

DOI: [https://doi.org/10.26642/ten-2023-1\(91\)-361-365](https://doi.org/10.26642/ten-2023-1(91)-361-365)  
УДК 679.8.02

**І.В. Леонець, аспірант  
С.С. Іськов, к.т.н., доц.**

*Державний університет «Житомирська політехніка»*

### **Використання шламу каменеобробних підприємств як домішок у керамічних виробках**

*У роботі розглянуто можливість використання шламу каменеобробних підприємств у керамічних будівельних виробках. У дослідженні використовувалися жирні глини, які було відібрано з кар'єру, та шлам каменеобробних підприємств. Матеріали додатково не модифікувалися. Глина та шлам попередньо сушилися в сушильній шафі протягом 24 годин за температури  $105 \pm 2$  °С. Зразки спікалися за температури 950 °С. Було отримано залежності усадки зразків та втрати маси зразків від вмісту шламу після спікання. Було встановлено, що шлам має щільність, подібну до глини, що дозволяє його змішувати без перерахунку пропорцій, індекс пластичності шламу нижчий, ніж у глини, незважаючи на подібність розміру частинок цих матеріалів. Хімічний аналіз шламу та глини показує відсоток вуглецю. Рентгенівська флуоресценція шламів та глини показала, що вони подібні без забруднення важкими металами або хімічними елементами. Також було встановлено, що лінійна усадка керамічних зразків збільшується зі збільшенням вмісту шламу. На основі цього можна стверджувати про можливість включення гранітних шламів у керамічні матеріали для виробництва цегли.*

**Ключові слова:** шлам; кераміка; лінійні розміри; втрата ваги; спікання.

**Вступ.** За останні два десятиліття у всьому світі спостерігалось значне збільшення споживання каменю, що можна пояснити швидким зростанням населення та економічним зростанням приблизно на 1,08 [1] і 2,36 % [2] відповідно. Збільшення попиту на природне каміння призводить до значного зростання бізнесу кам'яної промисловості. Наприклад, обсяг каменю, що експортується Індією, за три роки (2015–2018) зріс на 40,47 % [3]. У той же час видобуток та обробка природного каменю виконуються сучасними методами, які постійно підвищують швидкість виробництва продукції з природного каменю, разом з цим збільшуються відходи каменеобробних підприємств [4]. У зв'язку з великою кількістю операцій з обробки каменю кам'яні відходи тепер стали критичною екологічною проблемою та загрозою для сучасної цивілізації.

Зазвичай природний камінь має два типи відходів обробки: твердий і напіврідкий шлам [5, 11].

Напіврідкий шлам містить певний відсоток води. Наприклад, одна тонна шламу, яку отримано під час різання містить 35–45 % води [6]. Після висихання шлам забруднює навколишнє середовище пилом, який може потрапляти на сільськогосподарські угіддя (або прилеглі території), що робить їх неродючими [7]. Крім того, шлам забруднює поверхневі та ґрунтові води [8].

Шлам є побічним продуктом, що утворюється під час обробки (різання та шліфування) граніту [9]. Під час роботи каменеобробних підприємств частки граніту стають колоїдними відходами після контакту з водою. Коли ці колоїдні відходи потрапляють на полігон, вміст води значно зменшується в основному за рахунок випаровування, поступово шлам стає порошкоподібною масою [10]. За однією з оцінок, приблизно 65 % відходів утворюється під час різних промислових процесів на граніті [10].

Одним із напрямів утилізації шламу каменеобробних підприємств є використання шламу як домішок до глини при виробництві цегли. З іншого боку, в цегляній промисловості має триматися під суворим контролем пластичність та екструзійна поведінка глиняної сировини. У випадку надмірної пластичності глини, її необхідно знежирювати домішками інших гірських порід (наприклад, піском або шлаком).

**Методи дослідження.** У дослідженні використовувалися жирні глини, які було відібрано з кар'єру, та шлам каменеобробних підприємств. Матеріали додатково не модифікувалися.

Глина та шлам попередньо сушилися в сушильній шафі протягом 24 годин за температури  $105 \pm 2$  °С. Цей процес було здійснено для видалення води, щоб правильно вирахувати пропорцію глини та шламу.

#### *Глина*

Використана глина взята з Глухівського родовища глин (Україна). Глина була подрібнена та просіяна через сито 0,2 мм, що дозволило легко її перемішувати зі шламом.

#### *Шлам різання каменю*

Шлам був взятий з каменеобробного підприємства в м. Житомир, Україна. З гранітних гірських порід. Сухий шлам просіювався через сито 0,2 мм.

#### *Методологія*

Було визначено фізико-хімічні характеристики вихідних матеріалів та хімічний склад глини та шламу.

Було підготовлено зразки для випробування: перша серія зразків містила чисту глину, наступна – глину 90 % з додаванням шламу 10 %. Кожна наступна серія містила більше шламу на 10 %, менше глини на 10 %.

Матеріал для зразків гомогенізували і додавали 10 % води від маси сухої суміші і знову перемішували. Варто зазначити, що відсоток доданої води був емпірично оцінений як найбільш прийнятний для цього типу матеріалу та процесу ущільнення, більший відсоток викликає ексудацію води, а менший відсоток призводить до зниження щільності. Суміш матеріалів формували в сталевій матриці (рис. 1) з внутрішніми розмірами діаметром 35 мм і 35 мм в довжину. Ущільнення проводили за допомогою автоматичного випробувального преса. Це стиснення виконували на постійній швидкості, доки не було досягнуто максимального напруження на ущільнення  $50 \pm 1$  МПа, цей стиск підтримувався протягом 1 хвилини. Зразки, отримані цим методом, відображають аналогічні значення матеріалів, які виготовлені у промисловості, а також матеріалів, які виготовлені екструзією.



Рис. 1. Матриця для виготовлення зразків

Зразки різних груп висушували за температури  $105 \pm 2$  °C протягом 24 годин, щоб поступово видалити надлишок води та запобігти утворенню тріщин під час процесу спікання. Ці висушені зразки були вимірні та зважені для наступних випробувань.

Спікання зразків проводили в муфельній печі після введення всіх зразків. Температуру підвищували до 4 °C на хвилину від кімнатної до  $950 \pm 10$  °C. Цю температуру підтримували протягом однієї години і зразки знову охолоджували з тією ж швидкістю.

Вимірювалися розміри зразків, об'ємна вага та пористість, а також водопоглинання.

**Результати та обговорення.** Було розраховано щільність частинок для шламу  $2535 \pm 55$  кг/м<sup>3</sup> та глини 2378  $\pm 51$  кг/м<sup>3</sup>. Обидва значення схожі, тому гарно поєднуються, та відсутні проблеми із дозуванням та гомогенізацією. З іншого боку, розрахунок індексу пластичності обох матеріалів є важливим для ідентифікації глинистих частинок. Глина, як і очікувалося, мала індекс пластичності  $16,1 \pm 0,8$  %. Цей результат ідеально відображає пластичну поведінку матеріалу, звичайну для червоних глин, які використовуються у виробництві цегли та прийнятні для використання. Шлам мав індекс пластичності  $3,1 \pm 0,8$  %, що свідчить про низьку пластичність. Пластичність шламу є достатньою та прийнятною для його використання.

Після аналізу фізичних властивостей проводиться хімічний аналіз обох матеріалів. Було визначено відсоток вуглецю, азоту, водню та сірки, що наявні у зразках. Цей аналіз, будучи неорганічними матеріалами глини та шламу різання каменю, дає дуже низький відсоток елементів. Результати елементного аналізу глини та шламу наведено в таблиці 1.

Таблиця 1

Елементний аналіз вуглецю, водню, азоту та сірки в глині та шламу

Зразки	Азот, %	Вуглець, %	Водень, %	Сірка, %
Clay	0,04 $\pm$ 0,00	1,12 $\pm$ 0,05	0,63 $\pm$ 0,02	0,00 $\pm$ 0,00
Sludge	0,00 $\pm$ 0,00	0,45 $\pm$ 0,01	0,00 $\pm$ 0,00	0,00 $\pm$ 0,00

Як видно з таблиці 1, глина має низький відсоток вуглецю. Це означає, що в глині відсутні органічні домішки. Разом з тим шлам має нульове значення азоту, водню та сірки, що підтверджує придатність шламу як домішки до кераміки. Хімічний аналіз глини та шламу наведено в таблиці 2.

Таблиця 2

## Хімічний аналіз глини та кам'яного шламу

Хімічні елементи	Глина, WT %	Шлам природного каменю, WT %
SiO <sub>2</sub>	47,97 ±0,24	61,01 ±0,24
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	37,25 ±0,19	15,43 ±0,18
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,37 ±0,018	6,91 ±0,10
K <sub>2</sub> O	5,63 ±0,12	5,10 ±0,10
MgO	0,1 ±0,005	2,19 ±0,06
CaO	0,09 ±0,002	5,10 ±0,09
TiO <sub>2</sub>	0,83 ±0,038	0,877 ±0,029
Na <sub>2</sub> O	0,01 ±0,0015	3,57 ±0,09
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,02 ±0,0001	0,1750 ±0,0087
MnO	0,154 ±0,008	0,0623 ±0,0031
ZrO <sub>2</sub>	0,0379 ±0,0049	0,0236 ±0,0027
V <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,0357 ±0,0031	–
SrO	0,0344 ±0,0036	0,0499 ±0,0025
As <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	–	0,0917 ±0,0190

Рентгенівська флуоресценція глини відображає типовий склад силікату алюмінію, також наявний високий відсоток оксиду кремнію та оксиду алюмінію. Виявлено низький відсоток оксиду кальцію та оксиду магнію, ці хімічні сполуки впливають на якість керамічного матеріалу. Інші хімічні елементи – в невеликій кількості. Хімічний склад шламу відображає чудову хімічну сумісність із глиною. Після перевірки придатності шламу для виробництва керамічних матеріалів було проведено виготовлення зразків з подальшим спіканням. Залежність усадки зразків від вмісту шламу після спікання наведено на рисунку 2.

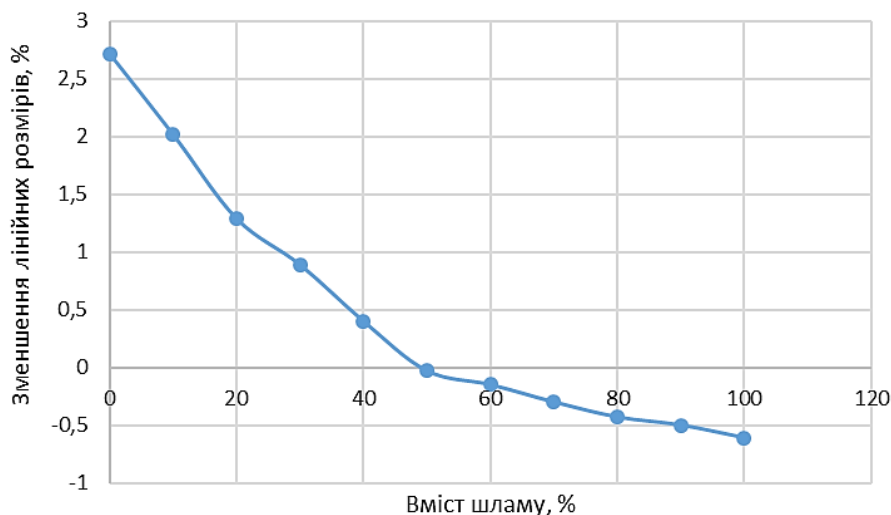


Рис. 2. Залежність усадки зразків від вмісту шламу після спікання

У зразків, які вміщують шлам до 40 %, після нагрівання спостерігалось зменшення лінійних розмірів, при вмісті шламу в зразках 50 % лінійні розміри практично не змінилися. Зі збільшенням шламу вище 50 % в зразках спостерігається збільшення лінійних розмірів.

При нагріванні зразків до температури  $950 \pm 10$  °C спостерігається зміна їх маси (рис. 3). Це обумовлюється вмістом органічної речовини та карбонатів, перетворенням деяких хімічних сполук або окисленням деяких хімічних елементів.

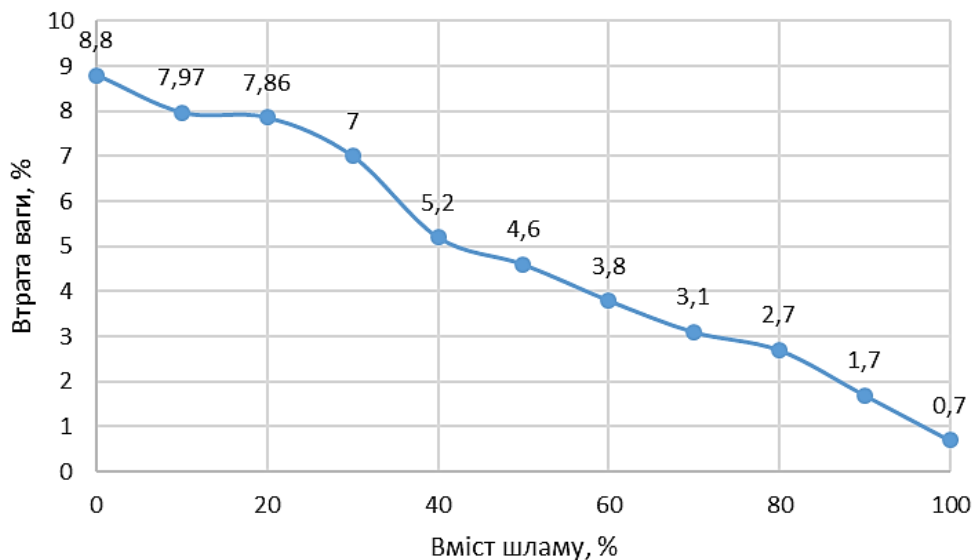


Рис. 3. Залежність втрати маси зразків від вмісту шламу після спікання

Отримані значення не виходять за межі стандартів для кераміки для виробництва цегли.

#### Висновки:

- шлам має щільність, подібну до глини, що дозволяє його змішувати без перерахунку пропорцій;
- індекс пластичності шламу нижчий, ніж у глини, незважаючи на подібність розміру частинок цих матеріалів;
- хімічний аналіз шламу та глини показує відсоток вуглецю. Це означає, що матеріали не містять в собі органічних матеріалів;
- рентгенівська флуоресценція шламів та глини показала, що вони подібні без забруднення важкими металами або хімічними елементами;
- лінійна усадка керамічних зразків збільшується зі збільшенням вмісту шламу.

На основі цього можна стверджувати про можливість включення гранітних шламів у керамічні матеріали для виробництва цегли.

#### Список використаної літератури:

1. Macrotrends World Population Growth Rate 1950-2021. – 2021 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/population-growth-rate>.
2. Macrotrends World GDP Growth Rate 1961-2021. – 2021 [Electronic resource]. – Access mode : <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/gdp-growth-rate>.
3. Yurdakul M. Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: an industrial-scale case study in the province of Bilecik, Turkey / M.Yurdakul // Journal of Cleaner Production. – 2020. – № 276. – 123339.
4. A. da Silva Towards INDUSTRY 4.0| a case STUDY in ornamental stone sector / A. da Silva, I.Almeida // Resources Policy. – 2020. – № 67. – 101672.
5. Aukour F. Feasibility study of manufacturing concrete eco-blocks using marble sludge powder as raw materials / F.Aukour // WIT Trans. Ecol. Environ. – 2009. – № 120. – P. 845–852.
6. Aukour F.J. Incorporation of marble sludge in industrial building eco-blocks or cement bricks formulation / F.J. Aukour // Jordan J. Civil Eng. – 2009. – № 3 (1). – P. 58–65.
7. Korabu I. Experimental study of partial replacement of cement by waste marble powder in a concrete prepared with artificial sand / I.Korabu, C.Pise // IOP Conference Series : Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2020.
8. Marble slurry's impact on groundwater: the case study of the apuan alps karst aquifers / L.Piccini and other // Water. – 2019. – № 11 (12). – 2462.
9. Application of statistical analysis to evaluate the corrosion resistance of steel rebars embedded in concrete with marble and granite waste dust / I.Taji and other // J. Clean. Prod. – 2019. – № 210. – P. 837–846.
10. Singh S. A review on Properties of Sustainable Concrete using granite dust as replacement for river sand / S.Singh, R.Nagar, V.Agrawal // J. Clean. Prod. – 2016. – № 126. – P. 74–87.
11. Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite / J.M. Terrones-Saeta and other // Minerals. – 2020. – № 10. – 621 p.

**References:**

1. *Macrotrends World Population Growth Rate 1950-2021* (2021), [Online], available at: <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/population-growth-rate>
2. *Macrotrends World GDP Growth Rate 1961-2021* (2021), [Online], available at: <https://www.macrotrends.net/countries/WLD/world/gdp-growth-rate>
3. Yurdakul, M. (2020), «Natural stone waste generation from the perspective of natural stone processing plants: an industrial-scale case study in the province of Bilecik, Turkey», *Journal of Cleaner Production*, No. 276, 123339.
4. A. da Silva and I.Almeida (2020), «Towards INDUSTRY 4.0| a case STUDY in ornamental stone sector», *Resources Policy*, No. 67, 101672.
5. Aukour, F. (2009), «Feasibility study of manufacturing concrete eco-blocks using marble sludge powder as raw materials», *WIT Trans. Ecol. Environ.*, No. 120, pp. 845–852.
6. Aukour, F.J. (2009), «Incorporation of marble sludge in industrial building eco-blocks or cement bricks formulation», *Jordan J. Civil Eng.*, No. 3 (1), pp. 58–65.
7. Korabu, I. and Pise, C. (2020), «Experimental study of partial replacement of cement by waste marble powder in a concrete prepared with artificial sand», *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, IOP Publishing.
8. Piccini, L. et al. (2019), «Marble slurry's impact on groundwater: the case study of the apuan alps karst aquifers», *Water*, No. 11 (12), 2462.
9. Taji, I. et al. (2019), «Application of statistical analysis to evaluate the corrosion resistance of steel rebars embedded in concrete with marble and granite waste dust», *J. Clean. Prod.*, No. 210, pp. 837–846.
10. Singh, S., Nagar, R. and Agrawal, V. (2016), «A review on Properties of Sustainable Concrete using granite dust as replacement for river sand», *J. Clean. Prod.*, No. 126, pp. 74–87.
11. Terrones-Saeta, J.M. et al. (2020), «Development of Ceramic Materials for the Manufacture of Bricks with Stone Cutting Sludge From Granite», *Minerals*, No. 10, 621 p.

**Леонєць** Ірина Володимирівна – аспірант Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-6572-681X>.

Наукові інтереси:

- відкриті гірничі роботи;
- переробка відходів каменеобробних підприємств.

**Іськов** Сергій Станіславович – кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри маркшейдерії Державного університету «Житомирська політехніка».

<https://orcid.org/0000-0002-9618-489X>.

Наукові інтереси:

- видобуток та обробка природного каменю;
- гірництво.

**Leonets I.V., Iskov S.S.**

#### **Using stone processing sludge as additives in ceramic products**

This study explores the possibility of using stone processing sludge in ceramic building materials. In this research, fatty clays were selected from quarries and sludge from stone processing plants. These materials were not further modified. The clay and sludge were dried in a drying cabinet for 24 hours at a temperature of 105±2 °C. The samples were fired at a temperature of 950 degrees Celsius. The shrinkage of the samples and the weight loss of the samples due to the sludge content after firing were analyzed. It was found that the sludge has a density similar to clay, allowing it to be mixed without adjusting proportions. The plasticity index of the sludge was lower than that of clay, despite the similarity in particle size of these materials. The chemical analysis of the sludge and clay showed a carbon percentage. X-ray fluorescence of the sludge and clay indicated their similarity without contamination by heavy metals or chemical elements. It was also determined that the linear shrinkage of ceramic samples increases with increasing sludge content. Based on this, it can be concluded that granite sludge can be incorporated into ceramic materials for brick production.

**Keywords:** sludge; ceramics; linear dimensions; weight loss; firing.

Стаття надійшла до редакції 08.05.2023.