

## СТВОРЕННЯ ВИСОКОПОРИСТОГО ВОГНЕТРИВКОГО ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНОГО МАТЕРІАЛУ

А. М. ПАВЛЕНКО<sup>1</sup>, І. Г. ЯКОВЛЄВА<sup>2\*</sup>, А. О. ЧЕЙЛИТКО<sup>2\*</sup>, Р. Р. МАТКАЗИНА<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** У статті розглядається створення високопористого вогнетривкого теплоізоляційного матеріалу шлікерним методом. Створено вогнетривку пористілу високопористу цеглу та цеглу з закритими порами розмірами 4x15x15мм з більш високими експлуатаційними характеристиками ніж звичайні вогнетриви. Дослідження, проведені авторами, також підтверджують можливість створення якісного пористого вогнетриву генезисом деструкції, що дасть можливість отримати мінімальну можливу теплопровідність для вогнетривів в межах 0,047Вт/(м·К).

**Ключові слова:** теплоізоляційний матеріал; вогнетрив; шлікерний метод; коефіцієнт теплопровідності

## CREATION HIGHLY POROUS REFRACTORY INSULATION MATERIAL

A. PAVLENKO<sup>1</sup>, I. YAKOVLEVA<sup>2\*</sup>, A. CHEILYTKO<sup>2\*</sup>, R. MATKAZINA<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** The development of new refractories with improved characteristics is an important task of energy. The purpose of the study is to determine effective parameters for the porosity of refractory in which it is possible to obtain a minimum conductivity. Elected of technology and its heat treatment for quality refractory bricks. The article discusses the improvement of the thermophysical properties of refractories due to the structuring of large pores (voids). Created of highly refractory bricks and hollow bricks with closed pore size 4x15x15 with higher performance characteristics than conventional refractories. Shows the layout of holes (voids) in the bricks which help to reduce weight and lower thermal conductivity characteristics. Research conducted by the authors also support the ability to create high-quality porous refractory genesis of destruction that will result in minimum possible thermal conductivity for refractories within the 0,047 Wt / (m · K). The thermal conductivity of the obtained bricks below the thermal conductivity of the same brick without holes. The resistance has not changed and remained high. The compressive strength is 15% below the compressive strength of the bricks without holes.

**Keywords:** insulation material; refractory; Schlicker method; the coefficient of thermal conductivity

### Вступ

У теплоенергетиці, чорної і кольорової металургії, будівельній промисловості з'явилася необхідність заміни стандартних футеровок, вогнетривів, тепло- і вогнезахисних матеріалів, які використовуються в даний час, на аналоги з більш високими експлуатаційними характеристиками [1,2]. Такими аналогами є високопористі теплоізоляційні матеріали [3].

Поширеними теплоізоляційними матеріалами на основі глинозему є вогнетриви. В Україні виробництво вогнетривів зосереджено на 18 основних спеціалізованих підприємствах. Наукову базу і передові технології забезпечують такі організації, як НМетАУ, Національний хіміко-технологічний університет (м. Дніпропетровськ) та УкрНДІ вогнетривів ім. А.С. Бережного (м. Харків). Нажаль, з економічною кризою, виробництво на підприємствах України знизилось більше ніж у два рази тільки за рахунок витиснення вітчизняної продукції імпортою. Тому, розробка нових вогнетривів з покращеними

характеристиками є актуальним завданням енергетики.

### Мета та завдання

Виконані дослідження ставили за мету визначити ефективні параметри пористості для вогнетривів при яких можна отримати мінімальну теплопровідність.

Для досягнення поставленої мети було сформульовано наступні завдання:

- обрати сировинну для виготовлення вогнетривів;
- обрати параметри термічної обробки матеріалу;
- визначити теплофізичні характеристики отриманого вогнетриву з запропонованою структурою;
- визначити можливість створення вогнетривів з закритими порами необхідного розміру генезисом деструкції.

**Огляд літератури**

Важливість та широкий спектр областей, що використовують вогнетриви описано в статті [4]. Питання зменшення теплопровідності за рахунок збільшення пористості, методом GS (гелеутворення суспензії), був застосований для отримання глинозему вогнетривкої цегли в статті [5]. Недоліком даного методу є неможливість регулювання пористої структури вогнетриву. А розміри пор, структура пор і розміри зерна мають вплив на теплопровідність [6]. Тому, за аналізом [7] було обрано схему розташування отворів (пустот) у вогнетриву розмірами 4x15 мм.

Температура обпалу обиралася 1250 °С, так як при даній температурі збільшується кількість муліту та відбувається вдосконалення його кристалічної решітки [8].

У статті [9] розглядається створення вогнетривів з суміші глин та вторинної сировини відходів переробки паперу і тирси. Дані дослідження підтверджують можливість створення якісного пористого вогнетриву генезисом деструкції.

Використання вторинної сировини (мармуру, цеглин та ін.) у якості добавки розглядається в [10]. Авторами досягається раціональна структура вогнетриву для максимальної міцності, але на жаль теплопровідність отриманих вогнетривів не розглядається.

Мікроструктура вогнетриву не дуже впливає на теплопровідність цеглини [11], тому розглянемо покращення теплофізичних властивостей вогнетривів за рахунок структурування крупних пор (пустот).

**Основна частина**

За сировинну основу обрано матеріал, який являє собою монолітну аморфну масу, виготовлену шляхом низькотемпературної обробки вихідної суміші гірських порід, із значним вмістом аморфного кремнезему (трепел, опока і ін.), бікарбонату натрію, глини в суміші з водним розчином каустичної соди. Даний матеріал дуже схожий на Сіоліт. Показники якості сировини наведені у таблиці 1.

Як видно з таблиці 1 вміст оксиду заліза не перевищує 5%. Цього вдалося досягнути підбираючи гірські породи різних родовищ.

Сутність створення вогнетривкої цегли шлікерним методом полягає в тому, що компоненти керамічної маси попередньо тонко подрібнюються

Таблиця 1 – Показники якості сировини

Показник	Величина показника
Відносна вологість, %, не більше	46
Середня густина, кг/м <sup>3</sup> , не менше	1450
Вміст діоксиду кремнію, %	52
Вміст оксиду алюмінію, %	8
Вміст оксиду заліза, %, не більше	5
Вміст оксиду кальцію, %, не більше	10

мокрим помелом у кульових млинах, а потім отриманий шлікер зневоднюється на фільтрпресах, в сушильних барабанах і розпилювальних сушарках до необхідної вологості. Цей спосіб застосовується, коли вироби виготовляються з багатокомпонентної маси, що складається з неоднорідних і важкоспекаючихся глин і додаткових матеріалів, або при підготовці маси для виготовлення керамічних виробів складної форми способом лиття, та при видобутку глини за допомогою гідромоніторів і в ряді інших випадків.

Глина, віддозована скриньовим подавлювачем, надходить на дезінтеграторні вальці або стругач, на яких подрібнюється до шматків розміром 30-40 мм. При необхідності вона додатково подрібнюється на валковій дробарці. Сировинні матеріали очищуються від залістистих включень підвісними магнітами типу ММ-3 та ЕМІ-442, що розташовуються над конвеєрами. Глина, каоліни, плавні надходять в проміжні бункера і зберігаються окремо, дозуються з них за допомогою автоматизованих ваг типу ДСТ-70, 10-ДА, автоматизованої установки БВ-198. Таке автоматичне дозування забезпечує постійний склад маси і високу якість одержуваних виробів. Компоненти керамічної маси окремо або спільно тонко подрібнюються в кульових млинах мокрого помелу періодичної дії.

Наступна операція - випал. Максимальна температура випалу і час витримки визначаються досягненням необхідного рівня спікання і завершеністю протікання фізико-хімічних процесів між компонентами вихідних матеріалів.

Схема розташування отворів у пластині зображена на рисунку 1. Відстань між отворами обиралася таким чином, щоб найкоротша відстань між порами була направлена вздовж найменшого розміру пори, тобто щоб не утворювати конвективні токи у порі [7]. Макропористість такої цеглини складає 15,4%.

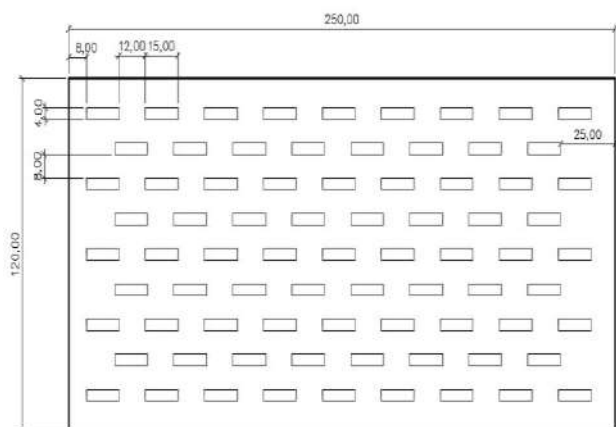


Рис. 1 – Схема розташування отворів у пластині

Шлікер створювався з сировини з показниками якості по таблиці 1. Для мінімізації усадки додавався шамот у кількості 30%. Для виготовлення зразка вогнетривкої цеглини, шлікер заливається у гіпсову форму. Фотографія гіпсової форми наведено на рисунку 2. Глибина форми 90 мм. Форма - малі стрижні 4x15 мм, які розташовані по її об'єму. Після розлиття шлікеру, форма нагрівалася у печі 15 хвилин при температурі 272 °С. Після нагріву цеглу діставали з форми та охолоджували до кімнатної температури, знову поміщали у піч та витримували 1,5 години при температурі 1200 °С.

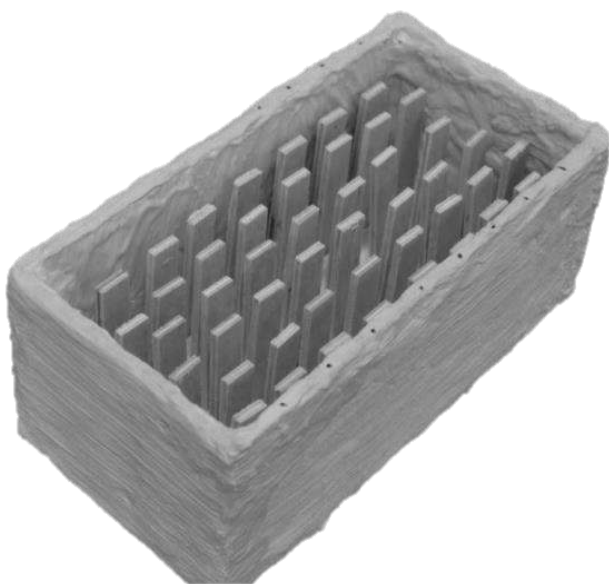


Рис. 2 – Фотографія експериментальної форми для розливки шлікеру

Охолодження експериментального зразка вогнетриву проходило без протікання фізико-хімічних процесів. Зниження температури

супроводжувалось твердінням рідкої фази й термічним стисненням виробу.

Недоліком цього способу є неможливість створення оптимальної структури цегли (закритої пористості з розмірами пор 4x15x15 мм).

### Результати досліджень

Властивості отриманої цегли наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Властивості отриманої цегли з глинозему

Показник	Величина показника
Вогнетривкість	1750 °С
Пористість (та що здається)	35,5%
Пористість (істинна)	37,1%
Термостійкість (кількість циклів до появи тріщин)	6
Міцність на стискання	7,3 МН/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт теплопровідності	0,047 Вт/(м·К)

Теплопровідність отриманої цегли нижче за теплопровідність такої ж цеглини без отворів. Вогнетривкість не змінилася та залишилася високою. Міцність на стискання на 15% нижче за міцність на стискання такої цеглини без отворів.

Фотографію отриманої вогнетривкої цегли отриманої шлікерним литтям наведено на рисунку 3.

Також було створено цеглу з закритими порами розмірами 4x15x15 мм. Так як неможливо створити пори шляхом локального насичення вологою матеріалу, то для створення пустот було обрано генезис деструкції. Шлікер показниками якості сировини по таблиці 1 заливався у гіпсову форму шарами по 15 мм. У кожний шар поміщалися картоні заготовки радіусом 15 мм та товщиною 4 мм. Після розлиття шлікеру на глибину 89 мм форма нагрівалася у печі 15 хвилин при температурі 272 °С. Після нагріву цеглу діставали з форми та охолоджували до кімнатної температури, знову поміщали у піч та витримували 1,5 години при температурі 1200 °С. Властивості отриманої цегли з закритими порами розмірами 4x15x15 ± 0,8 мм відображено у таблиці 3.



Рис. 3 – Фотографія цегли отриманої шлікерним литтям

Таблиця 3 – Властивості отриманої цегли з закритими порами

Показник	Величина показника
Вогнетривкість	1750 °С
Пористість (та що здається)	34,1%
Пористість (істинна)	36,2%
Термостійкість (кількість циклів до появи тріщин)	7
Міцність на стискання	5,8 МН/м <sup>2</sup>
Коефіцієнт теплопровідності	0,044 Вт/(м•К)

Отримана цегла задовольняє своїми показниками по вогнетривкості та теплопровідності, але має низьку міцність на стискання.

### Висновки

Обрано сировинну для виготовлення високопористих вогнетривів та параметри двоступеневої термічної обробки цеглин. Технологічні параметри: попередня термообробка у печі проводиться на протязі 15 хвилин при температурі 272 °С; основна термообробка - на протязі 1,5 години при температурі 1200 °С.

Визначено теплофізичні характеристики отриманого вогнетриву з запропонованою структурою розміщення отворів. Міцність на стискання такої цегли 7,3 МН/м<sup>2</sup>, а коефіцієнт теплопровідності 0,047 Вт/(м•К).

Визначено можливість створення вогнетривів з закритими порами необхідного розміру генезисом деструкції. Міцність на стискання такої цегли 5,8 МН/м<sup>2</sup>, а коефіцієнт теплопровідності 0,044 Вт/(м•К).

### Список літератури

1. Дешко, В. І. Практичний посібник з енергозбереження для об'єктів промисловості, будівництва та житлово-комунального господарства [Practical manual for energy saving for industrial objects, constructing and house holding of Ukraine] / В. І. Дешко, А. В. Праховник, В. В. Прокопенко // Луганськ: Місячне сяйво. – 2009. – 696 с.
2. Ганжа, А. М. Обґрунтування варіантів реконструкції системи теплопостачання житлового масиву з використанням математичного моделювання теплових втрат при транспортуванні теплоносія / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко, В. М. Підкопай // Вісник національного технічного університету «ХП» Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – 2013. – № 13 (987). – с. 104-109
3. Pavlenko, A. The rate of formation pores in the material which swells / A. Pavlenko, A. Cheilytko // Energy, Energy saving and ration Nature Use. Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University. – 2014. p. 31 – 37.
4. Guler, U., Boltasseva, A., Shalaev, V. M. Refractoryplasmonics // Science. – 2014. – Т. 344. – №. 6181. – p. 263-264. doi: 10.1126/science.1252722
5. Shimizu, T. Thermal conductivity of high porosity alumina refractory bricks made by a slurry gelation and foaming method / T. Shimizu, K. Matsuura, H. Furue, K. Matsuzak // Journal of the European ceramic Society. – 2013. – Т. 33. – №. 15. – p. 3429-3435. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.07.001
6. Han, Y. Porous anorthite ceramics with ultra-low thermal conductivity / Y. Han, C. Li, C. Bian, S. Li, C.A. Wang // Journal of the European Ceramic Society. – 2013. – Т. 33. – №. 13. – С. 2573-2578. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.04.006
7. Cheilytko, A. Finding of the generalized equation of thermal conductivity for porous heat-insulating materials / A. Cheilytko // Technology audit and production reserves. – 2016. – Т. 5. – №. 1 (31). – p. 4-10.
8. Демидов, Р. В. Экспериментальное исследование процессов обжига и изоморфизм в керамических материалах / Р. В. Демидов, И. В. Ковков, Е. С. Абдрахимова, В. З. Абдрахимов // Башкирский химический журнал. – Уфа: 2006. – Том 13, №5. – с.30–31.
9. Sutcu, M. Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with sawdust addition / M. Sutcu, S. Akkurt, A. Bayram, U. Uluca // Ceramics International. – 2012. – Т. 38. – №. 2. – p. 1033-1041. doi: 10.1016/j.ceramint.2011.08.027
1. Krupa, V. S. Study on Strength & Durability of Concrete by Partial Replacement of Fine & Coarse Aggregates using Marble, Granite & Spent

- Fire Brick Waste / **V. S. Krupa, M. Ratnam, V. V. S. Sarma** // *IJSRSET*. – 2015. – Vol.1. – p. 135-139
10. **Li, C.** Mullite whisker reinforced porous anorthite ceramics with low thermal conductivity and high strength / **C. Li, C. Bian, Y. Han, C. A. Wang, L. An** // *Journal of the European Ceramic Society*. – 2016. – T. 36. – №. 3. – p. 761-765. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.10.002
- bricks made by a slurry gelation and foaming method // *Journal of the European ceramic Society*, 2013, T. **33**, №. 15, p. 3429-3435. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.07.001
6. **Han, Y., Li, C., Bian, C., Li, S., Wang, C. A.** Porous anorthite ceramics with ultra-low thermal conductivity // *Journal of the European Ceramic Society*, 2013, T. **33**, №. 13, C. 2573-2578. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2013.04.006
7. **Cheilytko, A.** Finding of the generalized equation of thermal conductivity for porous heat-insulating materials // *Technology audit and production reserves*, 2016, T. **5**, №. 1 (31), p. 4-10.
8. **Demydov, R. V., Kovkov, Y. V., Abdrakhymova, E. S., Abdrakhymov, V. Z.** Експериментальне дослідження процесів обжигу у зморфизм в керамічних матеріалах // *Bashkyskyy khymycheskyy zhurnal*, Ufa: 2006, Tom **13**, №5, p.30–31.
9. **Sutcu, M., Akkurt, S., Bayram, A., Uluca, U.** Production of anorthite refractory insulating firebrick from mixtures of clay and recycled paper waste with sawdust addition // *Ceramics International*, 2012, T. **38**, №. 2, p. 1033-1041. doi: 10.1016/j.ceramint.2011.08.027
11. **Krupa, V. S., Ratnam M., Sarma V. V. S.** Study on Strength & Durability of Concrete by Partial Replacement of Fine & Coarse Aggregates using Marble, Granite & Spent Fire Brick Waste // *IJSRSET*, 2015, Vol.1, p. 135-139
12. **Li, C., Bian, C., Han, Y., Wang, C. A., & An, L.** Mullite whisker reinforced porous anorthite ceramics with low thermal conductivity and high strength // *Journal of the European Ceramic Society*, 2016, T. **36**, №. 3, p. 761-765. doi: 10.1016/j.jeurceramsoc.2015.10.002
1. **Deshko, V. I., Prakhovnyk, A. V., Prokopenko, V. V.** Praktychnyi posibnyk z enerhozberezhennia dlia ob'ektiv promyslovosti, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy [Practical manual for energy saving for industrial objects, constructing and house holding of Ukraine] // Luhansk, Misiachne siaivo Publ, 2009, 696 p.
2. **Ganzha, A. M., Marchenko, N. A., Pidkopay, V. M.** Obgruntuvannya variantiv rekonstruktsiyi systemy teplopостachannya zhytlovoho masyvu z vykorystanniam matematychnoho modelyuvannya teplovykh vtrat pry transportuvanni teplonosiya // *Visnyk natsional'noho tekhnichnoho universytetu «KHPI» Enerhetychni ta teplotekhnichni protsesy u ustatkuvannya*, 2013 r, №13 (987), p. 104-109
3. **Pavlenko, A., Cheilytko, A.** The rate of formation pores in the material which swells // *Energy, Energy saving and ration Nature Use. Kazimierz Pulaski University of Technology and Humanities in Radom, Poltava National Technical Yuri Kondratyuk University*, 2014. p. 31 – 37.
4. **Guler, U., Boltasseva, A., Shalaev, V. M.** Refractory plasmonics // *Science*, 2014, T. **344**, №. 6181, p. 263-264. doi: 10.1126/science.1252722
5. **Shimizu T., Matsuura, K., Furue, H., Matsuzak K.** Thermal conductivity of high porosity alumina refractory

#### Bibliography (transliterated)

#### Відомості про авторів (About authors)

**Павленко Анатолій Михайлович** – доктор технічних наук, професор, кафедра фізики будівель та відновлювальної енергії, Келецький технологічний університет; м. Кельце, Польща; e-mail: 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.

**Яковлева Ірина Геннадіївна** – доктор технічних наук, професор, зав. кафедри теплоенергетики Запорізької державної інженерної академії; м. Запоріжжя, Україна.

**Irina Yakovleva** - doctor of Technical Sciences, professor, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine.

**Чейлітко Андрій Олександрович** – кандидат технічних наук, доцент, докторант кафедри теплоенергетики, Запорізької державної інженерної академії; м. Запоріжжя, Україна; email: 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.

**Матказіна Римма Рунатівна** – доцент кафедри теплоенергетики Запорізької державної інженерної академії; м. Запоріжжя, Україна.

**Rymma Matkazina** – associate professor, department of heat and power engineering, Zaporizhzhya state engineering academy; Zaporizhzhya, Ukraine.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

**Павленко, А. М.** Створення високопористого вогнетривкового теплоізоляційного матеріалу / **А. М. Павленко, І. Г. Яковлева, А. О. Чейлітко, Р. Р. Матказіна** // *Вісник НТУ «ХПІ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях*. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 91-96. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

Please cite this article as:

**Pavlenko, A., Yakovleva I., Cheilytko, A., Matkazina R.** Creation Highly Porous Refractory Insulation Material. *Bulletin of NTU KhPI. Series: New solutions in modern technologies*, Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **7** (1229), 91-96, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

*Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:*

**Павленко, А. М.** Композиционная высокопористая тепловая изоляция с эффективными параметрами пористости / **А. М. Павленко, И. Г. Яковлева, А. А. Чейлитко, Р. Р. Матказина** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 91-96. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.11.

**АННОТАЦИЯ** В статье рассматривается создание высокопористого огнеупорного теплоизоляционного материала шликерным методом. Создан огнеупорный пустотелый высокопористый кирпич и кирпич с закрытыми порами размерами 4x15x15 мм с более высокими эксплуатационными характеристиками чем обычные огнеупоры. Исследования, проведенные авторами, также подтверждают возможность создания качественного ячеистого огнеупора генезисом деструкции, что позволит получить минимально возможную теплопроводность для огнеупоров в пределах 0,047Вт / (м · К).

**Ключевые слова:** теплоизоляционный материал; огнеупор; шликерный метод; коэффициент теплопроводности

*Надійшла (received) 28.02.2017*