

Юрко І.А., к.т.н., ст. викладач

Зайцева В.С., студент

Правденко Я.А., студент

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛИНИСТОЙ СИРОВИНИ ТЕХНОГЕННОЮ ДОБАВКОЙ ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ СТІНОВИХ КЕРАМІЧНИХ ВИРОБІВ

Теоретично й експериментально досліджено можливість виробництва ефективних керамічних стінових матеріалів з техногенною добавкою. Розглянуто актуальне питання утилізації промислових відходів, зокрема зол і шлаків теплоелектростанцій, які, володіючи цінними властивостями, є великим резервом дешевої сировини, придатної для виготовлення різних видів керамічних матеріалів будівельного призначення.

Попередньо проведено дослідження характеристик компонентів системи і побудовано матрицю планування з оптимізації керамічної маси. Обробка та аналіз експериментів проводились у програмі «Statistika». Отримано рівняння регресії та побудовано графіки залежності показника від умісту золи винесення, золошлаку та каоліну. За результатами досліджень матриці встановлено найбільш оптимальні суміші глинистої сировини з техногенною добавкою.

Ключові слова: оптимізований склад, керамічний виріб, зола винесення, золошлак.

Юрко И.А., к.т.н., ст. преподаватель

Зайцева В.С., студент

Правденко Я.А., студент

Полтавский национальный технический университет имени Юрия Кондратюка

ОПТИМИЗАЦИЯ ГЛИНИСТОГО СЫРЬЯ ТЕХНОГЕННОЙ ДОБАВКОЙ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ СТЕНОВЫХ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Теоретически и экспериментально исследована возможность производства эффективных керамических стеновых материалов с техногенной добавкой. Рассмотрен актуальный вопрос утилизации промышленных отходов, в частности зол и шлаков теплоэлектростанций, которые, обладая ценными свойствами, являются большим резервом дешевого сырья, пригодного для изготовления различных видов керамических материалов строительного назначения.

Предварительно проведено исследование характеристик компонентов системы и построено матрицу планирования по оптимизации керамической массы. Обработка и анализ экспериментов проводились в программе «Statistika». Получены уравнения регрессии и построены графики зависимости показателя от содержания золы уноса, золошлаков и каолина. По результатам исследований матрицы установлены наиболее оптимальные смеси глинистого сырья с техногенной добавкой.

Ключевые слова: оптимизированный состав, керамическое изделие, зола уноса, золошлак.

*Yurko I., PhD, senior lecturer
Zaitseva V., student
Pravdenko Ja., student
Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*

OPTIMIZATION OF CLAY RAW MATERIALS TECHNOGENIC ADDITIVES FOR MAKING WALL CERAMIC PRODUCTS

In today's world ceramic industry is an important component of modern construction. Today it is going through major changes and is in a state of evolution. Unlimited prevalent stocks of raw materials (clay), simple technology, extensive production experience and high durability contributed to their wide application. It should be noted that unlike other materials used in construction, ceramic mass is a natural substance. Its use facilitates adherence to environmental regulations and does not harm the environment around us.

Increasing the molding properties of clays investigated in the works of Turgenev D., Velichko Y., Tymoshenko M., Dubinin K. and other.

There are many factories for the manufacture of ceramic bricks in Poltava region. Increasing production of effective ceramic wall materials is essential for expanding the resource base. Industrial waste and particularly fly ash and slag thermal power plants are of great interest. They have large reserves of cheap raw material which suitable for the manufacture of various types of ceramic materials.

Clay of Poltava district, kaolin, fly ash and slag thermal power plants are the main components of the mixture. Preliminary analysis of system components for building planning matrix is conducted.

Aim of the work is to optimize the mix for production of ceramic wall products with addition of technological additives.

Planning the experiment was carried out based on the plan Box-Banking. Grade of importance linear regression was carried out based on Fisher criterion.

Kaolin, fly ash, slag were chosen as the variable factors. Sensitivity to drying; air shrinkage; plasticity; forming moisture were optimization parameters.

51 samples (17 experiments on three samples) were produced and tested totally.

According to the research parameters of the molding moisture of air shrinkage, plasticity and sensitivity to drying were established. Value of the molding moisture varies from 18,63 to 25%. Changing slag does not affect the sensory rate of the molding moisture. Air shrinkage varies between 1,8 to 3,36%. Plasticity changes from 0,9 to 19,81% within the matrix. This means are of considerable impact on slag clay mass. Value of sensitivity to drying does not change in proportion to the slag. For example, with minimum value kaolin, fly ash removal and maximum value obtained slag clay mass is not sensitive to drying.

Processing and analysis of experiments were conducted in the program «Statistika». The equations of regression and dependence of the contents fly ash, slag and kaolin are present.

The most optimal mixture of clay materials from technogenic additives for manufacture of wall ceramics materials were obtained. It is necessary to determine the value of firing shrinkage and sintering optimized composition. For wall ceramics, manufactured by plastic production method optimal plasticity is of the value from 7 to 11%.

1st and 7th mixtures are recommended for determination of firing shrinkage.

Keywords: *optimized composition, ceramic product, fly ash, slag.*

Вступ. У сучасному світі керамічна промисловість є важливою складовою новітнього будівництва. Нині вона переживає значні зміни і знаходиться в стані еволюції. Необмежені запаси поширеної сировини (глини), простота технології, великий досвід виробництва, а також висока довговічність сприяли широкому її застосуванню. Необхідно зазначити, що, на відміну від інших матеріалів, які використовуються у будівництві, керамічна маса є природною речовиною. Її використання сприяє дотриманню екологічних норм та не шкодить навколишньому середовищу.

На сьогодні у світі розв'язання проблеми утилізації золи і шлаків ТЕС у зв'язку з розвитком енергетики набуває все більшої актуальності. Під золошлаковими відходами найбільших ТЕС перебувають тисячі гектарів землі, придатної до використання. Їх утилізація має велике екологічне значення, оскільки вони забруднюють водні й повітряні басейни. Екологічно шкідливі лужні розчини зі сховищ потрапляють у ґрунтові та поверхневі води часто в кількостях, які перевищують межі допустимих норм. Впливу відходів на природне середовище в нашій країні приділяється недостатня увага, у той час як, наприклад, у Нідерландах розроблена державна програма, котра ставить за мету повне виключення викидів неочищених відходів господарської діяльності в навколишнє середовище. Програма передбачає перехід на безвідходні технології всього комплексу промислових і сільськогосподарських виробництв.

Тим часом золи і шлаки ТЕС при правильному й ефективному їх використанні являють собою багате джерело розширення сировинних ресурсів різних галузей народного господарства, в першу чергу промисловості будівельних матеріалів.

Аналіз останніх джерел досліджень і публікацій. Підвищення формувальних властивостей глин досліджували у своїх роботах Є.С. Лукін, Д.А. Тергенбаєва, Ю.М. Величко, М.П. Тимошенко, К.В. Дубінін та інші [1 – 6].

У роботі Д.А. Тергенбаєвої [4] розглянута можливість використання глини Ахміровського родовища і золошлакової суміші Усть-Каменогорської ТЕС при виробництві керамічної цегли.

Пропонована як сировина монтморилонітова ахміровська глина за числом пластичності належить до високопластичної сировини; за змістом тонкодисперсних фракцій є середньодисперсною, що не дозволяє застосовувати її у виробництві керамічних стінових матеріалів. Але глину можна використовувати у сполученні з добавкою золошлакової суміші.

Для виявлення залежності міцності від відсоткового вмісту золи в керамічних виробках проведені експерименти. На першому етапі формувалися зразки з добавкою золошлакової суміші. При цьому відношення глини і добавки варіювалося в межах від 50 до 80%. Далі зразки випалювалися при температурах 900, 950, 1000 °С. Після – досліджувалися водопоглинання, густина, границя міцності при стиску.

За результатами випробувань рекомендовано такий склад шихти: глина – 40%, золошлакова суміш – 60%.

Ю.М. Величко, М.П. Тимошенко, К.В. Дубінін [3] запатентували винахід «Спосіб виготовлення пористо-пустотілих керамічних виробів». Заявлений патент дозволяє вирішити питання скорочення витрат палива на випалювання виробів за рахунок постійного підведення теплоти від згорання органовмісних відходів. Визначена корисна кількість теплоти відходів, які знаходяться в складі керамічної маси, дозволяє зменшити витрати технологічного палива на процес випалювання цегли залежно від концентрації відходів у складі керамічної маси.

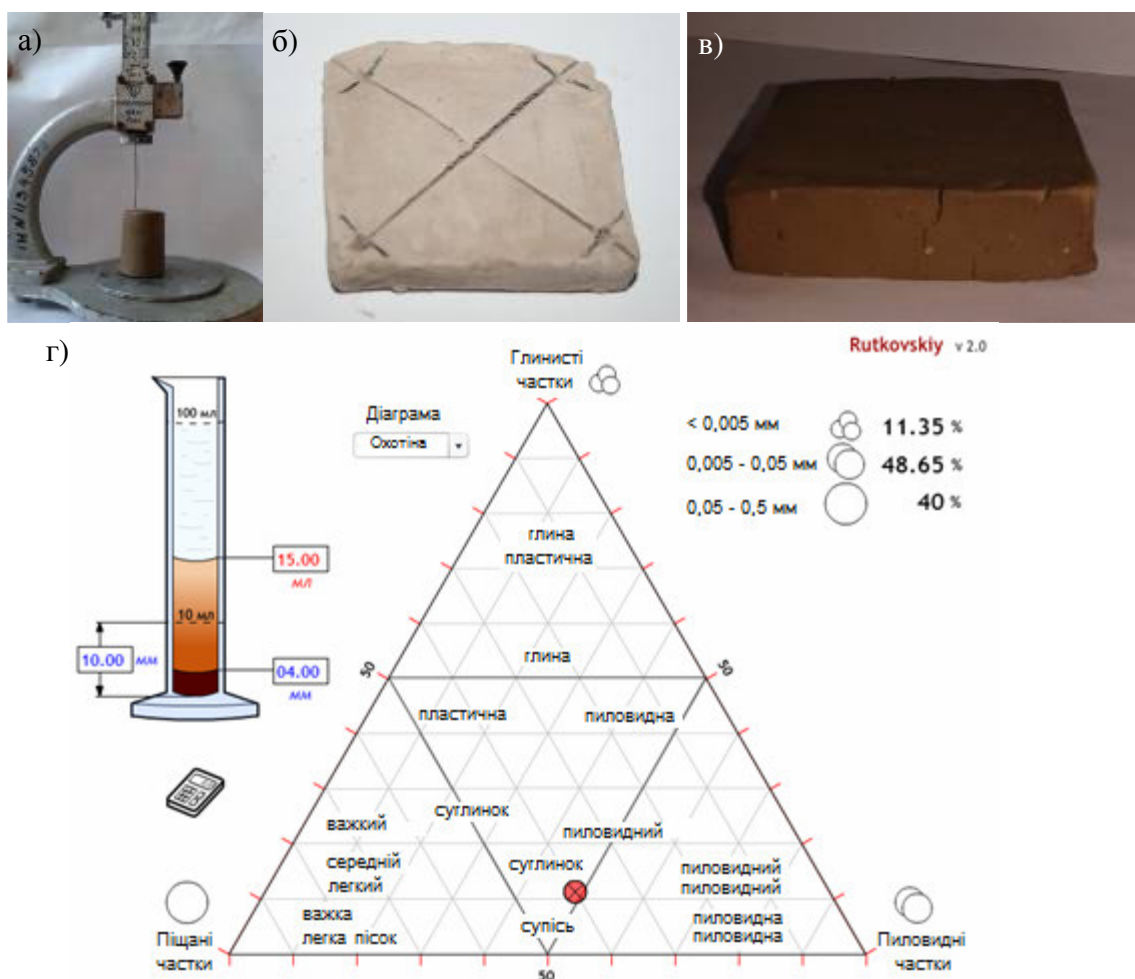
Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми. На території Полтавської області безліч родовищ глини, тому існує багато заводів з виготовлення керамічної цегли. Збільшення виробництва ефективних керамічних стінових матеріалів

має істотне значення для розширення сировинної бази. У зв'язку з цим значний інтерес являють промислові відходи і, зокрема, золи та шлаки теплоелектростанцій, які, маючи цінні властивості, є великим резервом дешевої сировини, придатної для виготовлення різних видів керамічних матеріалів будівельного призначення.

Постановка завдання. Отже, метою роботи є оптимізація керамічної суміші для виробництва стінових виробів з додаванням техногенної добавки.

Основний матеріал і результати. Головними компонентами обрані глина Малобудищанського родовища Полтавського району, каолін, зола винесення і золошлак Старобешівської ТЕС. Для побудови матриці планування з оптимізації керамічної маси для виготовлення стінових виробів попередньо проведений аналіз компонентів системи.

Виконавши дослідження основної сировини – глини Полтавського родовища, встановили: зовнішній вигляд у повітряно-сухому стані – жовтувато-коричневий колір, у вологому – рудо-коричневий, за характером будови – пухка, на дотик – не жирна, незасмічена; нормальна формувальна вологість визначена за допомогою приладу «Віка», становить $V_B = 16,82\%$; за пластичністю належить до помірно пластичної із числом пластичності $P_c = 7,1$; гранулометричний склад: глина – $11,35\%$, пісок – 40% , пил – $48,65\%$; лінійно повітряна усадка $U_B = 3\%$; за чутливістю до сушіння – чутлива (час появи першої тріщини – 63 с) [7].



Отримано такі показники каоліну: нормальна формувальна вологість $V_B = 24,44\%$; за пластичністю належить до малопластичної сировини з $P_c = 1,25$; лінійно повітряна усадка становить $U_B = 3\%$; чутливість до сушіння – малочутливий час появи першої тріщини (196 с).

Характеристики золошлаку: істинна густина $\rho_{\text{іст}} = 2,0 \text{ г/см}^3$; насипна густина $\rho_n = 0,52 \text{ г/см}^3$, $M_k = 0,966$.

При математико-статистичному плануванні 3-факторного експерименту необхідно застосувати 3 змінні, а саме співвідношення каоліну, золи винесення та шлаку. У таблиці 1 наведена матриця планування експериментів, а також розрахунок витрат матеріалу на 500 г суміші.

Планування експерименту здійснювалося на основі плану Бокса – Бенкіна. Оцінювання вагомості лінійної регресії здійснювалося на основі критерію Фішера.

Як змінні фактори обрано: каолін (x_1), золу винесення (x_2), шлак (x_3). Параметрами оптимізації виступили: чутливість до сушіння [8]; повітряна усадка; пластичність; формувальна вологість.

Усього виготовлено і випробувано 51 зразок (17 дослідів по 3 зразки).

Таблиця 1 – Матриця проведення експериментів

№	Матриця проведення експериментів			Витрати матеріалу на 500 г суміші			
	Каолін, %	Зола винесення, %	Шлак, %	Каолін, г	Зола винесення, г	Шлак, г	Глина, г
1	30	30	30	150	150	150	50
2	10	30	30	50	10	150	150
3	30	10	30	150	50	150	150
4	10	10	30	50	50	150	250
5	30	30	10	150	150	50	150
6	10	30	10	50	150	50	250
7	30	10	10	150	50	50	250
8	10	10	10	50	50	50	350
9	30	20	20	150	100	100	150
10	10	20	20	50	100	100	250
11	20	30	20	100	150	100	150
12	20	10	20	100	50	100	250
13	20	20	30	100	100	150	150
14	20	20	10	100	100	50	250
15	20	20	20	100	100	100	200
16	20	20	20	100	100	100	200
17	20	20	20	100	100	100	200

Результати випробувань вологості, пластичності, усадки та чутливості до сушіння наведені в таблиці 2.

Проаналізувавши дані таблиці 2, бачимо, що при варіюванні вхідних параметрів значення формувальної вологості змінюється в межах від 18,63 до 25%. Отже, витрата золошлаків не відчутно впливає на показник формувальної вологості. Повітряна усадка коливається в межах від 1,8 до 3,36%, що є допустимим для виготовлення керамічних виробів. У межах матриці пластичність змінюється від 0,9 до 19,81%, це свідчить про значний вплив золошлаків на глинисту масу. Показник чутливості до сушіння змінюється непропорційно збільшенню витрати золошлаків. Наприклад, при

мінімальному значенні каоліну, золи винесення та максимальному значенні золошлаку отримано глинисту масу, нечутливу до сушіння.

Таблиця 2 – Результати експериментальних досліджень

№	x ₁	x ₂	x ₃	Повіт. усадка, %	Чутлив. до суш., с	Форм. волог. %	Пластич., %
1	30	30	30	3,00	372,2	21,95	6,28
2	10	30	30	2,26	324,4	23,08	1,12
3	30	10	30	3,13	235,8	20,85	11,27
4	10	10	30	2,83	600,0	19,80	1,47
5	30	30	10	2,60	196,1	24,35	6,98
6	10	30	10	2,85	212,2	25,08	5,77
7	30	10	10	2,58	312,4	20,15	11,24
8	10	10	10	2,20	79,3	20,12	2,97
9	30	20	20	2,63	135,0	18,63	7,56
10	10	20	20	2,30	132,2	19,09	13,56
11	20	30	20	1,80	144,2	19,48	9,58
12	20	10	20	3,20	74,2	21,77	19,11
13	20	20	30	2,56	204,6	21,51	10,47
14	20	20	10	3,36	261,3	22,43	17,99
15	20	20	20	3,13	138,1	23,67	0,94

Обробку й аналіз експериментів виконували в програмі «Statistika». Отримано такі рівняння регресії залежності показника від вмісту золи винесення, золошлаку та каоліну для:

– повітряної усадки

$$Y_{пов.ус.} = 0,082x_1 + 0,096x_2 - 0,99x_3 - 0,0021x_1^2 - 0,0017x_2^2 - 0,00023x_1x_2 + 0,00113x_1x_3; \quad (1)$$

– зміни чутливості до сушіння

$$Y_{чут.} = -6,2566x_1 - 5,4966x_2 + 0,3639x_1^2 + 0,1199x_2^2 + 0,2065x_1x_2 - 0,1947x_2x_3 + 473,35; \quad (2)$$

– формувальної вологості

$$Y_{форм. вол.} = 0,14341x_3 + 0,00405x_2^2 - 0,00366x_1x_2 + 0,00077x_1x_3 + 19,78316; \quad (3)$$

– пластичності

$$Y_{чис.пл.} = 0,004396x_1 + 0,000773x_3 - 0,000053x_2^2 - 0,00006x_3^2 - 0,000146x_1x_2 + 0,00068x_1x_3 - 0,000049x_2x_3 - 0,1254666. \quad (4)$$

За експериментальними даними та за допомогою рівнянь регресії побудовано графіки, зображені на рисунках 2 – 5.

Як видно на рисунку 2, найбільша повітряна усадка становить 3,36% при вмісті золи винесення 15,8% та каоліну 23,8%. Відмічено збільшення повітряної усадки при підвищенні вмісту золи винесення.

Хоча не знайдено максимальне значення чутливості до сушіння, однак у сумішах за номерами 1, 2, 4, 7 вона становила від 320 до 600 с, це означає, що керамічна суміш належить до малочутливої або зовсім нечутливої глинистої суміші.

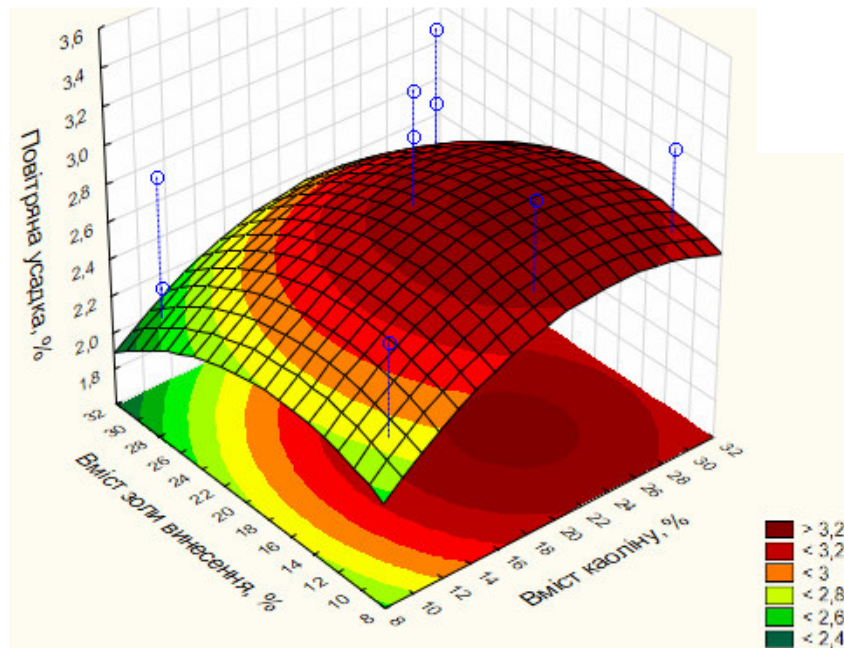


Рисунок 2 – Графіки залежності повітряної усадки від умісту золи винесення та каоліну

Залежність чутливості до сушіння від вихідних даних зображено на рисунку 3.

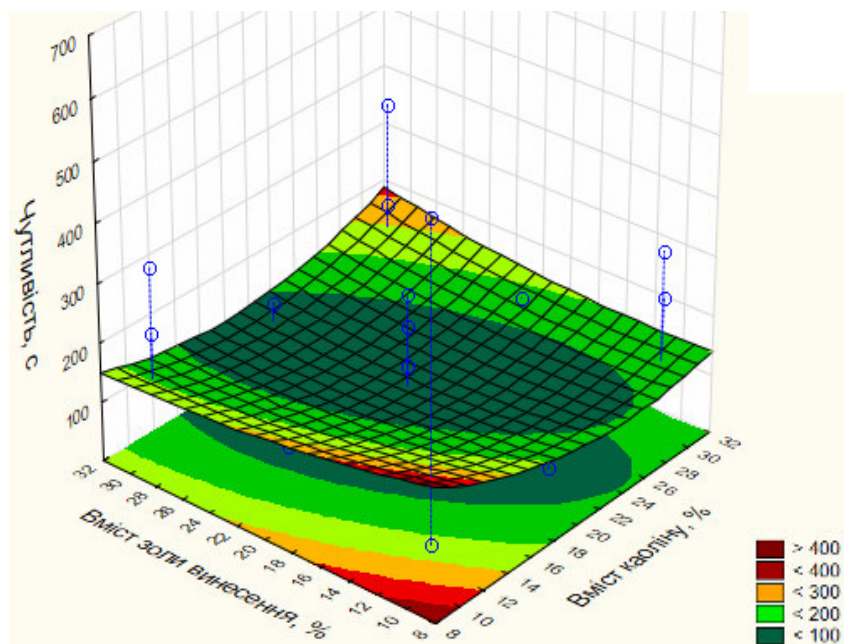


Рисунок 3 – Графіки залежності чутливості до сушіння від умісту золи винесення та каоліну

Графіки залежності формувальної вологості від вихідних факторів зображені на рисунку 4.

Оскільки зола має високу дисперсність, то для її змочення потрібна більша кількість води, це підтверджується графіком на рисунку 4, на якому видно, що при мінімальному вмісті золи винесення та середньому вмісті шлаку суміш має найменшу формувальну вологість – 18%.

При зміні вихідних компонентів формувальна вологість змінюється від 18 до 25% і дає приріст 7%, це означає, що ці фактори мають незначний вплив на формувальні властивості керамічної маси.

Залежність числа пластичності від вихідних факторів зображено на графіках рисунка 5. При мінімальному вмісті золи виносення та золошлаку керамічна маса набуває оптимального числа пластичності 13 для стінових виробів.

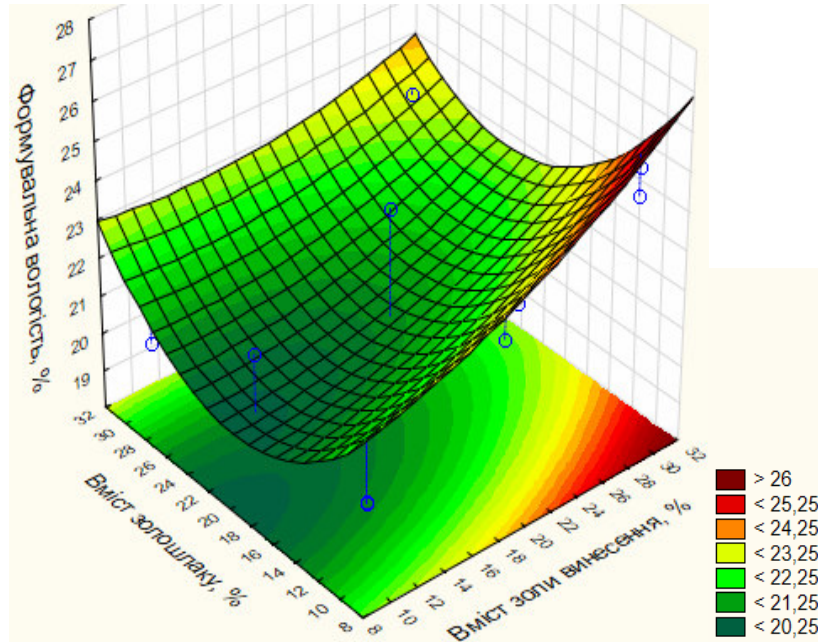


Рисунок 4 – Графіки залежності формувальної вологості від умісту золошлаку та золи виносення

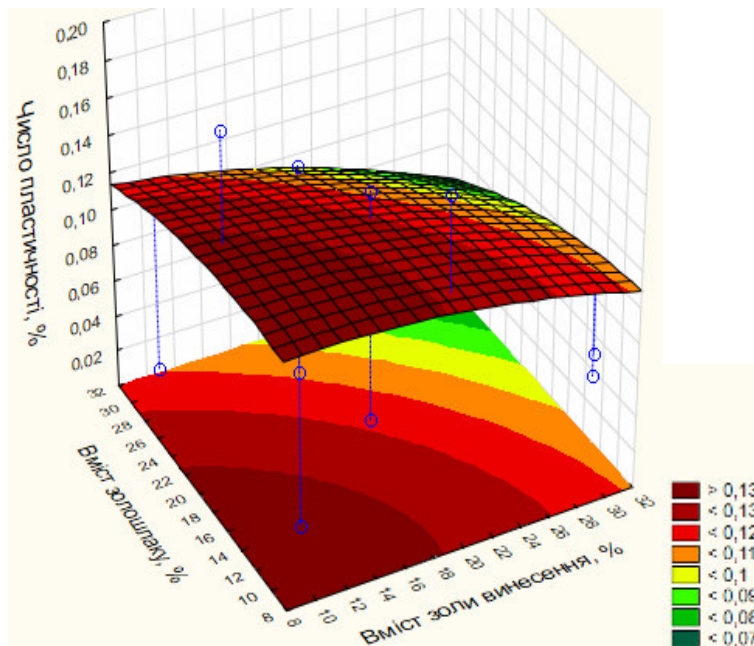


Рисунок 5 – Графіки залежності числа пластичності від умісту золошлаку та золи виносення

Склади керамічної суші за номерами 2, 4, 8, 15 мають найменше число пластичності, це не є допустимим для виготовлення стінових керамічних виробів при пластичному способі виробництва [9]. Також недоцільно використовувати склади за номерами 12 та 14, оскільки число пластичності досягає 20% і відносить керамічну масу до високопластичної.

Висновки. За результатами експериментів встановлено, що найбільш оптимальною глинистою сировиною є суміші за номерами 1, 3, 5, 7, 13. Однак для остаточного вибору необхідно провести додаткові дослідження з визначення вогневої усадки та спікливості оптимізованих складів. Оскільки для стінової кераміки, котра виготовляється за пластичним способом виробництва, оптимальним є значення числа пластичності від 7 до 11 %, то для визначення вогневої усадки рекомендовано суміші за номером 1 та 7.

Література

1. Лукин Е. С. *Технический анализ и контроль производства керамики: учебное пособие для техникумов* / Е. С. Лукин, Н. Т. Андрианов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 272 с.
2. Величко Ю. М. *Производство теплоэффективных керамических стеновых изделий* / Ю. М. Величко, Л. Ю. Письменная, В. И. Михайлов // *Будівельні матеріали XXI століття. Комфорт житла та енергозбереження*. – К., 1998. – С. 59 – 61.
3. Пат. № 64350. Україна. МПК (2011.01) C04B 33/00. *Спосіб виготовлення пористо-пустотілих керамічних виробів з додаванням золашлаків* / Ю. М. Величко, К. В. Дубініна, М. П. Тимошенко; заявник і власник Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; опубл. 25.09. 2013.
4. Тергенбаева Д. А. *Применение отходов ТЭС при производстве стеновых керамических материалов, использование отходов угольных ТЭС* [Электронный ресурс] / Д. А. Тергенбаева. – Режим доступа: [https:// www. group-global.org / sites/ default / files / publications / Стаття2%20Дамира. doc](https://www.group-global.org/sites/default/files/publications/Статья2%20Дамира.doc).
5. Demir I. *Effect of Organic Residues Addition on the Technological Properties of Clay Bricks* / I. Demir // *Waste Management*. – 2008. – Vol. 28 (3) – P. 622 – 627.
6. *Utilization of Technogenic Materials from Oil* / O. Kizinevich, R. Machyulaitis, V. Kizinevich, G. Yakovlev // *Processing Company the Production of Building Ceramics Glass and Ceramics*. – 2006. – Vol. 63 (1 – 2) – P. 64 – 67.
7. ДСТУ Б В.2.7-60-97. *Сировина глиниста для виробництва керамічних будівельних матеріалів. Класифікація*. – К.: Держкоммістобудування України, 1997. – 23 с.
8. ДСТУ Б В.2.7-26-95. *Сировина глиниста. Метод визначення чутливості глини до сушіння*. – К.: Держкоммістобудування України, 1995. – 8 с.
9. ДСТУ Б В.2.7.61:2008 (EN 771-1:2003, NEQ). *Цегла та камені керамічні. Рядові та лицьові. Технічні умови*. – К.: Мінрегіонбуд України, 2009. – 27 с.

© Юрко І.А., Зайцева В.С., Правденко Я.А.
Надійшла до редакції 10.12.2015