

УДК 006.015.5:691.535

Полюга В. О.,

tina76748@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7527-2236,

Researcher ID B-9030-2019,

*к.т.н., старший викладач кафедри товарознавства та митної справи,
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ*

Комаха В. О.,

v.kotakha@knute.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6498-9047,

Researcher ID N-3247-2016,

*к.т.н., доцент кафедри товарознавства та митної справи,
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ*

Комаха О. С.,

o.kotakha@knute.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0312-890X,

Researcher ID N-3265-2016,

*к.т.н., доцент кафедри товарознавства та митної справи,
Київський національний торговельно-економічний університет, м. Київ*

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПОКАЗНИКІВ ЯКОСТІ СУМІШЕЙ ДЛЯ МУРУВАННЯ

Анотація. У статті розроблено математичні моделі залежності показників властивостей сумішей для мурування від їх багатокomпонентного складу. Оптимізовано параметри компонентного складу дають змогу отримати суміші для мурування та розчини на їх основі з низькою теплопровідністю та високою міцністю. Використання звичайних традиційних піщано-цементних сумішей для мурування для мурування газобетонних блоків не забезпечує досягнення необхідних тепло-технічних характеристик конструкції. Класичні суміші для мурування не належать до класу теплоізоляційних за рахунок високих показників теплопровідності. Для порівняння, теплопровідність газобетонних блоків становить 0,055–0,340 Вт/м·К, а теплопровідність сумішей для мурування може бути вищою на порядок. Однак при цьому розчини на основі цих сумішей для мурування мають порівняно високі показники на стиск (0,4–1,0 МПа). Не менш важливим фактором є те, що товщина шва розчинів на основі традиційних сумішей для мурування становить не менше 10 мм. Використання композицій завдяки підвищеній дисперсності складових компонентів дає змогу зменшити товщину клейового шва до 2–5 мм, площу містків холоду та загальну теплопровідність – на 15%. До теплоізоляційних сумішей для мурування газобетонних блоків, пористість яких сягає 70–85%, висувують особливі вимоги щодо водоутримання. Висока пористість матеріалу елементів і значна швидкість підсмоктування вологи основи потребує стабілізації цього показника на рівні 97–98% за рахунок введення відповідних водоутримувальних модифікаторів.

При муруванні газобетонних блоків, що мають теплоізоляційні властивості, доцільно застосовувати такі суміші, теплопровідність яких у розчині не вище цього ж показника самих блоків. Як в'язучий у сумішах для мурування, враховуючи особливості тонкошарової технології, використовуються, як правило, швидкоотвердуючий портландцемент. У результаті проведених досліджень було прийнято рішення розробити суміш для мурування газобетонних блоків, яка міститиме такі компоненти: портландцемент, модифіковані зольні мікросфери та добавка Tylose 30000 YP2. У суміш вводилися немодифіковані зольні мікросфери із вмістом від 5 мас. % до 50 мас. % з наступним дослідженням теплопровідності, міцності зчеплення з основою та границі міцності на стиск. Зі збільшенням вмісту зольних мікросфер у складі теплоізоляційних сумішей для мурування, зменшується теплопровідність останніх.

Ключові слова: суміші для мурування, теплопровідність, міцність при стиску, міцність при згині, математичне моделювання.

Poliuha V. O.,

tina76748@gmail.com, ORCID ID: 0000-0001-7527-2236,

Researcher ID B-9030-2019,

Ph.D., Senior Lecturer at the Department of Commodity and Customs,

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

Komakha V. O.,

v.komakha@knute.edu.ua, ORCID ID: 0000-0001-6498-9047,

Researcher ID N-3247-2016,

Ph.D., Associate Professor, Department of Commodity and Customs,

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

Komakha O. S.,

o.komakha@knute.edu.ua, ORCID ID: 0000-0003-0312-890X,

Researcher ID N-3265-2016,

Ph.D., Associate Professor at the Department of Commodity and Customs,

Kyiv National University of Trade and Economics, Kyiv

MATHEMATICAL MODELING QUALITY INDICATORS OF MIXING MIXTURES

Abstract. *In the article are developed mathematical models of dependence of indicators of properties of mixes for masonry on their multicomponent structure. There is optimized parameters of the component composition make it possible to obtain mixtures for masonry and mortars based on them with low thermal conductivity and high strength. The use of conventional traditional sand-cement mixtures for masonry for masonry of aerated concrete blocks does not achieve the required thermal characteristics of the structure. Classic mixtures for masonry do not belong to the class of thermal insulation due to high thermal conductivity. The thermal conductivity of aerated concrete blocks is 0.055–0.340 W/m·K, and the thermal conductivity of mixtures for masonry may be higher by an order of magnitude. However, solutions based on these mixtures for masonry have a relatively high compression ratio (0.4–1.0 MPa). No less important factor is that the thickness of the seam of solutions based on traditional mixtures for masonry is not less than 10 mm. The use of compositions due to the increased dispersion of the components allows to reduce the thickness of the adhesive seam to 2–5 mm, the area of cold bridges and the total thermal conductivity – by 15%. Special requirements for water retention are set for heat-insulating mixtures for masonry of aerated concrete blocks, the porosity of which reaches 70–85%. The high porosity of the material of the elements and a significant rate of absorption of moisture of the base requires the stabilization of this indicator at the level of 97–98% due to the introduction of appropriate water-retaining modifiers.*

When laying aerated concrete blocks with thermal insulation properties, it is advisable to use such mixtures, the thermal conductivity of which in solution is not higher than the same value of the blocks themselves. As a binder in mixtures for masonry, taking into account the peculiarities of the thin-layer technology, is usually used fast-setting Portland cement. It was decided to develop a mixture for masonry of aerated concrete blocks, which will contain the following components: portlandcement, modified fly ash microspheres and the additive Tylose 30000 YP2. Unmodified fly ash microspheres with a content of from 5 wt. % to 50 wt. %, followed by a study of thermal conductivity, adhesion strength to the substrate and compressive strength. With increasing content of fly ash microspheres in the composition of thermal insulation mixtures for masonry, the thermal conductivity of the latter decreases.

Key words: *mixtures for masonry, thermal conductivity, compressive strength, flexural strength, mathematical modeling.*

JEL Classification: C15, C32, C61, L74.

DOI: <https://doi.org/10.36477/2522-1221-2021-25-03>

Постановка проблеми. З розвитком науково-технічного прогресу та будівельної промисловості відбувається підвищення попиту серед вітчизняних споживачів на будівельні

матеріали. Саме тому нині актуальним є покращення якості і зростання конкурентоспроможності будівельних матеріалів, зокрема, сумішей для мурування [1].

Нині є актуальним поліпшення властивостей сумішей для мурування за рахунок пошуку оптимальних співвідношень компонентів останніх: цемент, зольні мікросфери та модифікатор. Для створення конкурентоспроможних сумішей для мурування потрібно забезпечити їх високу міцність зчеплення з основою, границю міцності на стиск та низьку теплопровідність.

Використання методу математичного планування експерименту уможливило отримати повну інформацію про залежність зазначених показників якості сумішей для мурування від складу композиції при мінімальних витратах матеріалів та часу. Цей метод дає змогу значно підвищити ефективність експерименту й отримати математичні моделі, що є основою для подальшої оптимізації складу сумішей для мурування із наперед заданими властивостями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У дослідженнях сучасних науковців приділена увага лише окремим аспектам розробки і виготовлення сумішей для мурування із заданими властивостями [2; 3]. При цьому майже не досліджено комплексний вплив параметрів компонентного складу на якість вихідного матеріалу. Попередніми дослідженнями встановлено, що склад сумішей для мурування відіграє важливу роль у формуванні таких їхніх властивостей, як теплопровідність, міцність при згині та міцність при стиску [4; 5]. Із технологічного погляду забезпечення достатнього рівня міцності при стиску та міцності при згині забезпечується шляхом модифікування наповнювача – зольних мікросфер сумішей для мурування. Модифікування здійснюється із додаванням гідролізату етилсилікату [6].

Застосування гідролізату етилсилікату як модифікатора зольних мікросфер сприяє збільшенню кута змочування останніх із наступним збільшенням показників міцності при згині та міцності при стиску.

За допомогою цілеспрямованого регулювання вмісту компонентів і технологічних параметрів можна виготовляти суміші для мурування з оптимальним рівнем споживних властивостей, але залишається невирішеним питання підвищення експлуатаційних властивостей сумішей для мурування.

Постановка завдання. У рамках дослідження сумішей для мурування було поставлено такі завдання:

- спланувати та побудувати центральний композиційний рототабельний план;
- оптимізувати компонентний склад сумішей для мурування;

– розробити математичні моделі для виготовлення сумішей для мурування із наперед заданими властивостями

Виклад основного матеріалу дослідження.

Серед раціональних методів оптимізації компонентного складу з кількома вихідними змінними є багатокритеріальний метод, заснований на узагальненій функції бажаності за отриманими поліноміальними моделями. Особливістю багатокритеріальної оптимізації, яка відрізняє її від інших підходів до планування експерименту з автоматичною обробкою експериментальних даних, є те, що цей метод дає змогу отримати значення компонентного складу сумішей для мурування, які відповідають компромісним і бажаним значенням вихідних змінних.

Вплив складу композиції сумішей для мурування з вмістом модифікованих зольних мікросфер досліджували за допомогою математичного планування експерименту, зокрема, побудування центрального композиційного рототабельного плану (ЦКРП) [7].

Суть планування експерименту із використанням ЦКРП полягає у встановленні математичної залежності між заданими властивостями і компонентним складом, що дає змогу скоротити проведення експерименту та отримати математичну модель сумішей для мурування.

Дисперсію відтворюваності визначали за дослідями в центрі плану (1):

$$\sigma_B^2 = \frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^{20} (Y_i - Y_{сеп}), \quad (1)$$

Адекватність рівняння перевіряли за критерієм Фішера зі співвідношення (2):

$$\sigma_A^2 = \frac{1}{6-1} \sum_{i=1}^{20} (Y_i - Y_{pi})^2 - \sigma_B^2, \quad (2)$$

де $Y_{pi} = Y(X_{1i}, X_{2i}, X_{3i})$.

Оцінку значущості коефіцієнта регресії проводили за критерієм Стюдента.

Побудову матриці планування, розрахунок коефіцієнтів регресійних моделей, перевірку їх значущості та адекватності, а також математичну обробку експериментальних даних проводили за допомогою програмного забезпечення *STATISTICA* та *Stat-Sens*.

Опис залежностей здійснювався з використанням математичної моделі наступного вигляду:

$$y = a_0 + a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + a_4x_1x_2 + a_5x_1x_3 + a_6x_2x_3 + a_7x_1^2 + a_8x_2^2 + a_9x_3^2, \quad (3)$$

де x_i – концентрація компонентів;

$a_i - a_{10}$ – відповідні коефіцієнти моделі.

Для мінімізації багатоцільових функцій з урахуванням певного набору обмежень призначена багатокритеріальна оптимізація з постановкою завдання досягнення мети, що містить у собі відомість значень лінійної або нелінійної функції до досягнення значень, зумовлених вектором мети. Порівняна важливість цих критеріїв визначається видом вагового вектора. На завдання досягнення мети можуть бути накладені додаткові лінійні або нелінійні обмеження [8].

Оптимум параметрів, що досягається при виконанні таких умов, називають умовним або відносним, а область параметрів процесу, в межах якої отримують вихідні змінні, що задовольняють усім заданим вимогам, – раціональною чи компромісною областю.

Метод наближення до ідеального рішення ґрунтується на зведенні задачі багатокритеріальної оптимізації до задачі однокритеріальної оптимізації. Одним із найбільш вдалих методів такого вирішення задачі оптимізації з великою кількістю відгуків є використання критерію Харингтона, або так званої узагальненої функції бажаності D .

Для побудови узагальненої функції бажаності D перетворювали виміряні значення відгуків на безрозмірну шкалу d за допомогою методу кількісних оцінок з інтервалом значень бажаності від нуля до одиниці. Значення $d=0$ відповідає абсолютно неприйнятному значенню цього відгуку; 0,63–0,79 – хорошому; 0,80–0,99 – дуже хорошому значенню; $d=1$ відповідає найкращому зна-

ченню відгуку і подальше його покращення або неможливе, або є раціональним.

Основне завдання експерименту полягало у визначенні можливості регулювання вибраних властивостей сумішей для мурування залежно від їх компонентного складу, а також у розробці математичних моделей, які дали б змогу отримати вихідний матеріал із наперед заданими властивостями.

Попередні теоретичні та практичні дослідження впливу рецептурних факторів композиції на змінні вихідних параметрів дають змогу встановити область постановки експерименту. При цьому центр ортогонального рототабельного плану знаходиться в точках x_1, x_2, x_3 , відповідно, $x_1=20, x_2=1, x_3=0,002$ та інтервалами варіювання – 5, 0,5 та 0,001 (табл. 1).

Таблиця 1

Характеристика плану

Характеристика	x_1 , мас. %	x_2 , мас. %	x_3 , мас. %
Нульовий рівень	20	1	0,002
Інтервал варіювання	5	0.5	0,001
Верхній рівень	25	1.5	0,003
Нижній рівень	15	0.5	0,001

Під час планування експерименту дослідження зміни якісних показників теплоізоляційних сумішей для мурування та розчинів на їх основі вихідними змінними було вибрано:

Таблиця 2

Властивості дослідних композицій сумішей для мурування з модифікованими зольними мікросферами

№ п/п	План експерименту			Вміст компонента, мас. %			Показники властивостей		
	x_1	x_2	x_3	ЗМ	Tylose 30000 УР	Гідролізат етил-силікату	y_1	y_2	y_3
1	1	1	1	25	1,5	0,003	0,2011	10,4	5,5
2	-1	1	1	15	1,5	0,003	0,3187	13,7	7,25
3	1	-1	1	25	0,5	0,003	0,2015	10,5	5,8
4	-1	-1	1	15	0,5	0,003	0,3188	13,9	7,0
5	1	1	-1	25	1,5	0,001	0,2013	10	6,5
6	-1	1	-1	15	1,5	0,001	0,3192	12,8	6,9
7	1	-1	-1	25	0,5	0,001	0,2018	10,4	5,8
8	-1	-1	-1	15	0,5	0,001	0,2022	13,9	6,0
9	1,6818	0	0	27,97	1	0,002	0,1917	9,9	6,2
10	-1,6818	0	0	12,03	1	0,002	0,3281	14,1	6,7
11	0	1,6818	0	20	1,79	0,002	0,2139	13	7,2
12	0	-1,6818	0	20	0,21	0,002	0,2144	13,2	7,25
13	0	0	1,6818	20	1	0,0036	0,2133	12,9	7,0
14	0	0	-1,6818	20	1	0,0004	0,2142	13,0	6,7
15	0	0	0	20	1	0,002	0,2143	13,4	7,2

- x_1 – масова концентрація зольних мікросфер, мас. %;

- x_2 – масова концентрація добавки Tylose 30000 YP2, мас. %;

- x_3 – масова концентрація гідролізату етилсилікату, мас. %.

Функціями відгуку в математичних моделях було вибрано показники якості:

- y_1 – теплопровідність, Вт/(м·К);

- y_2 – границя міцності при стиску, МПа;

- y_3 – міцність зчеплення з основою, МПа.

Результати поставленого експерименту за планом табл. 1 і з урахуванням центру плану та інтервалів варіювання наведено в табл. 2.

Математична обробка рівнянь регресії на предмет вагомості їх коефіцієнтів дозволила отримати такі значення коефіцієнтів регресії (табл. 3).

Отримані коефіцієнти рівнянь регресії та зміна кожного з вищенаведених компонентів композиції суміші для мурування по-різному впливає на властивості вихідного матеріалу. На показник теплопровідності найбільший вплив має x_1 , тобто масова концентрація зольних мікросфер. При підвищенні вмісту зольних мікросфер у складі розробленої суміші для мурування знижується теплопровідність останньої, що своєю чергою підвищує її теплоізоляційні властивості. Зольні мікросфери мають пористу структуру, і саме завдяки цьому забезпечується їх низька теплопровідність, і, як наслідок, високі теплоізоляційні властивості сумішей для мурування.

Міцність при стиску розроблених сумішей для мурування знижується зі збільшенням фактору x_1 (теплопровідність) і зростає при збільшенні факторів x_2 (масова концентрація добавки Tylose 30000 YP2) та x_3 (масова концентрація гідролізату етилсилікату). Саме після модифікування поверхні зольних мікросфер гідроліза-

том етилсилікату спостерігається збільшення міцності при стиску сумішей для мурування. Добавка Tylose 30000 YP2 вводилась до суміші з метою зменшення кількості води, необхідної для її затворення. Наслідком цього є підвищення міцності при стиску розроблених сумішей для мурування. Аналогічна тенденція спостерігається і у випадку адгезійної міцності розроблених сумішей для мурування.

Отримані моделі (4-6) дали змогу виявити вплив кожного компонента на властивості всієї суміші для мурування:

а) математична модель за показником теплопровідності (y_1):

$$y_1 = + 0,124 - 0,318x_1 - 0,148x_1x_2 - 0,19x_1x_3 - 0,112x_1^2; \quad (4)$$

б) математична модель за показником границі міцності при стиску (y_2):

$$y_2 = + 11,917 - 1,869x_1 - 0,257x_2 + 0,112x_1x_2 - 0,195x_1x_3 + 0,1512x_2x_3 - 0,436x_1^2; \quad (5)$$

а) математична модель за показником міцності зчеплення з основою (y_3):

$$y_3 = + 7,013 - 0,911x_1 + 0,207x_2 + 0,182x_3 - 0,433x_1x_3 - 0,326x_2x_3 - 0,07x_1^2. \quad (6)$$

Отримані математичні моделі складу сумішей для мурування перевірялись на адекватність за критерієм Фішера. Результати розрахунку критерію Фішера для математичних моделей 4–6 наведені в табл. 4.

З проведених розрахунків помітно, що для отриманих математичних моделей виконується умова $F_p > F_m$, а тому вони адекватно і достатньо точно описують залежності, отримані в процесі експериментальних досліджень і можуть бути використані для пошуку оптимального складу сумішей для мурування із заданими властивостями.

Таблиця 3

Питомі коефіцієнти регресії

Вихідні параметри	A_0	a_1	a_2	a_3	a_4	a_5	a_6	a_7	a_8	a_9
Теплопровідність, Вт/(м·К)	+ 0,124	- 0,318	-	-	- 0,148	- 0,19	-	- 0,112	-	-
Границя міцності при стиску, МПа	+ 11,917	- 1,869	- 0,257	-	+ 0,112	- 0,195	+ 0,1512	0,436	-	-
Міцність зчеплення з основою, МПа	+ 7,013	- 0,911	+ 0,207	+ 0,182	- 0,433	- 0,326	+ 0,07	-	-	-

Таблиця 4

Перевірка адекватності математичних моделей

Моделі	y_1	y_2	y_3
Критерій Фішера (розрахований) – F_p	5,000	8,192	4,798
Критерій Фішера (табличний) – $F_m (f_1, f_2, 5\%)$	3,316	3,316	3,316

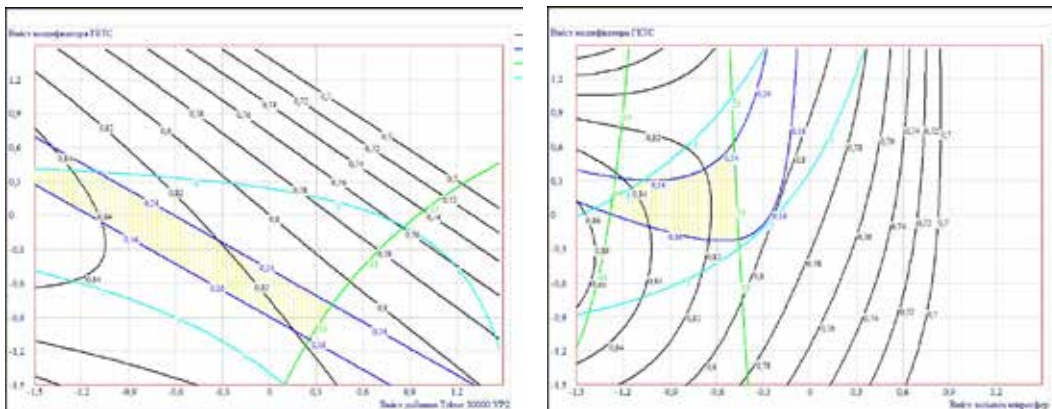
Параметри оптимізації складу сумішей для мурування з високими теплоізоляційними та експлуатаційними властивостями

Задані значення параметрів			Отримані значення параметрів						К-сть обчислень значень функції	Значення функції бажаності D_{max}
			Кодовані			Натуральні				
y_1 , Вт/(м·К)	y_2 , МПа	y_3 , МПа	x_1	x_2	x_3	x_1 , мас. %	x_2 , мас. %	x_3 , мас. %		
0,2-0,3	5-13	0,2-0,4	0,372	0,436	0,342	15,5	0,002	0,5	261	0,85

В Україні відсутня нормативна документація, що визначає вимоги до теплопровідності сумішей для мурування. Тому експериментальні дослідження сумішей для мурування були спрямовані на забезпечення такого рівня теплопровідності, який не буде перевищувати такого ж для газобетонних блоків. Згідно з ДСТУ Б В.2.7-137:2008 теплопровідність газобетонних блоків має становити не вище 0,24 Вт/(м·К) [9]. Згідно з ДСТУ Б В.2.7-126:2011 границя міцності на стиск та міцність зчеплення з основою мають бути не менше 5 МПа [10].

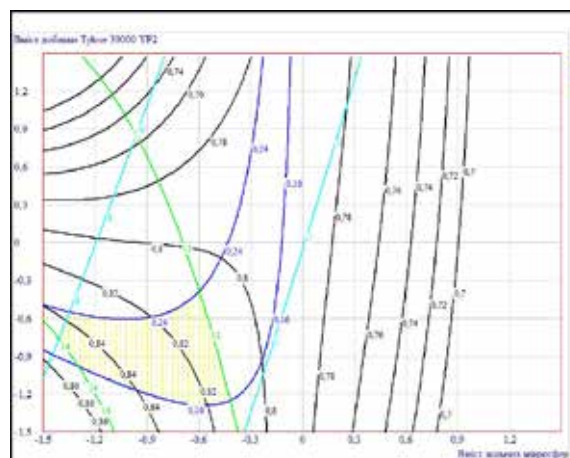
Методом багатокритеріальної оптимізації масиву даних із використанням функції бажаності Харингтона в кодованих одиницях і натуральних величинах отримані співвідношення основних компонентів (наповнювача, модифікатора та добавки Tylose 30000 YP2) сумішей для мурування.

Пошук оптимального співвідношення компонентів сумішей для мурування для отримання розчинів із підвищеними теплоізоляційними та експлуатаційними властивостями здійснювали за такими діапазонами бажаних значень властивостей:



а)

б)



в)

Рис. 1. Области графічного відгуку: а) факторів $x_2 - x_3$ при фіксованих значеннях x_1 ; б) факторів $x_1 - x_3$ при фіксованих значеннях x_2 ; в) факторів $x_1 - x_2$ при фіксованих значеннях x_3

- міцність зчеплення з основою – 7–10 МПа;
- границя міцності при стиску – 5–13 МПа;
- теплопровідність – 0,2–0,3 Вт/(м·К).

Області графічного відгуку значень факторів, що відповідають заданим умовам оптимізації, наведено на рис. 1.

Параметри та результати пошуку оптимального складу сумішей для мурування з високими теплоізоляційними та експлуатаційними властивостями наведені в табл. 5.

За наведених співвідношеннях компонентів сумішей для мурування можливе найкраще поєднання теплоізоляційних властивостей та показників міцності, що є однією з вимог при створенні якісних сумішей для мурування.

Спроможність сумішей для мурування забезпечувати високоякісні розчини характеризує рівень показників їхніх технологічних властивостей. До технологічних властивостей сумішей для мурування зараховують теплопровідність, границя міцності при стиску та міцність зчеплення з основою.

Висновки і перспективи подальших досліджень у цьому напрямі. Оптимізовано компонентний склад сумішей для мурування, що дає змогу отримати вихідний матеріал із низькою теплопровідністю (0,21 Вт/(м·К)), високими границями міцності при стиску (13,0 МПа) та міцністю зчеплення з основою (7,25 МПа). Різниця між оптимальними результатами досліджень, отриманими експериментально та розрахунковим методом, є незначною, що підтвердило ефективність дослідження.

З метою підвищення економічної ефективності сумішей для мурування досягнуто максимально допустимого рівня вмісту зольних мікросфер зі збереженням заданих показників якості: міцність зчеплення з основою, границя міцності при стиску, коефіцієнт теплопровідності. Отримані залежності дають змогу одержати конкурентоспроможний вид сумішей для мурування, властивості яких відповідають сучасним вимогам.

У подальших дослідженнях планується провести промислову апробацію з визначенням соціально-економічної ефективності розроблених сумішей для мурування.

ЛІТЕРАТУРА:

1. Данилович И.Ю. Использование топливных шлаков и зол для производства строительных материалов / И.Ю. Данилович, Н.А. Сканави. Москва : Высш. шк., 1988. 33 с.

2. Кац Г.С. Наполнители для полимерных композиционных материалов / Г.С. Кац, Д.В. Милевски. Москва : Химия, 1981. 736 с.

3. Wang Q. The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength concrete / Q. Wang, D. Wang, H. Chen. Cement and Concrete Composites. Department of Civil Engineering. Tsinghua University, 2017. P. 125–137.

4. Демченко В.О. Дослідження мінералогічного складу будови та властивостей поверхні українських зольних мікросфер / В.О. Демченко, О.І. Сім'ячко, В.А. Свідерський. *Технологічний аудит та резерви виробництва*. 2017. Том 6. № 1 (38). С. 28–34.

5. Huang W. Kinetics and mechanisms of the conversion of silicate (45S5) / W. Huang, D. E. Day, K. Kittiratanapiboon, M. N. Rahaman. *Borate. and borosilicate glasses to hydroxyapatite in dilute phosphate solutions*. J. Mater. Sci. : Mater. Med. 2006. № 17. P. 583–596

6. Демченко В.О. Формування споживчих властивостей вітчизняних зольних мікросфер. *Вісник Львівського торговельно-економічного університету. Технічні науки*. 2016. Вип. 17. С. 38–41.

7. Ахназарова С.Л. Методы оптимизации эксперимента в химической технологии. Москва : Высш. школа. 1985. 327 с.

8. Тихомиров В.Б. Планирование и анализ эксперимента. Москва : Легкая индустрия, 1974. 263 с.

9. ДСТУ Б В.2.7-137:2008. Блоки з нідруюватоного бетону стінові дрібні. Технічні умови. [Чинний від 2008-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2008. 16 с.

10. ДСТУ Б В.2.7-126:2011. Будівельні матеріали. Суміші будівельні сухі модифіковані. Загальні технічні умови. [Чинний від 2011-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 47 с.

REFERENCES:

1. Danylovykh Y.Y., Skanavy N.A. (1988) Yspolzovanye toplyvnykh shlakov y zol dlia proyzvodstva stroytelnykh materyalov M. : Vyssh. shk. 33 s.

2. Kats H.S., Mylevsky D.V. (1981) Napolnytely dlia polymernykh kompozytsyonnykh materyalov M. : Khymyia. 736 s.

3. Wang Q., Wang D., Chen H. (2017) The role of fly ash microsphere in the microstructure and macroscopic properties of high-strength con-

crete. Cement and Concrete Composites. Department of Civil Engineering. Tsinghua University. China. P. 125–137.

4. Demchenko V.O., Simiachko O.I., Sviderskyi V.A. (2017) Doslidzhennia mineralohichnoho skladu. budovy ta vlastyvoitei poverkhni ukrain-skykh zolnykh mikrosfer. Tekhnolohichnyi audyt ta rezervy vyrobnytstva. T. 6. № 1 (38). S. 28–34.

5. Huang W., Day D.E. (2006) Kittiratanapi-boon K., Rahaman M. N. Kinetics and mechanisms of the conversion of silicate (45S5). borate. and boro-silicate glasses to hydroxyapatite in dilute phosphate solutions. J. Mater. Sci. : Mater. Med. 2006. № 17. P. 583–596.

6. Demchenko V.O. (2016) Formuvannia spozhyv-chykh vlastyvoitei vitchyznianykh zolnykh mikrosfer.

Visnyk Lvivskoho torhovelno-ekonomichnoho univer-sytetu. Tekhnichni nauky. Vyp. 17. S. 38–41.

7. Akhnazarova S.L. (1985) Metody optymizatsyy eksperymenta v khymicheskoi tekhnolohyy. M. : Vyssh. shkola. 327 p.

8. Tykhomyrov V.B. (1974) Planirovanye y ana-lyz eksperymenta. M. : Lehkaia yndustryia. 263 p.

9. DSTU B V.2.7-137:2008. Bloky z nizdriu-vatoho betonu stinovi dribni. Tekhnichni umovy : Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2008. 16 s.

10. DSTU B V.2.7-126:2011. Budivelni materi-aly. Sumishi budivelni sukhi modyfikovani. Zahalni tekhnichni umovy : Kyiv : Minrehionbud Ukrainy, 2011. 47 s.

Стаття надійшла до редакції 18 січня 2021 року