

УДК 536.2.022

doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15

## КОМПОЗИЦІЙНА ВИСОКОПОРИСТА ТЕПЛОВА ІЗОЛЯЦІЯ З ЕФЕКТИВНИМИ ПАРАМЕТРАМИ ПОРИСТОСТІ

А. М. ПАВЛЕНКО<sup>1</sup>, А. О. ЧЕЙЛИТКО<sup>2\*</sup>, М. А. НОСОВ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Кафедра фізики будівель та відновлювальної енергії, Келецький технологічний університет, Кельце, ПОЛЬЩА

<sup>2</sup> Кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія, Запоріжжя, УКРАЇНА

\*email: cheilytko@i.ua

**АНОТАЦІЯ.** Виконано емпіричні дослідження композиційного матеріалу, складовими частинами якого є вогнетривка вата вкрита тонким шаром алюмінію та алюмінієва фольга. Для покращення теплофізичних властивостей композиційного матеріалу в ваті були зроблені комірки параболоїдної форми після чого на деформовану поверхню нанесено тонкий шар алюмінію. Загальна ширина експериментальних зразків складала 5 мм. За допомогою методу планування експерименту знайдено оптимальні геометричні розміри комірок, при яких досягається коефіцієнт теплопровідності 0,226 Вт/(м·К).

**Ключові слова:** композиційний матеріал; вогнетривка вата; алюміній; комірка; коефіцієнт теплопровідності.

## COMPOSITIONAL HIGHLY POROUS THERMAL INSULATION WITH EFFECTIVE POROSITY PARAMETERS

A. PAVLENKO<sup>1</sup>, A. CHEILYTKO<sup>2\*</sup>, M. NOSOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Department of building physics and renewable energy, Kielce University of Technology, Kielce, POLAND

<sup>2</sup> Department of Heat and power engineering, Zaporizhzhya State Engineering Academy, Zaporizhzhya, UKRAINE

**ABSTRACT** In this work, thermal insulation material which consists of the fireproof wool covered by a thin aluminum layer and the aluminum foil was investigated. The objective was to determine effective porosity parameters for composite heat insulation by which a minimum thermal conductivity will be obtained. According to the objective, following tasks were formulated: make the empirical research with different porosity parameters; find regression equation of dependence of the material thermal conductivity on the geometric dimensions; analyze and verify the importance of factors; obtain the optimal porosity parameters for composite heat insulation material. To improve the thermal properties of the composite material, in the wool were made cells with paraboloid shape and then surface was covered by thin layer of aluminum. Cells were made by pressing method. The total width of the experimental samples was 5 mm. The depth of the cell was 4 mm, thickness of the aluminum foil was 0,2 mm. The thermal conductivity of the material was measured using a thermal conductivity meter IT-λ-400. The optimal geometric values of the cell in composite material were obtained by the regulatory simplex algorithm (cell length 7,6074 mm, cell thickness 12,534 mm). At the optimal geometric values, the following thermal conductivity coefficient was achieved – 0,226 W/(m·K). Set tasks were completed in full. The obtained results can be introduced into existing production technologies of composite sandwich panels, for example in the sandwich panels by Rockwool company. Also it can be serve as a basis for the development of more modern materials. Composite materials with such cell structure will be more effective in comparison with usual non cell materials.

**Keywords:** composite material; fireproof wool; aluminum; cell; thermal conductivity.

### Вступ

Теплова ізоляція є невід'ємною частиною великої кількості галузей. Композиційна теплова ізоляція, на відміну від металеві та неметалевої, є більш універсальною. Вона може бути використана: в якості теплоізоляційних плит для фасадів споруд, що надасть можливість уникнути ряду оздоблювальних робіт та подовжити термін її використання; в авіа-, судно- та ракетобудуванні як частина корпусу, що дозволить зменшити теплові втрати, досягти більшої монолітності корпусу та зменшити сумарну вагу за рахунок вдосконалення каркасної структури; в якості теплових екранів для високотемпературних процесів і т.д. Створення високопористих композиційних теплоізоляційних матеріалів є актуальною сучасною задачею енергозбереження. Встановлення ефективних параметрів пористості надасть новий поштовх для

розвитку таких матеріалів та дозволить в більшій мірі використовувати їх потенціал.

### Мета та завдання

Виконані дослідження ставили за мету визначити ефективні параметри пористості для розглянутої композиційної теплової ізоляції, при яких можна отримати мінімальну теплопровідність.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

- провести емпіричні дослідження з різними параметрами пористості;
- знайти регресійне рівняння залежності коефіцієнта теплопровідності матеріалу від геометричних розмірів;
- проаналізувати та перевірити коефіцієнти на значимість;

- отримати оптимальні геометричні значення комірки для композиційного матеріалу.

### Огляд літератури

Композиційні матеріали на основі вогнетривкої вати та металевих листів вже давно зайняли свою нішу на світовому ринку теплоізоляційних матеріалів. Дедалі більше компаній займається виготовленням композиційних сандвіч панелей на основі вати та ще більша кількість їх використанням в різноманітних галузях.

Всесвітньо відома компанія Rockwool займається виготовленням композиційних сандвіч панелей з різноманітними конфігураціями. Такі панелі складаються з алюмінієвих або сталевих листів котрі за допомогою спеціального клею приєднуються до вогнетривкої вати. Дана продукція позиціонується компанією як матеріал для використання в комерційному та промисловому будівництві, а саме для зовнішніх стін, дахів та стельових панелей [1]. Такий матеріал володіє не тільки чудовими теплоізоляційними характеристиками, а й звукопоглинаючою властивістю та вогнетривкістю. Яскравим прикладом використання панелей є міський стадіон у місті Кардіфф.

В [2] досліджено структурні характеристики композитних панелей в основі яких лежить бетон з гумовою крихтою. Експериментально доведено, що міцність зразку з бетону та гумової крихти більше за чистий бетон. Детально розглянуто технологію виробництва такого матеріалу. Але не нема жодних теплофізичних характеристик отриманого композиту.

В [3] детально розглянуто полімерні матричні композити. Надано аналіз технологій їх виробництва, різновидів, способів використання та шляхи їх розвитку. Представлено теплофізичні характеристики таких матеріалів. Однак не надано інформації щодо впливу параметрів пористості на коефіцієнт теплопровідності.

В [4] розглянуто такі композитні теплоізоляційні матеріали як алюмосилікатне волокно з вкрапленнями волокон  $K_2Ti_6O_{13}$  та аерогель  $SiO_2$  з вкрапленнями титанових волокон. Представлені результати демонструють низький коефіцієнт теплопровідності при високих температурах. Однак технологія виробництва та сировина для таких матеріалів є вкрай затратними. Також не надано інформації щодо міцності таких матеріалів.

В [5] досліджено багат шарову композитну теплову ізоляцію для без вакуумної криогенної техніки. Розглянута ізоляція позиціонується як матеріал для використання на складних трубопроводах і резервуарах, де використання звичайних матеріалів не можливо. Складається з декількох функціональних шарів, система "ковдра" на основі аерогелю. Кожен шар складається з безпосередньо самої ізоляції на шару радіаційного бар'єру. Однак така ізоляція підходить для використання в діапазоні температур 4-400 К.

В [6] проведено дослідження екологічних сандвіч панелей з пробки, волокон льону та натуральної епоксидної смоли. В якості експериментальних зразків взято чотири системи з різноманітними комбінаціями шарів. Розглянуто теплофізичні властивості таких матеріалів. Однак не проаналізовано можливість використання шарів з комірками, що дозволило б ще більше зменшити вагу та поліпшити коефіцієнт теплопровідності.

В [7] наведена класифікація пористих теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто різноманітні способи дослідження цих матеріалів та вплив пористості на теплопровідність. Однак не було приділено належної уваги впливу параметрів пористості, а саме формі, розміру та способу розташування пор.

В [8] проаналізовано ефективність декількох типів композитної ізоляції для зовнішніх стін. Запропоновано використовувати цеглу у поєднанні з матеріалами котрі володіють високою відбивною здатністю. Наведено позитивні та негативні риси для обох випадків. В роботі були використані вже існуючі матеріали зі стандартними конфігураціями та не було проаналізовано можливість покращення запропонованої ізоляції шляхом варіювання параметрами пористості.

В [9] пропонується поєднання гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа по схемі зображеної на рисунку 1. Металевий лист 1 товщиною 0,127 мм припаюється до металеві поверхні кераміки 2. Поєднання високої жароміцності сталі і здатності ізоляційних властивостей кераміки забезпечують міцну і водовідштовхувальну систему теплового захисту, яку можна використовувати в суворих погодних і експлуатаційних умовах. Припій виконується з мідного або срібного сплаву, який має титан у якості агента, що змочує. В патенті US5000986 також описано спосіб приєднання жорсткої кераміки і металів один до одного шляхом утворення металізованих покриттів на кераміці при високих температурах.

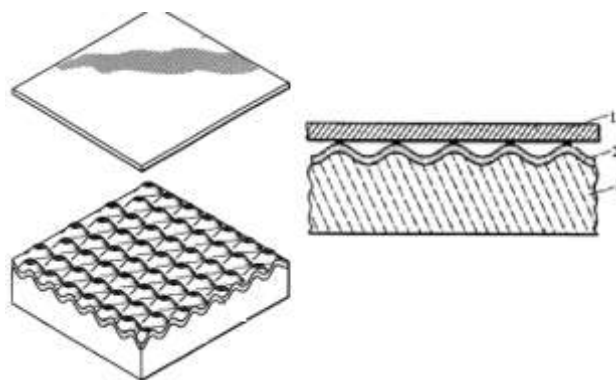


Рис. 1 – Композиційний теплоізоляційний матеріал з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа: 1 – металевий лист; 2 – металеве покриття; 3 – керамічна теплоізоляція

В [10, 11] досліджено вплив параметрів пористості на теплофізичні характеристики як металевих так і не металевих теплоізоляційних матеріалів. Розглянуто випадки з різною формою і способами розташування пор.

**Основна частина**

Для знаходження оптимальних параметрів розмірів комірки було використано метод планування експерименту [12]. Для розробки тестових зразків було обрано алюмінієву фольгу товщиною 0,2 мм, яка клеїлася на вогнетривку вату вкриту тонким шаром алюмінію. Загальна ширина отриманих зразків композиційного матеріалу складала 5 мм. Комірочки робилися пресуванням (стисканням) вогнетривкої вати до вкривання її шаром алюмінію. Розміри комірки робилися згідно умов проведення експерименту по таблиці 1. Шириною комірки вважається розмір комірки перпендикулярний площини гравітаційних сил, а довжиною комірки вважається розмір комірки який знаходиться в одній площині з гравітаційними силами. Глибина комірки робилася 4 мм. Форма комірки у вигляді параболоїду.

Таблиця 1 – Умови проведення експерименту по вдосконаленню матеріалу з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа

Фактор	Код	Рівні факторів					
		-1,414	-1	0	1	1,414	Δ
Довжина комірки, мм	X <sub>1</sub>	1,172	2	4	6	6,828	2
Ширина комірки, мм	X <sub>2</sub>	10,172	10	12	14	14,828	2

Методом планування експерименту знайдено регресійне рівняння залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від геометричних розмірів комірки. Теплопровідність матеріалу вимірювалася за допомогою вимірювача теплопровідності IT-λ-400. Результати по визначенню залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від розмірів комірок внесено в таблицю 2.

Після обробки отриманих експериментальних даних та перевірки коефіцієнтів на значимість по t-критерію Стьюдента було отримано наступне рівняння регресії

$$Y = 0,269 - 0,011X_1^2 - 0,018X_2 + 0,015X_2^2 - 0,00725X_1X_2.$$

Аналіз даного рівняння регресії показує що ширина комірки сильніше впливає на зміну коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу з гнучкої керамічної тканини і тонкого металевого листа. Обрані чинники не лінійно та неоднозначно впливають на вихідний параметр.

Таблиця 2 – Результати проведення експерименту по визначенню залежності коефіцієнта теплопровідності композиційного матеріалу від розмірів комірок

№	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	Y
1	1	1	0,252
2	-1	1	0,276
3	1	-1	0,296
4	-1	-1	0,291
5	-1,414	0	0,249
6	1,414	0	0,235
7	0	-1,414	0,324
8	0	1,414	0,264
9	0	0	0,270
10	0	0	0,268

Для отримання оптимальних розмірів складемо цільову функцію

$$Y(X_1, X_2) = 0,269 - 0,011X_1^2 - 0,018X_2 + 0,015X_2^2 - 0,00725X_1X_2 \rightarrow \min.$$

Знайдемо для даної цільової функції приватні похідні

$$\begin{cases} \frac{\partial Y(X_1, X_2)}{\partial X_1} = -0,022X_1 - 0,00725X_2; \\ \frac{\partial Y(X_1, X_2)}{\partial X_2} = -0,018 + 0,03X_2 - 0,00725X_1. \end{cases}$$

Прирівнявши дану систему до нуля отримаємо наступну систему рівнянь

$$\begin{cases} -0,022X_1 - 0,00725X_2 = 0; \\ 0,03X_2 - 0,00725X_1 - 0,018 = 0. \end{cases}$$

Рішення даної системи дає наступний результат

$$\begin{cases} X_1 = -0,183; \\ X_2 = 0,556. \end{cases}$$

Таким чином екстремумом цільової функції є точка з координатами x\*=[-0,183; 0,556]<sup>T</sup>. Значення цільової функції у цих координатах 0,264.

Для визначення характеру стаціонарної точки складемо визначник матриці Гессе. Під визначником Гессе розуміється визначник, складений із других похідних вихідної цільової функції

$$\nabla^2 f(X) = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 f}{\partial X_1^2} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_1 X_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_1 X_n} \\ \frac{\partial^2 f}{\partial X_2 X_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_2 X_n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial^2 f}{\partial X_n X_1} & \frac{\partial^2 f}{\partial X_n X_2} & \dots & \frac{\partial^2 f}{\partial X_n^2} \end{bmatrix}$$

Другі приватні похідні цільової функції

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_1^2} = -0,022; \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial X_1 X_2} = -0,00725;$$

$$\frac{\partial^2 Y}{\partial X_2 X_1} = -0,00725; \quad \frac{\partial^2 Y}{\partial X_2^2} = 0,03.$$

Матриця Гессе

$$\nabla^2 Y(X) = \begin{bmatrix} -0,022 & -0,00725 \\ -0,00725 & 0,03 \end{bmatrix} =$$

$$= -0,00791.$$

Так як гессіан має значення менше за нуль, але не виконуються умови Сильвестра (усі діагональні елементи матриці Гессе - позитивні величини, всі провідні головні визначники позитивні величини) то знайдена точка є стаціонарною й не являється точкою ні мінімуму, ні максимуму.

Для отримання мінімальних значень цільової функції використаємо метод регуляторного симплексу. Так як цільова функція лежить у двомірному просторі, то у якості регуляторного симплексу буде трикутник.

Оберемо за початкову точку  $x_0 = [-1; +1]$  та масштабний множник  $\alpha = 1$ ;

Ребра регуляторного симплексу складуть:

$$\delta_1 = \left[ \frac{\sqrt{N+1} + N - 1}{N \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot \alpha = \left[ \frac{\sqrt{3} + 1}{2\sqrt{2}} \right] \cdot 1 = 0,9659;$$

$$\delta_2 = \left[ \frac{\sqrt{N+1} - 1}{N \cdot \sqrt{2}} \right] \cdot \alpha = \left[ \frac{\sqrt{3} - 1}{2\sqrt{2}} \right] \cdot 1 = 0,2588.$$

Координати інших двох вершин:

$$x^{(1)} = [-0,0341; 1,2588]; \quad x^{(2)} =$$

$$= [-0,7412; 1,9659].$$

Після знаходження значень функцій та відображаючи вершину з максимальним значенням функції через центр тяжіння симплексу, використовуючи правила симплекс-методу, на дев'ятій ітерації знайдено вершину з мінімальним значенням функції. Досягнута точність

$$\varepsilon = |f(x^{(8)}) - f(x^{(7)})| = 0,0045.$$

Мінімальна функція  $f(x^{(7)}) = 0,226$  досягається у вершині з наступними координатами  $x^{(7)} = [1,8037; 0,267]$ .

### Результати досліджень

Методом регуляторного симплексу отримано оптимальні геометричні значення комірки композиційного матеріалу, які становлять наступні значення у кодованому вигляді  $X_1 = 1,8037$  та  $X_2 = 0,267$ . У розкданому значенні, оптимальні геометричні розміри комірки становлять: довжина

комірки 7,6074 мм; товщина комірки 12,534 мм. Теплопровідність матеріалу при таких геометричних параметрах комірок складає 0,226 Вт/(м·К).

### Висновки

В роботі проведено емпіричні дослідження композиційної теплової ізоляції з різними параметрами пористості. Складено рівняння регресії та виявлено найсуттєвіші фактори впливу. Знайдено ефективні параметри пористості (довжина комірки 7,6074 мм; товщина комірки 12,534 мм) при яких досягається коефіцієнт теплопровідності 0,226 Вт/(м·К). Таким чином поставлені задачі виконані в повній мірі. Отримані результати можуть бути впроваджені у вже існуючі технології виробництва композиційних сандвіч панелей або слугувати базисом для розробки більш сучасних матеріалів.

### Список літератури

1. Sandwich panels. General Product Information. / ROCKWOOL Asia – 2013. – 2 p. Режим доступу: <http://www.rockwoolasia.com/products+and+solutions/u/2011.construction/9890/External+walls/Sandwich+panels>
2. **Ma, X.** Structural performance of composite panels filled with light-weight crumb rubber concrete / **X. Ma, J.E. Mills** // *23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials*. Byron Bay, Australia, – 2014. – P. 669-674.
3. **Wang, R.** Polymer Matrix Composites and Technology / **R. Wang, S. Zheng, Y. George Zheng** // *A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering*. – 2011. – 549 p. ISBN: 978-0-85709-221-2
4. **YanJun, Yu.** The research and development of heat insulation materials with low thermal-conductivity in high temperature. / **Yu YanJun** // *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*. – 2015. – P. 868-871.
5. **Fesmire, J. E.** Layered composite thermal insulation system for nonvacuum cryogenic applications / **J.E. Fesmire** // *2015 Space Cryogenics Workshop*. – 2015. – Vol. 74. – P. 154-165. doi: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.008.
6. **La Rosa, A. D.** Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications / **A. D. La Rosa, A. Recca, A. Gagliano, J. Summerscales, A. Latteri, G. Cozzo, G. Cicala** // *Construction and Building Materials*. – 2014. – Vol. 55. – P. 406-414.
7. **Volkovich, Y.** Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology / **Y. Volkovich, A. Filippov, V. Bagotsky** // *Springer-Verlag London*. – 2014. – 328 p. doi 10.1007/978-1-4471-6377-0.
8. **Mei Liu, H.** Research Progress of Composite Thermal Insulation Wall in Hot Summer and Cold Winter Zone of China / **H. Mei Liu, Ch. Qun Wu, Y. Bin Xu, A. Dong Zhu** // *Advanced Materials Research*. – 2014. – Vols 919-921. – P. 1725-1729. doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.919-921.1725
9. **Rasky, D. J.** Flexible ceramic-metal insulation composite and method of making. / **D. J. Rasky, P. M. Sawko, P. Kolodziej, D. A. Kourtides** // Patent US5744252. – 28.04.1998.

10. **Павленко, А.М.** Влияние расположения пор на электронную теплопроводность пористого металлического материала / **А.М. Павленко, А.В. Кошлак, А.А. Чейлытко, М.А. Носов** // *Технічна теплофізика та промислова теплоенергетика: збірник наукових праць*. – 2015. – № 7. – С. 142 – 149.
11. **Чейлытко, А.А.** Особенности влияния пористости на теплопроводность глиноземистых материалов / **А.А. Чейлытко** // *Дніпропетровськ: Середняк Т.К.* – 2015. – 76 с. ISBN 978–617–7257–62–1
12. **Хартман, К.** Планирование эксперимента в исследовании технологических процессов / **К. Хартман, Э. Лецкий, В. Шефер** // М. : Мир. – 1977. – 552 с.
5. **Fesmire, J. E.** Layered composite thermal insulation system for nonvacuum cryogenic applications. 2015 Space Cryogenics Workshop, 2015, **74**, 154-165. doi: 10.1016/j.cryogenics.2015.10.008.
6. **La Rosa, A. D., Recca, A., Gagliano, A., Summerscales, J., Latteri, A., Cozzo, G., Cicala, G.** Environmental impacts and thermal insulation performance of innovative composite solutions for building applications. *Construction and Building Materials*, 2014, **55**, 406-414.
7. **Volfkovich, Y., Filippov, A., Bagotsky, V.** Structural properties of porous materials and powders used in different fields of science and technology. *Springer-Verlag London*, 2014, 328 p. doi: 10.1007/978-1-4471-6377-0.
8. **Mei Liu, H., Qun Wu, Ch., Bin Xu, Y., Dong Zhu, A.** Research Progress of Composite Thermal Insulation Wall in Hot Summer and Cold Winter Zone of China. *Advanced Materials Research*, 2014, **919-921**, 1725-1729, doi: 10.4028/www.scientific.net/AMR.919-921.1725.
9. **Rasky, D. J., Sawko, P. M., Kolodziej, P., Kourtides, D. A.** Flexible ceramic-metal insulation composite and method of making. Patent US5744252, 28.04.1998.
10. **Pavlenko, A. M., Koshlak, A. V., Chejlytko, A. A., Nosov, M.A.** Vlijanie raspolozhenija por na jelektronnuju teploprovodnost' poristogo metallicheskogo materiala. *Tehnichna teplofizika ta promislova teploenergetika: zbirnik naukovih prac'*, 2015, **7**, 142 – 149.
11. **Chejlytko, A. A.** Osobennosti vlijaniya poristosti na teploprovodnost' glinozemistyh materialov. *Dnipropetrovs'k: Serednjak T.K.*, 2015, 76 s. ISBN 978–617–7257–62–1
12. **Hartman, K., Leckij, Je, Shefer, V.** Planirovanie jeksperimenta v issledovanii tehnologicheskikh processov Moskow: Mir, 1977, 552 p.

## Bibliography (transliterated)

1. Sandwich panels. General Product Information. ROCKWOOL Asia, 2013, 2p. Available at: <http://www.rockwoolasia.com/products+and+solutions/u/2011.construction/9890/External+walls/Sandwich+panels>
2. **Ma, X., Mills, J.E.** Structural performance of composite panels filled with light-weight crumb rubber concrete. 23rd Australasian Conference on the Mechanics of Structures and Materials. Byron Bay, Australia, 2014, 669-674.
3. **Wang, R., Zheng, S., George Zheng Y.** Polymer Matrix Composites and Technology. A volume in Woodhead Publishing Series in Composites Science and Engineering, 2011, 549 p. ISBN: 978-0-85709-221-2
4. **Yanjun, Yu.** The research and development of heat insulation materials with low thermal-conductivity in high temperature. *International Conference on Materials, Environmental and Biological Engineering*. 2015, 868-871.

## Відомості про авторів

**Павленко Анатолій Михайлович** – доктор технічних наук, професор, кафедра фізики будівель та відновлювальної енергії, Кельцький технологічний університет; м. Кельце, Польща; e-mail: [prof.pavlenko@gmail.com](mailto:prof.pavlenko@gmail.com)

**Anatoliy Pavlenko** – doctor of Technical Sciences, professor, Department of Building Physics and Renewable Energy, Kielce University of Technology; Kielce, Poland; e-mail: [prof.pavlenko@gmail.com](mailto:prof.pavlenko@gmail.com)

**Чейлытко Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія; м. Запоріжжя, Україна; email: [cheilytko@i.ua](mailto:cheilytko@i.ua)

**Andrii Cheilytko** – candidate of technical sciences, associate professor, doctoral candidate, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine; email: [cheilytko@i.ua](mailto:cheilytko@i.ua)

**Носов Максим Андрійович** – аспірант, кафедра теплоенергетики, Запорізька державна інженерна академія; м. Запоріжжя, Україна; email: [nosovmak@gmail.com](mailto:nosovmak@gmail.com)

**Maksym Nosov** – phd student, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine; email: [nosovmak@gmail.com](mailto:nosovmak@gmail.com)

*Будь ласка посилайтеся на цю статтю таким чином:*

**Павленко, А. М.** Композиційна високопориста теплова ізоляція з ефективними параметрами пористості / **О.М.Павленко, А. О. Чейлітко, М. А. Носов** // *Вісник НТУ «ХПІ»*, Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 92-96. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

*Please cite this article as:*

**Pavlenko, A., Cheilytko, A., Nosov, M.** Compositional highly porous thermal insulation with effective porosity parameters. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2016, **42** (1214), 92–96, doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

*Пожалуйста ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Павленко, А. М.** Композиційна високопориста теплова ізоляція з ефективними параметрами пористості / **А. М. Павленко, А. О. Чейлітко, М. А. Носов** // *Вестник НТУ «ХПИ»*, Серія: Новые решения в современных технологиях. – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2016. – № 42 (1214). – С. 92-96. – doi:10.20998/2413-4295.2016.42.15.

**АННОТАЦІЯ** Выполнены эмпирические исследования композиционного материала, составными частями которого являются огнеупорная вата покрытая тонким слоем алюминия и алюминиевая фольга. Для улучшения теплофизических свойств композиционного материала в вате были сделаны ячейки параболической формы после чего на деформированную поверхность нанесено тонкий слой алюминия. Конечная толщина экспериментальных образцов составили 5мм. С помощью метода планирования эксперимента найдены оптимальные геометрические размеры ячеек, при которых достигается коэффициент теплопроводности 0,226 Вт/(м·К).

**Ключевые слова:** композиционный материал; огнеупорная вата; алюминий; ячейка; коэффициент теплопроводности.

*Надійшла (received) 15.12.2016*