

А.І. Крючков, канд. техн. наук, доц., ORCID 0000-0002-2234-0546
 Н.І. Жукова, канд. техн. наук, ORCID 0000-0002-4215-6981
 С.В. Зайченко, д-р техн. наук, проф., ORCID 0000-0002-8446-5408
 В.Г. Смоляр, інженер, ORCID 0000-0002-0355-0353
 Національний технічний університет України
 «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ТЕПЛОЗБЕРЕЖЕННЯ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ВИКОРИСТАННЯМ ВІДХОДІВ ВИРОБНИЦТВА МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ ЯК НАПОВНЮВАЧА КЕРАМОБЛОКІВ

У статті розглянуто спосіб утилізації відходів виробництва мінеральної вати шляхом їх додавання як наповнювача в керамічні блоки, що використовуються в будівельних конструкціях. Запропонований спосіб утилізації відходів виробництва мінеральної вати дозволить не лише зменшити антропогенне навантаження на довкілля та знизити витрати на її утилізацію, але й підвищити теплоізоляційні властивості будівельних конструкцій. Метою досліджень є обґрунтування доцільності додавання відходів виробництва мінеральної вати до складу керамічних блоків. Досліджено залежність теплоізоляційних показників керамічних блоків від вмісту відходів мінеральної вати. Визначено раціональний вміст відходів мінеральної вати у складі керамічних блоків. Встановлено залежності коефіцієнту теплопровідності та опору теплопередачі від вмісту відходів мінеральної вати у керамічному блоці. Запропонований спосіб утилізації відходів виробництва мінеральної вати придатний для використання у виробництві як керамічних блоків, так і для виробництва керамічної цегли.

Ключові слова: відходи виробництва мінеральної вати, утилізація, керамічні блоки, теплоізоляційні властивості.

Вступ

На сьогодні в Україні поширюються нові будівельні матеріали, такі як газобетонні блоки, керамоблоки, піноблоки тощо. Поряд з цим у будівництві широко використовується традиційні види будівельних матеріалів: керамічна та силікатна цегла. Це пояснюється їх властивостями, технічними характеристиками, простою технологією виробництва, дешевизною сировини та доступністю. Керамічні блоки характеризуються міцністю, екологічністю, значним терміном експлуатації, високим рівнем звукоізоляції, точністю геометричних розмірів, поряд з цим керамічні блоки мають недоліки, а саме: крихкість (через тонкі стінки та порожнистість блок легко пошкоджується, тому транспортування має бути дуже обережним); здатність сильно вбирати вологу; відносною морозостійкістю, оскільки стіни будівель без утеплення уражуються пліснявою. Тому є потреба утеплення будівель за допомогою теплоізолюючих матеріалів.

На сьогодні в Україні є актуальною проблема підвищення теплоізоляційних та міцнісних показників будівельних матеріалів. Поряд з цим потребує вирішення проблема утилізації відходів виробництва мінеральної вати.

Узагальнені характеристики сучасних матеріалів, які використовуються для будівництва, та їх показники наведено в табл. 1[1].

Таблиця 1 – Характеристики сучасних матеріалів для будівництва

Характеристики	Дерево	СП панелі	Цегла	Пінобетон	Газобетон
Міцність, кг/см ²	15-60	5-10	50-150	10-50	5-20
Щільність, кг/м ³	400-700	30-50	1000-2000	450-900	200-600
Теплопровідність, Вт/мГрад	0,09-0,18	0,03-0,09	0,30-0,80	0,10-0,40	0,10-0,30
Морозостійкість, циклів	35-100	20-50	50-200	25-50	10-30
Усадка, % мм/м	1,5-3	0,5-1	0	0,6-1,2	1,5
Гігроскопічність, %	70-90	5-10	40	95	100

Як видно з табл.1, при значному терміні експлуатації, низькому рівні водопоглинання цегла має високу теплопровідність, тому виникає потреба утеплення стін будівель. Аналіз літературних джерел [2, 3] показав, що існує тенденція використання відходів виробництва мінеральної вати у технології виробництва будівельних матеріалів для покращення їх теплоізоляційних властивостей, але не обґрунтовано раціональний вміст цих відходів у складі керамічних блоків [4].

Мета та завдання

Метою роботи є обґрунтування доцільності додавання відходів виробництва мінеральної вати при виробництві керамічних блоків як способу утилізації цих відходів та встановлення ефективного їх вмісту, що значно підвищить теплозбереження будівельних конструкцій.

Завданням статті є визначення теплоізоляційних показників керамічних блоків, що містять відходи виробництва мінеральної вати.

Матеріал і результати досліджень

В роботі запропоновано додавання відходів виробництва мінеральної вати до керамічних блоків для підвищення їх теплоізоляційних показників. Також це дозволить скоротити витрату основної сировини, утилізувати відходи виробництва мінеральної вати та знизити собівартість виробництва керамічних блоків.

На сьогодні ряд виробників будівельних матеріалів випускають керамічні блоки з пустотами у вигляді отворів (рис.1) [2]. Для покращення теплозбереження будівель технологічний процес включає заповнення отворів теплоізоляційними матеріалами [4]. Однак це призводить до ускладнення технологічного процесу виготовлення утеплених керамічних блоків та підвищує їх собівартість.

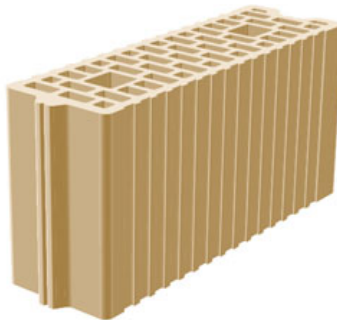


Рисунок 1 – Традиційний керамічний блок з пустотами

У роботі розглядається можливість виготовлення керамічних блоків розмірами 500x248x249 мм з глини та відходів виробництва мінеральної вати як наповнювача (рис. 2). Для визначення ефективного вмісту відходів виробництва мінеральної вати в керамічних блоках досліджувалися зразки з вмістом відходів 20%, 25 %, 30%, 35%, 40%, 45%. Товщина кладки сягала 500 мм.



Рисунок 2 – Керамічний блок з вмістом відходів виробництва мінеральної вати

Дослідження проводились за протоколом визначення теплопровідності [5]. Було визначено коефіцієнт теплопровідності і опір теплопередачі керамічних блоків з урахуванням вологості кладки.

Величина коефіцієнта теплопровідності будівельних матеріалів змінюється в досить широких межах – від 0,025 (мінеральна вата) до 3,49 (граніт, гнейс, базальт), Вт/(м·°C). Величина коефіцієнта теплопровідності для одного й того ж матеріалу не є сталою величиною і залежить від його вологості та температури, а також напрямку теплового потоку [5, 6].

Характеристики керамічної цегли та мінеральної вати наведено в табл. 2.

Таблиця 2 - Характеристики будівельних матеріалів

№ п/п	Показники	Керамічні блоки	Відходи виробництва мінеральної вати
1	Щільність, кг/м ³	1000-2100	35-100
2	Міцність, МПа	50-300	0,1
3	Водопоглинання, %	6	6-30
4	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м°C	0,65-2,4	0,044

Термічний опір теплопередачі кладки при фактичній вологості

$$R = \frac{\Delta t}{q}, \frac{\text{м}^2 \cdot \text{°C}}{\text{Вт}}, \quad (1)$$

де Δt – різниця температур на поверхнях стіни;

q – густина теплового потоку, Вт/м².

Різницю середньозважених значень температур теплої та холодної поверхонь стіни визначають за виразом

$$\Delta t = t_T - t_X, \text{°C}, \quad (2)$$

де t_T, t_X – температури теплої та холодної поверхні стіни відповідно, °C;

Коефіцієнт теплопровідності кладки при фактичному значенні її вологості ω

$$\lambda_{\text{екв}} = \frac{\delta}{R}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}, \quad (3)$$

де δ – товщина кладки, м.

Аналогічні дослідження проводились для значень вологості кладки $\omega_0=0\%, 1\%$ та $1,5\%$.

Коефіцієнт теплопровідності кладки у сухому стані

$$\lambda_0 = \lambda_{\text{екв}}(\omega) - \omega \cdot \Delta\lambda_{\text{екв}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}. \quad (4)$$

Коефіцієнт теплопровідності кладки для конкретних умов експлуатації

$$\lambda_{\text{А(Б)}} = \lambda_0 - \omega_{\text{А(Б)}} \cdot \Delta\lambda_{\text{екв}}, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{°C}}. \quad (5)$$

Розраховані коефіцієнти теплопровідності для різних значень вологості кладки наведено в табл.3.

Залежності коефіцієнту теплопровідності кладки ($\lambda_{\text{А(Б)}}$) від вмісту відходів виробництва мінеральної вати наведено на рис. 3. Видно, що найменше значення коефіцієнту теплопровідності відповідає 35% вмісту відходів виробництва мінеральної вати і найвищим значенням теплоізоляційних параметрів цегляних блоків.

Визначено залежність опору теплопередачі від вмісту відходів виробництва мінеральної вати в складі цегляних блоків, причому найвище його значення спостерігається при 35% вмісту відходів виробництва мінеральної вати (рис. 4).

Таблиця 3 - Коефіцієнти теплопровідності для різних значень вологості кладки та вмісту відходів виробництва мінеральної вати

Вміст відходів виробництва мінеральної вати	$\omega_0=0\%$		$\omega_1=1\%$		$\omega_2=1,5\%$	
	$\lambda_0, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$	$R_0, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	$\lambda_A, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$	$R_A, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$	$\lambda_B, \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$	$R_B, \frac{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}{\text{Вт}}$
20%	0,127	3,91	0,14	3,56	0,145	3,41
25%	0,128	3,87	0,133	3,72	0,136	3,64
30%	0,106	4,65	0,118	4,2	0,126	4,0
35%	0,101	4,9	0,106	4,66	0,108	4,58
40%	0,115	4,30	0,12	4,17	0,121	4,1
45%	0,116	4,26	0,131	3,78	0,138	3,5

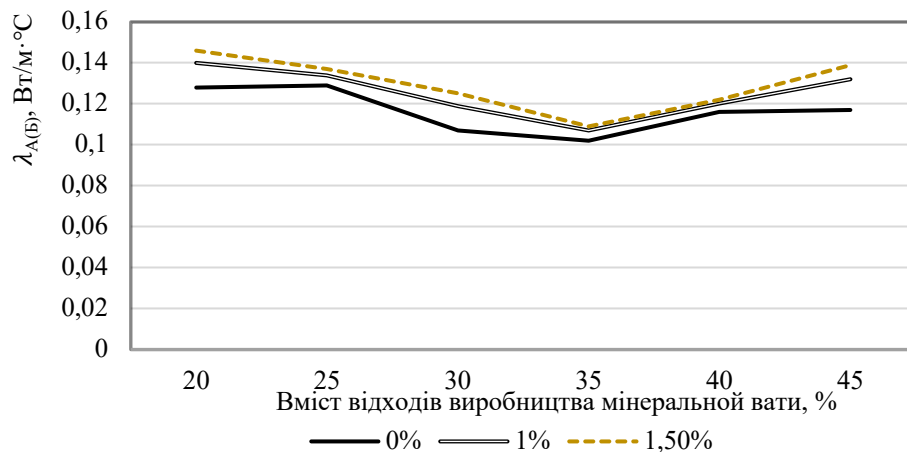


Рисунок 3-Залежність коефіцієнту теплопровідності від вмісту відходів виробництва мінеральної вати для різних значень вологості кладки

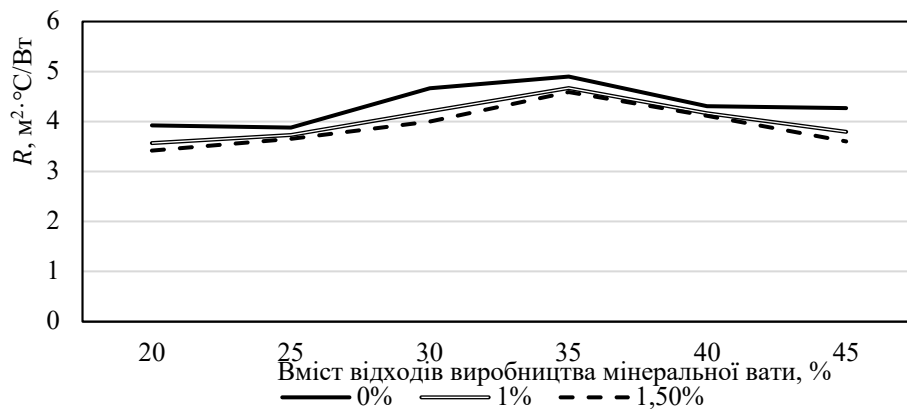


Рисунок 4 - Залежність опору теплопередачі від вмісту відходів виробництва мінеральної вати для різних значень вологості кладки

Доцільність використання керамічних блоків з наповненням відходами виробництва мінеральної вати доведено розрахунковим методом на прикладі визначення вартості будівництва 9-ти поверхового будинку.

Розглянуто три варіанти використання будівельних матеріалів, а саме:

1-й варіант – спорудження будинку з силікатної цегли та утепленням пінопластом;

2-й варіант – використання керамічних блоків з пустотами, які заповнюються мінеральною ватою (рис. 1);

3-й варіант – спорудження будинку з використанням керамічних блоків, що містять наповнювач у вигляді відходів виробництва мінеральної вати (рис. 2).

Порівняння варіантів показало, що найбільш доцільним є варіант спорудження будинку з керамічних блоків (цегли), що містять 35% відходів виробництва мінеральної вати. Вартість будівництва становить 4,22 млн. грн у порівнянні з 5,2 млн грн. (силікатна цегла та утеплення пінопластом) і 5,02 млн. грн. (керамічний блок з пустотами для заповнення мінеральною ватою).

Висновки

1. Визначено, що мінімальне значення коефіцієнту теплопровідності та найбільшого опору теплопередачі досягається при вологості кладки $\omega=1,0\%$ у зразку керамічного блоку, що на 35% складаються з відходів виробництва мінеральної вати.

2. Встановлено, що запропонований склад керамічних блоків з використанням відходів виробництва мінеральної вати забезпечує високі теплоізоляційні властивості будівель та має низьку вартість, що робить будівельний матеріал конкурентоспроможним.

3. Отримані результати свідчать, що використання відходів виробництва мінеральної вати як наповнювача керамічних блоків (цегли) практично вирішує проблему утилізації цих відходів та істотно знизить антропогенний вплив на довкілля.

Список використаної літератури

1. Сучасні будівельні матеріали і конструктивні системи для зведення доступного житла та об'єктів інфраструктури (монографія) / Пушкарьова К.К., Бамбура А.М., Дворкін Л.Й., Градобоев О.В., та ін. / Вік-Принт, – 2015, 280 с.

2. Сучасні українські будівельні матеріали, вироби та конструкції: науково-практичний довідник; авт. ідеї та кер. пр-ту І.М. Салій; за ред. К.К. Пушкарьової; Асоціація “Всеукр. союз виробників буд. матеріалів та виробів”. - Київ: ВСББМВ, 2012 . - 658 с.

3. ДСТУ Б В.2.7-80:2008 Будівельні матеріали. Цегла та камені силікатні. Технічні: Вид.офіц. Наказ від 25.12.2008 № 640. - К.: ДП "Український науково-дослідний і проектно-конструкторський інститут будівельних матеріалів та виробів" (НДІБМВ), 2010. - 16 с.

4. Зарубина Л. П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. Санкт-Петербург: БХВ-Петербург, 2012. - 416 с.

5. Протокол випробувань на теплопровідність каменів керамічних рядових крупноформатних :вик. Укр.наук.-досл. і проект.-констр. ін-том буд. мат. від 24 грудня 2015 р. № 15/53. Київ.

6. Маляренко В.А. Основи теплофізики будівель і енергозбереження. – Харків:САГА, 2006.

A. Kryuchkov, Cand. Eng. Sc., Assoc. Prof., **ORCID** 0000-0002-2234-0546

N. Zhukova, Cand. Eng. Sc., **ORCID** 0000-0002-4215-6981

S. Zaichenko, Dr. Eng. Sc., Prof., **ORCID** 0000-0002-8446-5408

V. Smoliar, Eng., **ORCID** 0000-0002-0355-0353

National Technical University of Ukraine “Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”

PROVIDING HEAT SAVING OF BUILDING STRUCTURES WITH THE USE OF WASTE FROM THE PRODUCTION OF MINERAL WOOL AS A FILLER FOR CERAMIC BLOCKS

Today, the country faces the problem of recycling waste from the production of mineral wool. The article discusses a method for recycling waste from the production of mineral wool by adding them as a filler to ceramic blocks used in building structures. The proposed method of waste disposal of mineral wool production will allow not only to reduce the anthropogenic load on the environment and reduce the cost of its disposal, but also to increase the thermal insulation and strength properties of building structures. The purpose of the research is to substantiate the feasibility of adding mineral wool production waste to the composition of ceramic blocks or ceramic bricks. The dependence of the thermal insulation indicators of ceramic blocks on the content of mineral wool waste at various values of the moisture content of the masonry has been investigated.

The dependences of the coefficient of thermal conductivity and resistance to heat transfer on the content of waste mineral wool in the ceramic block have been established. The rational content of mineral wool production waste in the composition of ceramic blocks has been determined, which provides high thermal insulation properties of buildings and has a low cost, which makes the building material competitive.

The proposed method of waste disposal of mineral wool production is suitable for use in the production of both ceramic blocks and for the production of ceramic bricks.

Keywords: *mineral wool production waste, utilization, ceramic blocks, heat-insulating properties*

REFERENCES

1. Suchasni budivelni materialy i konstruktyvni systemy dlia zvedennia dostupnogo zhytla ta ob'ektyv infrastruktury (monografya) / Pushkariova K.K., Bambura A.M., Dvorkin L.J., Gradoboev O.V. ta in. /Vik-Prynt, – 2015, 280 p.
2. Suchasni ukrainski budivelni materialy, vyroby ta konstrukcyi: naukovo-praktychny dovidnyk; avt. idei ta ker. pr-ty pr-ty I.M. Saliy; za red K.K. Pushkarevoi; Asosiacia “Vseukr. sous vyrobnykiv bud. Materialiv ta vyrobiv”. – Kyiv: BCBMB, 2012. - 658 p.
3. DSTU B V. 2.7-80:2008 Budivelni materialy. Tsehla ta kameni sylikatni. Tehnichni: Vyd.ofic. Nakaz vyd 25.12.2008 № 640. - K.: DP “Ukrainskiy naukovo-doslidnyi i proektno-konstruktorskiy instytut bydivelnykh materialiv ta vyrobiv” (NDIBMV), 2010. - 16 p.
4. Zarubina L.P. (2012) Teploizolyatsia zdaniy i sooruzheniy. Materialy i tekhnologii. St. Petersburg: BHV-Petersburg. – 416 p.
5. Protokol vyprobuvan na teploprovodnist kameniv keramichnykh riadovykh krupnoformatnykh: вик. Ukr.nauk.-dosl. i proekt.-konstr. in-tom bud. mat. vid 24 grudnia 2015 r. № 15/53. Kyiv.
6. Maliarenko V.A. (2006) Osnovy teplofizyky budivel I energoberezhennya.–Kharkiv:SAGA.

Надійшла 21.06.2020
Received 21.06.2020