

# ТЕХНІЧНІ НАУКИ

DOI: <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2019-6-70-1>

УДК 622.241

Жукова Н.І., Смоляр В.Г., Мельник А.М.

Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

## ВИКОРИСТАННЯ ВІДХОДІВ МІНЕРАЛЬНОЇ ВАТИ У ВИРОБНИЦТВІ КЕРАМІЧНОЇ ЦЕГЛИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ ЇЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ ПОКАЗНИКІВ

**Анотація.** У статті розраховано та проаналізовано теплоізоляційні показники стін будівель з керамічної цегли (блоку) та цегли (блоку) з додаванням відходів виробництва мінеральної вати. Доведено можливість підвищення теплоізоляційних властивостей цегли (блоку) з додаванням відходів виробництва мінеральної вати та визначено найбільш доцільний її вміст, що підтверджено відповідними розрахунками. Розраховано вартість спорудження дев'ятиповерхового будинку з різних матеріалів та встановлено, що найдешевший варіант – будівництво будинку з керамічного блоку, до складу якого входять 35% відходів мінеральної вати. Використання відходів виробництва мінеральної вати у складі керамічної цегли (блоку) значною мірою вирішить проблему їх подальшої утилізації та зменшить антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

**Ключові слова:** керамічна цегла, відходи мінеральної вати, теплоізоляційні показники.

Zhukova Natalia, Smoliar Volodymyr, Melnik Anastasia

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»

## UTILIZATION OF MINERAL WOOL WASTES IN PRODUCTION OF CERAMIC BRICK TO INCREASE ITS HEATINSULATION INDEXES

**Summary.** The article analyzes the construction of residential buildings of traditional ceramic bricks (blocks). Heat insulation parameters of the walls of such buildings are calculated. It is determined that the walls of buildings of such ceramic brick (blocks) have rather low thermal insulation indexes, freeze, cover with mold, which considerably affects the living conditions of inhabitants in such buildings. Therefore, to improve the living conditions of the inhabitants of these houses, there is an urgent need for additional insulation, which significantly increases the cost of construction and subsequent operation of these buildings. The paper proposes the use of mineral wool production in the ceramic bricks (blocks) as a filler. The heat insulation values of walls of buildings from traditional ceramic brick (block) and brick (block) with the addition of wastes from the production of mineral wool are calculated and analyzed. The possibility of increasing the thermal insulation properties of a brick (block) with the addition of wastes from the production of mineral wool is proven. In addition, calculations were made to establish the most expedient mineral wool content in the ceramic brick (blocks). As an example, the cost of constructing a nine-storey residential building from a traditional brick (blocks) and a brick (blocks) containing mineral wool waste is calculated, and it is established that the cheapest option is the construction of a building with a ceramic block, which includes 35% of the mineral waste production cotton wool. It is proved that the developed ceramic block has high thermal insulation properties and low cost, which makes the building material competitive and has the ability to enter the Ukrainian and foreign markets. The use of wastes from the production of mineral wool in the ceramic brick (block) will largely solve the problem of their further utilization and reduce the anthropogenic burden on the environment.

**Keywords:** ceramic brick, mineral wool waste, thermal insulation indexes.

**Постановка проблеми.** Для спорудження будинків використовують різні матеріали. Для всіх типів (приватні, багатоповерхові, промислові) використовують силікатну або керамічну цеглу. Для замських будинків існує набагато більше варіантів – керамоблоки, газобетонні блоки, піноблоки, деревина, каркасні конструкції. Цегла є традиційним матеріалом та не втрачає популярності не дивлячись на нові альтернативні будівельні матеріали. Це пояснюється технічними характеристиками, властивостями, легкістю виробництва, дешевизною сировини та доступністю. Цегла буває різних типів: за складом – керамічна і силікатна, за заповненням – повнотіла і пустотіла, за метою використання – будівельна і фасадна, за розмірами – одинарна, полуторна, подвійна. Спільними властивостями для всіх типів цегли є міцність,

морозостійкість, екологічність, значний термін експлуатації, високий рівень звукоізоляції, точність геометричних розмірів, стійкість до корозії, плісняви, грибків. Недолік – тривалий термін будівництва, необхідність утеплення за допомогою теплоізолюючих матеріалів.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** При будівництві будинків використовують деревину, газобетон, піноблок, цеглу тощо. Мельников І.А. наводить узагальнені характеристики основних будівельних матеріалів та їх показники (табл. 1) [2].

Як видно з таблиці 1, ідеального будівельного матеріалу не існує, оскільки неможливо оптимізувати всі параметри. При значному терміні експлуатації, низькому рівні водопоглинання цегла має високу теплопровідність, тому виникає необхідність утеплення стін.

Характеристики будівельних матеріалів

Показник	Деревина	Газобетон	Піноблок	Цегла
Межа міцності при стисненні, кг/см <sup>2</sup>	385-440	15-30	15-30	100-200
Водопоглинання, %	23-30	30	14	12
Теплопровідність, Вт/м · °С	0,15-0,4	0,1-0,3	0,45	0,6-0,95
Термін експлуатації, роки	50-100	30-70	30-70	>100

Джерело: [1; 2]

У роботі Зарубіної Л.П. наведено класифікацію теплоізоляційних матеріалів, систематизовано основні вимоги до них, описано основний спосіб утворення пористості у таких матеріалах, як мінеральна вата та вироби з неї. Однак відсутній опис технології поєднання цегли з мінеральною ватою або відходами її виробництва [3].

Копаницею М.О. та співавторами розглянуто властивості суміші, виготовленої з мінеральної вати, азбесту, тонкодисперсної глини і портландцементу [4]. Але не наведені розрахунки показників міцності та морозостійкості.

Патентом [5] пропонується виготовлення теплоізоляційної будівельної цегли, заповненої мінеральними гранулами, що суттєво ускладнює технологію її виготовлення.

Підвищення морозостійкості виробів досягається за рахунок глинистої частини «хвостів» гравітації циркон-ільменітових руд і продукту згоряння андезітобазальтової шихти виробництва мінеральної вати з вмістом мас, %: SiO<sub>2</sub> – 55,2; Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 18,4; Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> – 9,3; CaO – 9,1; MgO – 6,3; R<sub>2</sub>O – 4,9. Рекомендоване таке співвідношення компонентів мас, %: глиниста частина «хвостів» гравітації циркон-ільменітових руд – 70-90; продукт від згоряння андезітобазальтового шихти виробництва мінеральної вати – 10-30 [6]. Недоліком цієї технології є процес згоряння андезітобазальтової шихти виробництва мінеральної вати, що призводить до додаткового антропогенного навантаження на довкілля.

Керамічна маса з легкоплавкої глини (70-90%) і відходів «Корольок» (10-30%) у вигляді ваграночного шлаку від виробництва мінеральної вати підвищують морозостійкість керамічної цегли [7].

Термостійкість, кислотостійкість та морозостійкість підвищують за рахунок додавання до керамічної маси 55-85% легкоплавкої глини, 10-25% «Королька» від виробництва мінеральної вати, 5-20% продуктів очищення димових газів, що відходять від вагранки при виробництві мінеральної вати [8].

У роботі [9] рекомендовано використовувати при виробництві цегли кальцієво-магнієві відходи «Королька» у відношенні 10-30% до 70-90% легкоплавкої глини.

Аналіз літературних джерел показав, що наразі існує тенденція використання відходів мінеральної вати у технології виробництва будівельних матеріалів, але відсутнє обґрунтування раціонального вмісту мінеральної вати або відходів її виробництва у складі керамічної цегли.

**Мета статті.** Метою роботи є обґрунтування раціональності додавання до складу керамічної цегли відходів виробництва мінеральної вати та визначення ефективного її вмісту. Завданням статті є дослідження теплоізоляційних властивостей традиційної керамічної цегли та цегли з додаванням відходів мінеральної вати.

**Викладення основного матеріалу** дослідження. Для підвищення теплоізоляційних показників керамічної цегли запропоновано додати мінеральну вату або відходи виробництва мінеральної вати до її складу, що додатково дозволить покращити її теплоізоляційні показники, скоротити витрату основної сировини, утилізувати відходи виробництва мінеральної вати та зменшити собівартість виробництва керамічної цегли або блоків.

На сьогоднішній день керамічні блоки одного з відомих австрійських виробників випускаються з пустотами для заповнення мінеральною ватою для пасивних, енергоефективних та енергоощадних будинків (рис. 1). Керамічні блоки з мінераловатним заповненням випускаються міцністю М75.

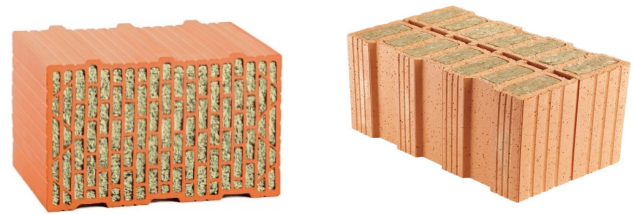


Рис. 1. Зовнішній вигляд керамічних блоків

Джерело: [3]

У статті запропоновано виготовляти керамічну цеглу (керамічні блоки), розмірами 500×248×249 мм, заповнені відходами виробництва мінеральної вати (рис. 2). Досліджувалися зразки керамічної цегли з вмістом відходів мінеральної вати 20%, 25%, 30%, 35%, 40%, 45%. Товщина кладки – 500 мм. Визначалися коефіцієнт теплопровідності і опір теплопередачі керамічної цегли з урахуванням вологості кладки. Характеристики керамічної цегли та мінеральної вати наведено в табл. 2.

Таблиця 2

Характеристики будівельних матеріалів

№ з/п	Характеристики	Керамічна цегла	Мінеральна вата
1	Густина (щільність), кг/м <sup>3</sup>	1000-2100	35-100
2	Міцність, МПа	50-300	0,1
3	Водопоглинання, %	6	6-30
4	Коефіцієнт теплопровідності, Вт/м · °С	0,65-2,4	0,044
5	Вогнестійкість, год	0,75 (товщина 6,5 см)	2

Джерело: [3]

Згідно з Державними будівельними нормами України ДБН В.2.6-31 «Теплова ізоляція бу-

Таблиця 3

**Результати розрахунків коефіцієнта теплопровідності  
при різних значеннях вологості кладки та вмісту мінеральної вати**

	$\omega_0=0\%$		$\omega_1=1\%$		$\omega_2=1,5\%$	
	$\lambda_0, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	$R_0, \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	$\lambda_A, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	$R_A, \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$	$\lambda_B, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ C}$	$R_B, \frac{м^2 \cdot ^\circ C}{Вт}$
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

Джерело: розроблено авторами

дівель» опір теплопередачі має бути не нижчим за  $2,8 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  для півдня країни та Закарпаття,  $3,3 \text{ м}^2 \cdot ^\circ\text{C}/\text{Вт}$  для інших територій.



**Рис. 2. Зовнішній вигляд керамічного блоку з вмістом відходів мінеральної вати**

Джерело: розроблено авторами

Дослідження проводились за протоколом визначення теплопровідності [10].

Різниця температур на поверхнях стіни визначають як різницю середньозважених значень температур поверхонь стіни (тепла і холодна)

$$\Delta t = t_T - t_x, ^\circ\text{C}, \quad (1)$$

де  $t_T$  – тепла температура поверхні стіни,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_x$  – холодна температура поверхні стіни,  $^\circ\text{C}$ .

Наведений термічний опір кладки  $R$  при фактичній вологості

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

де  $q$  – густина теплового потоку,  $\text{Вт}/\text{м}^2$ .

Коефіцієнт теплопровідності кладки при фактичному значенні її вологості  $\omega$

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

де  $\delta$  – товщина кладки, м.

Проведено аналогічні випробування фрагменту стіни при іншому значенні вологості кладки.

Зміна значення коефіцієнта теплопровідності при різних значеннях вологості

$$\Delta\lambda_{екв} = \frac{(\lambda_{екв1} - \lambda_{екв2})}{\omega_1 - \omega_2}. \quad (4)$$

Коефіцієнт теплопровідності кладки у сухому стані

$$\lambda_0 = \lambda_{екв}(\omega) - \omega \cdot \Delta\lambda_{екв}, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ\text{C}}. \quad (5)$$

Коефіцієнт теплопровідності кладки для конкретних умов експлуатації

$$\lambda_{A(B)} = \lambda_0 - \omega_{A(B)} \cdot \Delta\lambda_{екв}, \frac{Вт}{м \cdot ^\circ\text{C}}. \quad (6)$$

Результати розрахунків наведено в табл. 3.

Залежності коефіцієнту теплопровідності від вмісту відходів мінеральної вати наведено на рис. 3.

Як видно з рисунку 3, найменше значення коефіцієнту теплопровідності відповідає 35% вмісту відходів мінеральної вати і найвищим теплоізоляційним параметрам цегли.

Досліджено залежність опору теплопередачі від вмісту відходів мінеральної вати в складі цегли (рис. 4). З графіку, наведеному на рисунку 4 видно, що найвищий опір теплопередачі спостерігається при 35% вмісту відходів мінеральної вати у складі цегли.

У сучасних умовах будівництво потребує використання матеріалів з високим опором теплопровідності або утеплення існуючих будівель різними матеріалами.

Для обґрунтування доцільності використання керамічної цегли (блоку) з мінераловатним наповненням проведено розрахунки вартості будівництва 9-ти поверхового будинку з:

- силікатної цегли та утеплення пінопластом;
- керамічного блоку з пустотами для заповнення мінеральною ватою (блок 1);
- керамічного блоку, до складу якого входять відходи мінераловатного виробництва (блок 2).

Ціна та витрата будівельних матеріалів наведені у таблиці 4.

У розрахунках не враховані вартість робіт та будівництва фундаменту, оскільки вони однакові для трьох варіантів. Розрахунок проведено лише для площі фасаду. Вигляд будинку наведено на рисунку 5, а його характеристика – у таблиці 5.

Таблиця 4

**Характеристика будівельних матеріалів**

Матеріал	Витрата	Ціна
Пінопласт	–	85 грн/м <sup>2</sup>
Цегла	317 шт/м <sup>2</sup>	7,5 грн/шт
Блок 1	16 шт/м <sup>2</sup>	150 грн/шт
Блок 2	16 шт/м <sup>2</sup>	125 грн/шт

Джерело: розроблено авторами

Вартість спорудження будинків за трьома варіантами визначалась за формулою

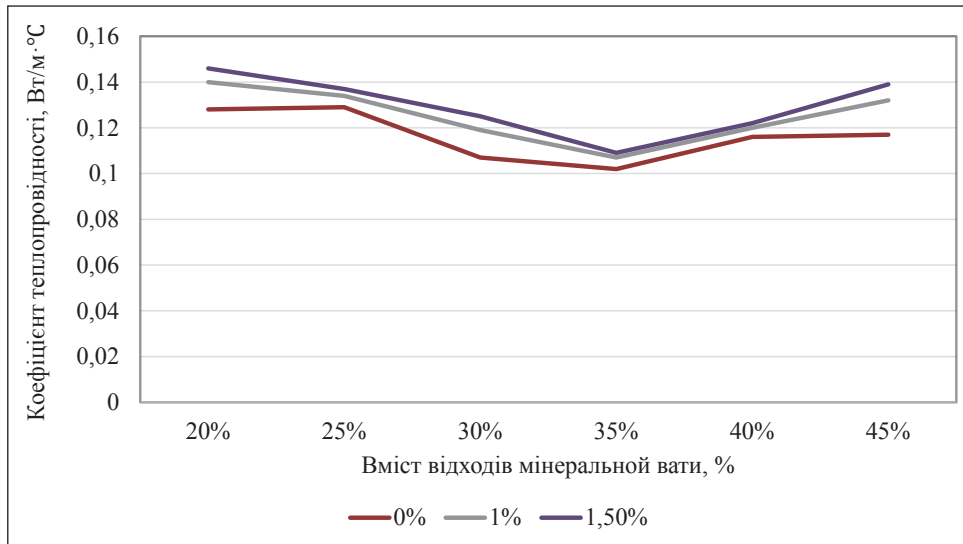
$$P_1 = F_1 \cdot S \cdot C_{ц} + S \cdot C_{п} \quad (7)$$

де  $F_1$  – витрата цегли на одиницю площі, шт/м<sup>2</sup>;

$S$  – загальна площа поверхонь стін, м<sup>2</sup>;

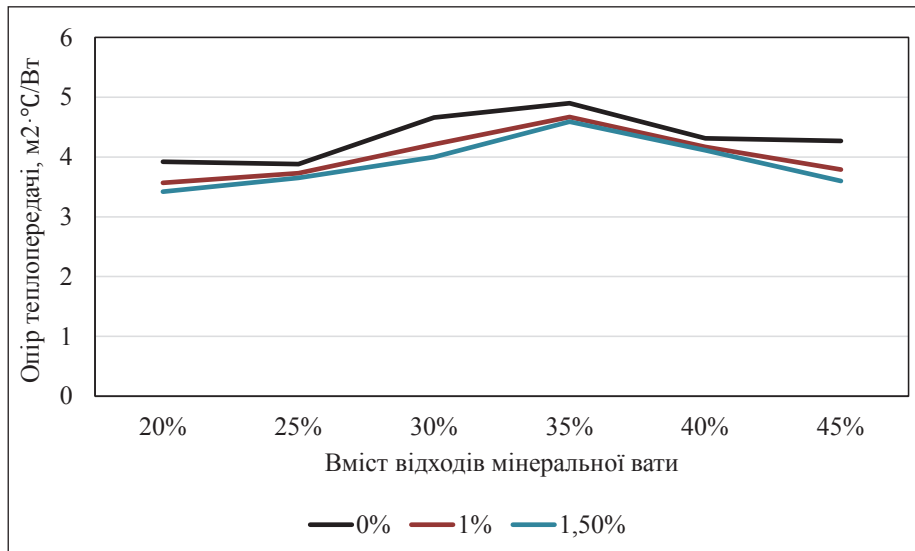
$C_{ц}$  – ціна цегли, грн/шт;

$C_{п}$  – ціна пінопласту, грн/м<sup>2</sup>.



**Рис. 3. Залежність коефіцієнту теплопровідності від вмісту відходів мінеральної вати при різній вологості кладки**

Джерело: розроблено авторами



**Рис. 4. Залежність опору теплопередачі від вмісту відходів мінеральної вати при різній вологості кладки**

Джерело: розроблено авторами



**Рис. 5. Зображення дев'ятиповерхового будинку з одним під'їздом**

Джерело: розроблено авторами

**Таблиця 5**  
**Характеристика будинку**

Параметр	Значення
Висота поверху, м	2,6
Кількість поверхів	9
Висота будинку, м	24
Ширина будинку, м	16
Довжина будинку, м	28
Площа торця, м <sup>2</sup>	768
Площа стін без вікон, м <sup>2</sup>	1344
Загальна площа поверхонь стін, м <sup>2</sup>	2112

Джерело: розроблено авторами

Розрахунок вартості спорудження будинків показав, що використання керамічних блоків, до складу яких входять відходи мінеральної вати (керамічний блок 2, рис. 6), є економічно ефективнішим порівняно з будівництвом з використанням тради-

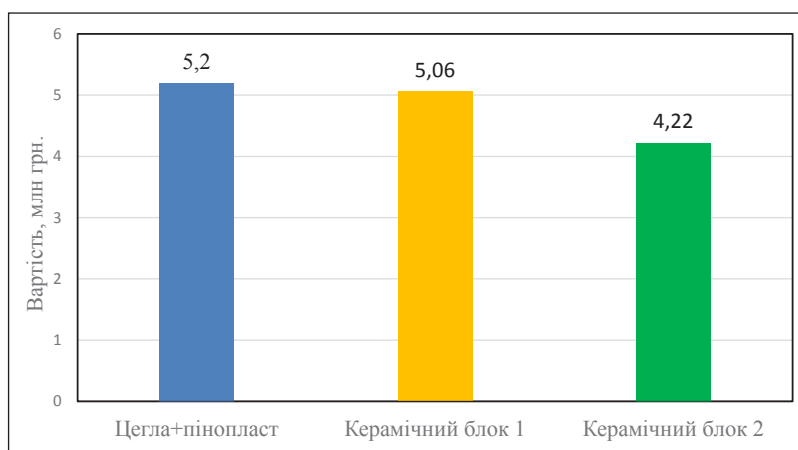


ційної цегли, утепленої пінопластом або керамічного блоку з пустотами для заповнення мінеральною ватою (керамічний блок 1, рис. 6).

**Висновки і пропозиції.** Встановлено залежності коефіцієнту теплопровідності та опору теплопередачі від вмісту відходів мінеральної вати у цегляному блоці. Визначено, що найменший коефіцієнт теплопровідності та найвищий опір теплопередачі досягається при вологості кладки  $\omega = 1,0\%$  у зразку керамічного блоку, який на 35% складається з відходів мінеральної вати.

Розраховано вартість спорудження дев'ятиповерхового будинку з різних матеріалів та встановлено, що найдешевший варіант – будівництво будинку з керамічного блоку, до складу якого входять 35% відходів мінеральної вати. Вартість будівництва складає 4,22 млн. грн у порівнянні з 5,2 млн грн. (сілікатна цегла та утеплення пінопластом) і 5,02 млн. грн. (керамічний блок з пустотами для заповнення мінеральною ватою).

Доведено, що розроблений керамічний блок має високі теплоізоляційні властивості та низьку



**Рис. 6. Вартість будівництва фасадних стін різними будівельними матеріалами**

*Джерело: розроблено авторами*

вартість, що робить будівельний матеріал конкурентоспроможним і має можливість вийти на український і зарубіжний ринок.

Крім того, використання відходів виробництва мінеральної вати вирішить проблему їх утилізації та знизить антропогенний вплив на довкілля.

## Список літератури:

1. ДСТУ Б В.2.7-61: 2008. Цегла та камені керамічні рядові і лицьові. Технічні умови. [Чинний від 2010-01-01]. Вид. офіц. Київ : Мінрегіонбуд України, 2009. С. 23–30.
2. Мельников И.А. Всё о материалах для каменного дома. Красноярск : Изд-во Красноярского ун-та, 2014. 453 с.
3. Зарубина Л.П. Теплоизоляция зданий и сооружений. Материалы и технологии. Санкт-Петербург : БХВ-Петербург, 2012. 416 с.
4. Копаница Н.О., Кудяков А.И., Ковалева М.А. Теплоизоляционные торфодревесные строительные материалы: монография. Томск : Изд-во Том. гос. архит.-строит. ун-та, 2009. 184 с.
5. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича: пат. РФ № 2388723; заявл. 16.12.2008; опубл. 10.05.2010.
6. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича: пат. РФ № 2466112; заявл. 14.04.2011; опубл. 10.11.2012.
7. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича: пат. РФ № 2389707; заявл. 16.12.2008; опубл. 20.05.2010.
8. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича: пат. РФ № 2388721; заявл. 18.11.2008; опубл. 10.05.2010.
9. Керамическая масса для изготовления керамического кирпича: пат. РФ № 2440317; заявл. 05.07.2010; опубл. 20.01.2012.
10. 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. (не опубліковано).

## References:

1. DSTU B V.2.7-61 (2009). Tsehla ta kameni keramichni ryadovi i lyts'ovi. Tekhnichniumovy. [Chynnyy vid 2010-01-01]. [DSTU B V.2.7-61: 2008. Brick and stones ceramic row and front. Specifications [Effective from 01/01/2010]. *Minregionstroy of Ukraine*, pp. 23–30.
2. Melnikov I.A. (2014). Vso o materialakh dlya kamennogo doma [All about materials for a stone house]. Krasnoyarsk : Krasnoyarsk Unt. (in Russian)
3. Zarubina L.P. (2012). Teploizolyatsiya zdaniy i sooruzheniy. Materialy i tekhnologii [Thermal insulation of buildings and structures. Materials and technology]. St. Petersburg : BHV-Petersburg. (in Russian)
4. Kopanitsa N.O., Kudyakov A.I., Kovaleva M.A. (2009). Teploizolyatsionnyye torfodrevesnyye stroitelnyye materialy : monografiya [Thermal insulation peat-wood construction materials: a monograph]. Tomsk : Tom. Archit.-build. University. (in Russian)
5. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks]. Pat. Of the Russian Federation № 2388723; declare 16.12.2008; publ. 10.05.2010.
6. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks] Pat. Of the Russian Federation № 2466112; declare 04/14/2011; publ. 10.11.2012.
7. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks] Pat. Of the Russian Federation № 2389707; declare 16.12.2008; publ. 20.05.2010.
8. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks] Pat. Of the Russian Federation No. 2388721; declare 11/18/2008; publ. 05.10.2010.
9. Keramicheskaya massa dlya izgotovleniya keramicheskogo kirpicha [Ceramic mass for the manufacture of ceramic bricks] Pat. Of the Russian Federation No. 2440317; declare July 5, 2010; publ. 01.20.2012.
10. Ukrainian Scientific Research and Design Institute of Building Materials (2015). *Protokol vyprobuvan na teploprovidnist kameniv keramichnykh ryadovykh krupnoformatnykh No. 15/53*. [Protocol of tests on heat conductivity of ceramic rows of large-format ceramics No. 15/53]. (unpublished).