівництва та архітектури*, № 1(007), DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.38.831
5. Хлопицький О.О. (2014). Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України. *Scientific Journal “ScienceRice”*. №4/2(4). 23-28. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28511
- Якімчук, Т. В. (2008). Математичне моделювання складів мас для виробництва керамічної клінкерної цегли на основі глин Київської області. *Будівельні матеріали та вироби*. № 1. С. 23–27.

References:

1. Kumar, P., & Jain, P. (2021). Performance of fly ash bricks with differential composition. *International Journal of Creative Research Thoughts*, 9(7), 132–137. Retrieved from <https://www.researchgate.net/publication/361691192>
2. Shaikh, M., & Poonawala, M. (2020). Study of the mechanical properties of the fly ash composite bricks. *SAMRIDDHI: A Journal of Physical Sciences, Engineering and Technology*, 12(2), 180–184. <https://doi.org/10.18090/samriddhi.v12i2.3136>
3. Кошлак Г.В., Павленко А.М. (2021). Перспективи використання золи ТЕС для виготовлення будівельних матеріалів, *Науково-технічний журнал*, №1(23), DOI: 10.31471/2415-3184-2021-1(23)-92-101
4. Деревянко В.М., Мосьпан В.І., Колохов В.В. та ін.(2022). Основні напрямки досліджень із використанням золи ТЕС у виробництві будівельних матеріалів. *Український журнал будівництва та архітектури*, № 1(007), DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.220222.38.831
5. Хлопицький О.О. (2014). Стан, проблеми та перспективи переробки золошлакових відходів теплоелектростанцій України. *Scientific Journal “ScienceRice”*. №4/2(4). 23-28. DOI: 10.15587/2313-8416.2014.28511
- Якімчук, Т. В. (2008). Математичне моделювання складів мас для виробництва керамічної клінкерної цегли на основі глин Київської області. *Будівельні матеріали та вироби*. № 1. С. 23–27.

USE OF COAL-FIRED FUEL ASH WASTE IN CERAMIC BRICK PRODUCTION

Iryna SUBBOTA

PhD, associate professor,

Larysa SPASYONOVA

PhD, associate professor,

Valeria CHEREPEINYK

Student ,

Maria YAKOVCHUK

Student ,

Igor Sikorsky Kyiv Politechnic Institute

Abstract: *Ceramics in the modern world occupies a multifaceted place, combining tradition and innovation, environmental friendliness and practicality. Ceramics continues to be the future. Ceramic brick remains the main building material, and improving its physical and mechanical properties provides more reliable and environmentally friendly properties of buildings. Modern building codes and standards require the use of high-quality building materials. Improving the physical and mechanical properties of ceramic bricks is of great importance for the development of the construction industry, ensuring the appropriate quality and safety of buildings, as well as achieving environmental and economic goals in the production of ceramic materials. The use of coal-fired thermal power plant ash waste in the production of ceramic bricks will help reduce the negative impact on the environment, reduce the costs of producing ceramic materials, and make the brick production process more environmentally friendly and economically profitable.*

Key words: *clay raw materials, ash, ceramic bricks, water absorption, sensitivity to drying, mechanical compressive strength, mechanical bending strength*