

**О. В. ЛИСАК**

### НЕРЕГУЛЬОВАНА ТЕПЛОВІДДАЧА ВІД ЕЛЕКТРОТЕПЛОАКУМУЛЮЮЧИХ ОБІГРІВАЧІВ

**АНОТАЦІЯ** В статті розглянуто фактори, що визначають теплообмін між зовнішніми поверхнями електро теплоакумулюючого обігрівача та оточуючим повітрям. Даний теплообмін є нерегульованим і його визначення є необхідною умовою для оцінки діапазону регулювання цього типу приладів. Було проведено аналіз літератури щодо рекомендацій по вибору теплоізоляційних матеріалів для кожної з зовнішніх поверхонь приладу: так, в закордонних джерелах є рекомендації з використання різних типів теплоізоляції в залежності від типу приладу та поверхні, в той час як у вітчизняних джерелах прийнято розглядати застосування єдиного типу теплоізоляції для всієї конструкції. В результаті було узагальнено інформацію за типами використовуваної теплоізоляції. Зокрема, в роботі було розглянуто їх характеристики: теплопровідність, теплоємність та густину. Продемонстровано, що найнижче значення теплопровідності має матеріал Microtherm, що забезпечує найменший внесок в габаритні показники електро теплоакумулюючих обігрівачів у порівнянні з альтернативними варіантами теплоізоляції, зокрема базальтовим волокном. Також приведено методику визначення максимального допустимого теплового потоку від фронтальної поверхні електро теплоакумулюючого обігрівача. В свою чергу, отримане значення максимально допустимого теплового потоку від фронтальної поверхні слугує для визначення необхідної товщини її теплоізоляції.

**Ключові слова:** акумуляційні системи опалення, теплоакумулюючі електропечі, теплонакопичувач, електричний акумуляційний обігрівач, теплообмін.

**O. LYSAK**

### UNREGULATED HEAT OUTPUT OF A STORAGE HEATER

**ABSTRACT** In the article the factors determining the heat transfer between the outer surfaces of a storage heater and the ambient air. This heat exchange is unregulated, and its definition is a precondition for assessing heat output range of this type of units. It was made the analysis of the literature on choosing insulating materials for each of the external surfaces of storage heaters: in foreign literature, there are recommendations on the use of various types of insulation depending on the type of device and the surface, while in Ukrainian literature the use of a single type of insulation for the whole structure is mostly described. The result of this was the summary of the information on the types of insulation used in storage heaters. In particular, the paper examined their characteristics of thermal insulation materials: thermal conductivity (approximations were made to calculate the thermal conductivity of materials in known temperature range), specific heat capacity and density. Additionally, on the basis of these three parameters it was calculated the thermal diffusivity of each of the shown thermal insulation materials. It has been demonstrated that the lowest value of thermal conductivity is Microtherm material that provides the smallest contribution to size of a storage heater compared with alternatives thermal insulation materials, including basalt fiber. Also, it is shown the method of determining maximum heat flow from the front surface of a storage heater. The resulting value of the maximum heat flow from the front surface is then used to determine the required thickness of insulation. However, it should be mentioned that using of basalt fiber may cost less.

**Key words:** storage heating, electric storage heating, storage heaters, heat transfer.

#### Вступ

Актуальною задачею розвитку сучасних технологій є економія енергоносіїв та зменшення витрат на встановлення та експлуатацію систем опалення. Системи акумуляційного електроопалення дозволяють ефективно вирішити обидві задачі: їх вартість є меншою, ніж вартість систем традиційного опалення з використанням газу, і вони використовують вже наявні надлишки виробництва електроенергії [1].

На ринку представлено різноманітні варіанти систем акумуляційного електроопалення, одним з яких є системи місцевого опалення з використанням електро теплоакумулюючих обігрівачів (ЕО), також відомих під назвами теплоакумулюючі електропечі (ТАЕП) та теплонакопичувачі [2]. Вивченню подібних систем сьогодні приділяють значну увагу, зокрема актуальними є питання розподілення температури в них та аналізу тепловід-

дачі від них [3–7], оскільки ці параметри обґрунтовують вибір необхідного типу приладу та дозволяють розробляти конструкції ЕО, які в повній мірі використовують акумульовану теплоту та підтримують тепловий режим приміщення.

По регулюванню тепловіддачі ЕО поділяють на регульовані та нерегульовані [8]. Проте і в регульованих моделях ЕО наявна нерегульована частка тепловіддачі (тепловіддача через зовнішню поверхню приладу). Діапазон значень регульованої тепловіддачі наведено в [9], а в цій роботі увага буде зосереджена на визначенні нерегульованої частки тепловіддачі.

Розгляд даного питання є важливим, оскільки значення нерегульованої тепловіддачі характеризує якість регулювання приладу – значення тепловіддачі від приладу не буде меншим за значення нерегульованої тепловіддачі (тобто, дане значення тепловіддачі визначає нижню межу діапазону тепловіддачі від приладу).

© О. В. Лисак, 2017

## Мета роботи

Метою роботи є аналіз інформації з проектування та розробки теплової ізоляції (ТІ) для ЕО та визначення можливого значення теплового потоку через зовнішню поверхню розглянутих приладів.

## Постановка задачі

В даній статті є дві взаємопов'язані задачі.

Перша – надати інформацію по відомим типам теплової ізоляції, що застосовують в конструкціях ЕО, та можливій товщині цих матеріалів в залежності від того, в якій із зовнішніх поверхонь буде використовуватись дана ТІ. Основну увагу при цьому буде приділено вибору ТІ для фронтальної поверхні.

Друга задача – розглянути принцип розрахунку заданого теплового потоку через зовнішню поверхню приладу та пов'язати його з визначенням необхідної товщини ТІ. В цій роботі огляд обмежено аналізом тепловіддачі від фронтальної поверхні приладу за умови вільної природної конвекції (тобто за відсутності випуску повітря нижче фронтальної поверхні, що має місце в деяких моделях ЕО).

## 1 Типи теплової ізоляції

**Аналіз використання теплової ізоляції в залежності від типу поверхні ЕО.** На рис. 1 надано позначення зовнішніх поверхонь ЕО. Дана схема є узагальненим зображенням обох використовуваних типів конструкцій ЕО, як статичних (С) та і динамічних (Д).

В табл. 1 наведено характерні розміри та типи теплоізоляції блоку теплоакуючого матеріалу (ТАМ). Про застосування схожих матеріалів згадується й в [10].

Як можна побачити з табл. 1, в якості теплоізоляції згадано не тільки теплоізоляційні матеріали (*Microtherm G*, вермикуліт та керамічне волокно), але також і конструктивні рішення – повітряні канали.

З порівняння товщин матеріалів для обох розглянутих типів конструкцій ЕО можна зробити висновок, що теплоізоляція в конструкції ЕО типу Д має більший опір теплопередачі, ніж в конструкції типу С. Наприклад, за однакової товщини повітряного каналу в обох конструкціях, в конструкції типу Д товщина *Microtherm G* є вдвічі більшою за товщину в конструкції ЕО типу С.

Наведені позначення матеріалів можуть відрізнитись в залежності від джерела. Наприклад, замість керамічного волокна може йти мова про фібру (керамічне волокно є різновидом фібри). Так само існують й різні типи *Microtherm G* – один з підтипів даного матеріалу). В цій роботі надалі

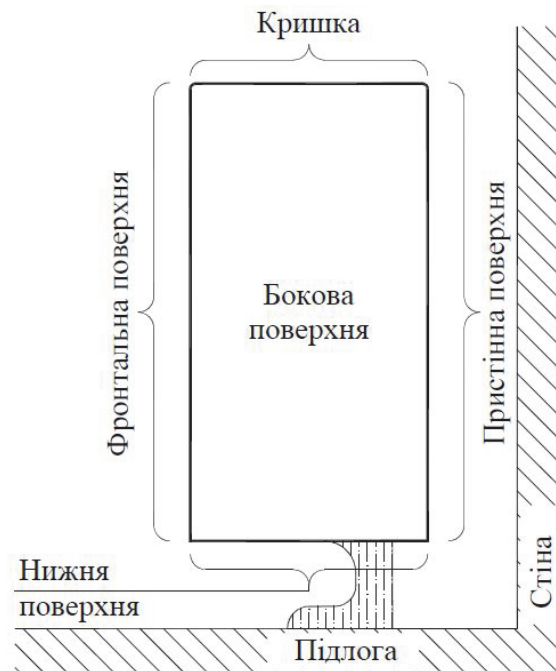


Рис. 1 – Позначення зовнішніх поверхонь ЕО

Таблиця 1 – Характеристики ТІ поверхонь ЕО [11]

Поверхні	Типи ТІ	Наявність та товщина ТІ в залежності від типу ЕО, мм	
		Статичні	Динамічні
Фронтальна	<i>Microtherm G</i>	12	25
	Повітряний канал	12	12
Пристінна	<i>Microtherm G</i>	12	25
	Керамічне волокно	13	–
	Повітряний канал	15	15
Кришка	Вермикуліт	45	–
	<i>Microtherm G</i>	–	30
Нижня	Вермикуліт	20	52
Бокова	Керамічне волокно	25	–
	Вермикуліт	–	50
	Повітряний канал	16	16

будемо згадувати *Microtherm* без посилань на підтип матеріалу, оскільки так прийнято в науковій літературі з даної тематики [12].

Як правило, виробники підкреслюють безпечність застосовуваних матеріалів. Це пов'язано з тим, що в ранніх моделях ЕО використовувалась ТІ, що містила азбест – і тому згадане зауваження є наслідком хоч і давно вирішеного, однак дуже невдалого рішення з теплоізоляції [13].

Зазначимо, що можливі й альтернативні підходи до формування теплоізоляційних прошарків в конструкції ТІ. Так, наприклад, може використовуватись один й той самий матеріал для теплової ізоляції усіх розглянутих поверхонь.

**Аналіз використовуваних типів теплоізоляції у фронтальній частині приладу.** Як свідчить проведений аналіз літератури, в закордонних ЕО для теплоізоляції фронтальної поверхні використовується переважно *Microtherm* [12].

У вітчизняній літературі розглядалися інші види ТІ. Так, в [4] згадувалось базальтове волокно (БВ), а в [6] – глиноземне волокно, поєднане з оксидом алюмінію [14].

Далі охарактеризуємо та порівняємо згадані матеріали. При цьому звернемо увагу на такі фактори: максимально допустима температура їх застосування, теплопровідність  $\lambda$ , Вт/(м·К); густина  $\rho$ , кг/м<sup>3</sup>; теплоємність  $c$ , кДж/(кг·К).

На початку розглянемо характеристики ТІ «*Microtherm*». Даний матеріал виготовляється компанією з аналогічною назвою. Цей матеріал отримав застосування в широкому діапазоні значень температур – від криогенної техніки і аж до температур 1200 °С [15].

Дана теплоізоляція відноситься до класу мікропористої ізоляції [16]. Принцип дії мікропористої ізоляції полягає в тому, що в матеріалі (переважно, на основі оксиду кремнію) є пори, діаметр яких є меншим за діаметр вільного пробігу молекули повітря, що ускладнює конвективну тепловіддачу через пори в цьому матеріалі. Пористість матеріалу може перевищувати 95 % його об'єму, що значно зменшує теплопередачу внаслідок теплопровідності. Також дану теплоізоляцію виготовляють з матеріалів зі значною відбивною здатністю.

Даний матеріал, як правило, знаходиться в спеціальній обкладинці [17]. Характеристики матеріалу представлено в [18]. В цій роботі будемо розглядати *Microtherm Super G*.

Також варто звернути увагу на характеристику теплопровідності вказаного матеріалу. Справа в тому, що його теплопровідність є нижчою за теплопровідність повітря, що може призводити до сумнівів щодо правильності вказаних даних.

В якості головної причини, чому саме цей матеріал обирають в закордонних приладах, наводять значення  $\lambda$ , яке, згідно [12] складає 0,030 Вт/(м·К) за температури 800 °С – що є втричі меншим за значення  $\lambda$  інших матеріалів.

Тепер розглянемо вітчизняні матеріали.

Глиноземне волокно будемо розглядати на прикладі плит типу МКРП-340 (ГОСТ 23619-79).

Що стосується БВ, то в цій роботі будемо розглядати супер тонке базальтове волокно (БСТВ), оскільки саме цей різновид базальтового волокна набув широкого застосування в якості ТІ

[19]. З характеристиками плит можна ознайомитись в [20–23].

Щодо плит МКРП-340, то їх характеристики прийняті згідно [24, 25]. Зазначимо, що є й відмінні дані по характеристикам теплопровідності даних плит, зокрема графік теплопровідності в [26] демонструє значення  $\lambda$  в півтора рази вище за дані з попередніх джерел.

Згідно даних у табл. 2 побудуємо графік зміни  $\lambda$  в розглянутих типах ТІ в залежності від середньої температури матеріалу. Отримані дані апроксимуємо в межах 0...600 °С. Верхня межа діапазону обрана згідно [27] як температура максимального значення розігріву ТАМ. Нижня межа діапазону обрана як 0 °С для зручності створення апроксимаційних залежностей.

На рис. 2 показано зміну  $\lambda$  в залежності від значення температури матеріалу  $t_x$ , °С. Також на основі отриманих даних створено апроксимаційні залежності за наступної формули

$$\lambda(t_x) = C_2 t_x^2 + C_1 t_x + C_0 t_x, \quad (1)$$

де  $C_i$  – отримане завдяки апроксимації методом найменших квадратів значення  $i$ -ого коефіцієнту.

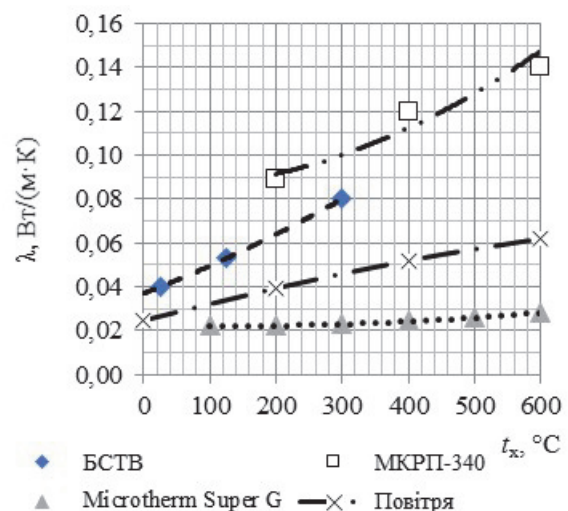


Рис. 2 – Зміна значення  $\lambda$ , Вт/(м·К), в залежності від його температури  $t_x$ , °С

Значення величин  $C_i$  для кожного матеріалу наведено в табл. 3.

Оскільки в цьому аналізі розглянуті нестационарні у часі процеси, потрібно визначитись з характеристикою температуропровідності ТІ  $a$ , м<sup>2</sup>/с:

$$a = \frac{\lambda}{c\rho}. \quad (2)$$

Варто зазначити, що в літературі не приділяється достатньої уваги питанню того, як змінюватиметься значення  $c$  в залежності від  $t_x$ . Тому дані по цьому параметру або прийняті постійними, або виходячи з припущення, що вони змінювати-

Таблиця 2 – Характеристики ТІ, що використовують в ЕО

$t_x$ , °C	$\lambda$ , Вт/(м·К)	$c$ , кДж/(кг·К)
БСТВ (холст) [23], $\rho = 160$ кг/м <sup>3</sup>		
25	0,040	–
125	0,053	–
300	0,080	–
БСТВ [22], $\rho = 80 \dots 110$ кг/м <sup>3</sup>		
–	–	0,8...1
МКРП-340 [25], $\rho = 340$ кг/м <sup>3</sup>		
200	0,090	–
400	0,120	–
600	0,140	–
800	0,200	–
1000	0,330	1,047
Microtherm Super G [28], $\rho = 320$ кг/м <sup>3</sup>		
0	–	0,680
100	0,0221	–
200	0,0222	0,920
300	0,0230	–
400	0,0244	1,000
500	0,0260	–
600	0,0281	1,040
800	0,0343	1,080

Примітка: 1 В літературі можуть наводити не лише реальні значення характеристик ТІ, але й рекомендації щодо того, яке саме значення не повинно перевищувати та чи інша характеристика. Також дані по одному й тому ж матеріалу можуть суттєво відрізнятися між різними джерелами. 2 Дані по характеристиках плит МКРП-340 приймаємо згідно сайту підприємства «Енергоресурс», яке розташовано в м. Запоріжжі з певним уточненням даних за каталогами інших компаній. Дані по характеристикам плит БСТВ прийняті згідно сайту Чернівецьким заводом теплоізоляційних матеріалів «RoTys» з певним уточненням цих даних по інформаційним базам інших компаній.

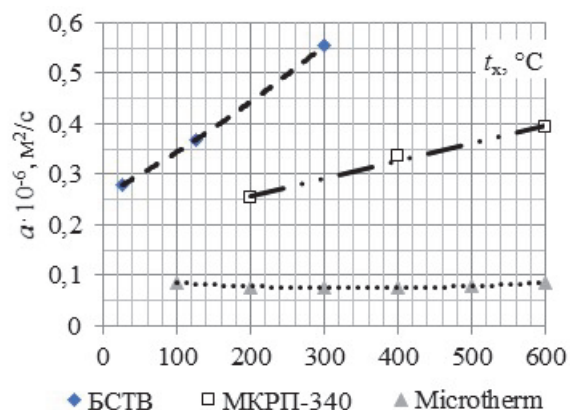
Таблиця 3 – Апроксимація значень  $\lambda(t_x)$ 

Матеріал	$C_2$	$C_1$	$C_0$	$R^2$
БСТВ	$8,83 \cdot 10^{-8}$	$1,17 \cdot 10^{-4}$	$3,70 \cdot 10^{-2}$	1,00
МКРП-340	$1,81 \cdot 10^{-7}$	$-4,75 \cdot 10^{-6}$	$8,53 \cdot 10^{-2}$	0,98
Microtherm Super G	$2,54 \cdot 10^{-8}$	$-5,46 \cdot 10^{-6}$	$2,24 \cdot 10^{-2}$	1,00

$R^2$  – похибка апроксимації.

муться лінійно. У випадку БСТВ приймаємо, що  $c = 0,9$  кДж/(кг·К), а у випадку плит МКРП-340  $c = 1,047$  кДж/(кг·К). Густина плит БСТВ приймаємо  $\rho = 160$  кг/м<sup>3</sup>.

Графічне зображення зміни  $a$  в залежності від  $t_x$  показано на рис. 3.

Рис. 3 – Зміна значення  $a$ , м<sup>2</sup>/с, в залежності від його температури  $t_x$ , °C

## 2 Визначення теплового потоку через фронтальну поверхню ЕО за умови вільної конвекції повітря

Методики по визначенню тепловіддачі, представлені в попередніх роботах, а саме: для конвективної тепловіддачі в [29] та для променевої тепловіддачі в [30]. Використовуючи методики з цих робіт, було отримано вірогідні значення тепловіддачі від фронтальної поверхні (див. рис. 4), висотою 420 мм за умови, що приведена ступінь чорноти системи тіл становить  $\epsilon_{пр} = 0,20$  (20 %) та 0,80 (80 %), а температура повітря в приміщенні становить 20 °C.

Значення температури на поверхні ЕО не повинно перевищувати максимально-допустиме значення, задане санітарно-гігієнічними чи іншими вимогами (зокрема, протипожежними). Загалом, рекомендовано обмежувати середнє значення температури на поверхні ЕО 60 °C.

Тому в межах максимально допустимої температури на поверхні приладу 40...60 °C та  $\epsilon_{пр} = 0,20$  (20 %, максимальний тепловий потік на одиницю фронтальної поверхні повинен знаходитись в межах  $q = 170 \dots 245$  Вт/м<sup>2</sup>, а у випадку  $\epsilon_{пр} = 0,80$  (80 %) –  $q = 288 \dots 410$  Вт/м<sup>2</sup>.

Відповідно, товщину ТІ зі сторони фронтальної панелі  $\delta$ , м

$$\delta = \frac{\lambda(t_{ТАМ} - t_{surf})}{q} \quad (3)$$

За умови, що  $t_{ТАМ} = 600$  °C та температури на фронтальній поверхні ЕО  $t_{surf} = 60$  °C, визначимо рекомендовані значення товщини ТІ. У випадку  $\epsilon_{пр} = 0,20$  (20 %) та застосування Microtherm скла-

датиме 31 мм та у випадку  $\varepsilon_{\text{пр}} = 0,80$  (80 %) – 18,5 мм. Ці товщини відрізняються від наведених в табл. 1 значень – але це можна пояснити відсутністю врахування опору теплопередачі від повітряного каналу.

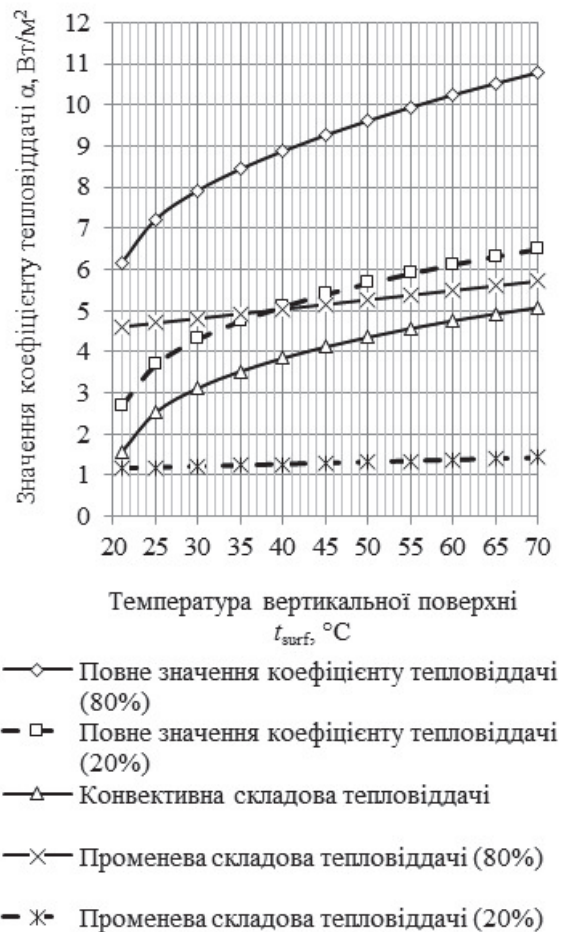


Рис. 4 – Зміна значення  $\alpha$ ,  $\text{m}^2/\text{s}$ , в залежності від його температури  $t_s$ ,  $^\circ\text{C}$

Як видно з рис. 2, застосування БСТВ потребуватиме практично в чотири рази більшої товщини матеріалу, що підвищить габарити приладу. Водночас, БСТВ може виявитись дешевшим матеріалом, ніж *Microtherm*.

### Висновок

1 Використання ТІ з малим значенням  $\lambda$  у випадку ЕО може бути виправданим необхідністю зменшення габаритів приладу.

2 В закордонних ЕО пропонується використовувати декілька типів ТІ. Подібне рішення пов'язано з особливістю конструкції приладів: як правило, вермикуліт використовується в нерухомих деталях, в той час як керамічне волокно слугує ущільнювачем, а *Microtherm* – як ТІ для зйомних складових або ж як ТІ для найбільших по площі ділянок.

3 В подальших роботах планується розглянути моделювання тепловіддачі від інших поверхонь ЕО. Частково це завдання розпочато в [31], де розглядалась тепловіддача від ЕО типу С, розташованого на певній відстані від стіни (вільно). Тому подальші дослідження слід зосередити на вивченні таких ЕО, що розташовані біля стіни, оскільки в такому випадку на значення нерегульованої тепловіддачі приміщення будуть впливати характеристики стіни. Переважно, це стосуватиметься тепловіддачі від пристінної поверхні – зокрема, потрібно вивчити питання перегріву стіни внаслідок тепловіддачі від пристінної поверхні, й того, яке це впливатиме на нерегульовану тепловіддачу від приладу. Також під час розгляду даного питання необхідно звернути увагу на те, біля якої саме стіни потрібно розміщувати ЕО – чи біля стіни, яка є елементом зовнішнього огороження приміщення, чи біля внутрішньої стіни приміщення.

4 Даний аналіз виконувався за умови рівномірного розподілення температури на поверхні приладу за постійного значення перепаду температури. Подальші дослідження варто проводити, враховуючи зміну температури як по висоті приладу, так і загалом у часі, що, відповідно, позначиться на визначенні нерегульованої частки тепловіддачі від приладу та необхідної товщини використовуваної теплоізоляції. Подібний аналіз варто пов'язати з можливою зміною протягом доби необхідного теплового потоку від приладу з тим, аби визначити допустиму частку нерегульованої тепловіддачі від приладу.

5 Наведені дані стосуються лише теплофізичних характеристик теплоізоляції ЕО і тому в подальшому планується проведення порівняння вартості різних типів теплоізоляції. Такий аналіз повинен включати в себе не лише вартість теплоізоляції, але й вартість її монтажу в конструкції приладу (і відповідно, ускладнення чи спрощення конструкції ЕО у порівнянні з альтернативними варіантами), та того, наскільки надійним виявиться застосований тип теплоізоляції протягом періоду експлуатації приладу.

6 В подальших роботах також планується вивчення впливу на значення нерегульованої тепловіддачі від ЕО наявності обвідних каналів в їх конструкції.

### Список літератури

- 1 **Клєн, А. Н.** Эффективность применения теплонакопителей в частных домовладениях Украины / А. Н. Клєн // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – №. 6/1 (26). – С. 46–49. – ISSN 2226-3780. – doi: 10.15587/2312-8372.2015.56645.
- 2 **Малкін, Е. С.** Теплоаккумуляторы электропечи. Терминология і класифікація / Е. С. Малкін, О. В. Лисак // Промислова електроенергетика та електротехніка (Промелектро). – 2014. – № 3. – С. 69–74. – ISSN 2409-2924.

- 3 **Хименко, А. В.** Исследование динамических характеристик электротепловых аккумуляторов / **А. В. Хименко** // Відновлювана енергетика. – 2016. – № 2. – С. 22–26. – ISSN 2409-2924.
- 4 **Белименко, С. С.** Совершенствование конструктивных и режимных параметров твердотельных электротеплоаккумуляторов : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.06 / **Сергей Сергеевич Белименко**; Национальная металлургическая академия Украины. – Днепропетровск, 2015. – 21 с.
- 5 **Romero, I. V.** An experimental investigation of an electrical storage heater in the context of storage technologies : Master's thesis [Online document] / **Ignacio Becerril Romero**. – Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Faculty of Engineering, University of Strathclyde, United Kingdom, 2013. – Mode of access: [http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc\\_2013/Becerril.pdf](http://www.esru.strath.ac.uk/Documents/MSc_2013/Becerril.pdf). – 23.09.2016.
- 6 **Тарасова, В. А.** Выбор рациональных геометрических параметров элемента электрического теплового аккумулятора / **В. А. Тарасова, А. В. Хименко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2013. – № 13(987). – С. 110–115. – ISSN 2078-774X.
- 7 **Хименко, А. В.** Расчётное и экспериментальное исследование тепловых процессов в твердом теплоаккумулирующем материале с высокими теплоаккумулирующими свойствами / **А. В. Хименко** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2016. – № 10(1182). – С. 44–49. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.06
- 8 **Лысак, Олег.** Выбор теплоаккумулирующих электродпечей при внедрении в Украине / **Олег Лысак, Эдуард Малкин** // Budownictwo o zoptymalizowanym potencjale energetycznym. – Częstochowa (Poland) : Politechnika Częstochowska, 2015. – № 1. – С. 117–125. – ISSN 2299-8535.
- 9 **Лысак, О. В.** Регулювання тепловіддачі электротеплоаккумулюючих обігрівачів / **О. В. Лысак** // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – Київ : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2016. – № 5. – С. 29–38. – ISSN 1813-6796.
- 10 Storage Heater Benefits [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <https://www.elnur.co.uk/products/storage-heaters/storage-heaters-further-information/storage-heater-benefits/>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 11 Тепловые накопители, ассортимент [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [files.prom.ua/160149\\_catalogelnurfaeton.pdf](files.prom.ua/160149_catalogelnurfaeton.pdf). – Назва з екрану. – 14.09.2016.
- 12 **Малкін, Е. С.** Шляхи удосконалення роботи місцевих теплоаккумулюючих електродпечей / **Е. С. Малкін, О. В. Лысак** // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2014. – Вип. 6. – С. 188–191. – ISSN 2310-0516.
- 13 **Oughton, D. R.** Faber & Kell's Heating and Air-Conditioning of Buildings / **D. R. Oughton, S. L. Hodgkinson**. – 10th edition. – Amsterdam ; London : Butterworth-Heinemann, 2008. – XIX, 786 p. – ISBN 978-0-75-068365-4.
- 14 Огнеупорные муллитокремнеземистые материалы [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://nstomsk.ru/ogneupornye-materialy>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 15 MICROTHERM: Thermal Insulation Solutions. [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/assets\\_db/ITEMSKEYWORDS3/items/documents/100907-V\\_ProdPerfBroch.pdf](http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/assets_db/ITEMSKEYWORDS3/items/documents/100907-V_ProdPerfBroch.pdf). – Назва з екрану. – 14.10.2016.
- 16 Высокотемпературная изоляция: микропористая технология [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [http://pptechn.ru/MICROTHERM\\_technology](http://pptechn.ru/MICROTHERM_technology). – Назва з екрану. – 14.10.2016.
- 17 Высокотемпературная теплоизоляция: Свойства и характеристики материалов [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [http://pptechn.ru/MICROTHERM\\_property](http://pptechn.ru/MICROTHERM_property). – Назва з екрану. – 14.10.2016.
- 18 **Hughes, J. T** Simple Method for measuring pipe insulation performance [Text] / Thermal Conductivity 22. – CRC Press, 1994, P. 425-434. – ISBN 978-1566761727.
- 19 **Єсипов, В. Г.** Анализ экономической эффективности применения теплоизоляции из базальтового супертонкого волокна / **В. Г. Єсипов, Е. И. Зубко, Ю. Е. Зубко, А. С. Гриценко, Д. М. Олейник** // Будівельне виробництво. – 2010. – № 52. – С. 66–68. – ISSN 0135-1702.
- 20 **Комков, М. А.** Разработка и исследование термостойких покрытий трубопроводов из коротких базальтовых волокон / **М. А. Комков, Ю. В. Баданина, М. П. Тимофеев** // Инженерный журнал: Наука и инновации. – 2014. – № 2(26). – ISSN 2308-6033. – doi: 10.18698/2308-6033-2014-2-1203.
- 21 ПМТБ-2: плиты мягкие теплоизоляционные [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://rotys.com/pliti>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 22 Базальтовая вата. Сравнительные характеристики [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://www.bstv-mat.ru/comparison.html>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 23 Холст из базальтового супертонкого волокна (БСТВ) [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://magma wool.com/bstv-holst-bazaltovyy.html>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 24 Промтехкомплект: ПЛИТА МКРП–340 Теплоизоляционная [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [http://ptknsk.ru/plita\\_mkrp340\\_teploizolyacionnaya](http://ptknsk.ru/plita_mkrp340_teploizolyacionnaya). – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 25 Энергоресурс: Теплоизоляционные плиты МКРП-340 [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: <http://www.enresurs.com/plita340.html>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 26 ПромтехТепло: Плита МКРП-340 [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим доступу: [http://www.ogneupor.net.ua/mkrp\\_340.html](http://www.ogneupor.net.ua/mkrp_340.html). – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 27 **Малкін, Е. С.** Теплоаккумулюючі матеріали в теплоаккумулюючих електродпечах: аналіз та практика використання / **Е. С. Малкін, О. В. Лысак** // Вентиляція, освітлення та теплогазопостачання. – Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2014. – Вип. 17. – С. 133–144. – ISSN 2409-2606.
- 28 MICROTHERM PANEL - TECHNICAL DATA SHEET [Електронний ресурс]. – 2016. – Режим до-

- ступу: <http://www.promat-hpi.com/downloads/get/en/CF8BD566CBF4B0189C6A982914B6EEEE>. – Назва з екрану. – 15.07.2016.
- 29 **Лисак, О. В.** Аналіз конвективної тепловіддачі від фронтальної поверхні теплоакumuлюючої електропечі / **О. В. Лисак** // Вісник Київського національного університету технологій та дизайну. Серія: Технічні науки. – Київ : Київський національний університет технологій та дизайну. – 2015. – № 5. – С. 15–23. – ISSN 1813-6796.
  - 30 **Лисак, О. В.** Аналіз радіаційного теплообміну фронтальної поверхні електричного теплоакumuляційного обігрівача за сталого значення конвективного теплового потоку на ній / **О. В. Лисак** // Енергоефективність в будівництві та архітектурі. – Київ : Київський національний університет будівництва і архітектури, 2016. – Вип. 8. – С. 179–184. – ISSN 2310-0516.
  - 31 **Лисак, О. В.** Аналіз конвективної тепловіддачі від зовнішніх поверхонь твердотілого теплоакumuлюючого обігрівача / **О. В. Лисак** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», 2016. – № 10. – С. 105–110. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.16.
  - 7 **Khimenko, A.V.** (2013), "Computational and experimental research of thermal processes in solid heat storage materials with high thermal storage properties", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 10(1182), pp. 44–49. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.06
  - 8 **Lysak, O. and Malkin, E.** (2015), "Vybor teploakumirulijushhijh jelektropechej pri vnedrenii v Ukraine [Selection of storage heaters for implementation in Ukraine]", *Construction of optimized energy potential*, No. 1, pp. 117–125, Politechnika Czestochowska, Czestochowa, Poland, ISSN 2299-8535.
  - 9 **Lysak, O.** (2016), "Heat output control of a storage heater", *Bulletin of the Kiev National University Technologies and Design : Technical Science Series*, No. 5, pp. 29–38, ISSN 1813-6796.
  - 10 (2016), "Storage Heater Benefits", available at: <https://www.elnur.co.uk/products/storage-heaters/storage-heaters-further-information/storage-heater-benefits/> (accessed 15 July 2016).
  - 11 (2016), "Teplovyje nakopiteli, assortment", available at: [files.prom.ua/160149\\_catalogelnurfaeton.pdf](files.prom.ua/160149_catalogelnurfaeton.pdf) (accessed 14 September 2016).
  - 12 **Malkin, E. S. and Lysak, O. V.** (2014), "Improving storage heater performance", *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*, No. 6, pp. 188–191, ISSN 2310-0516.
  - 13 **Oughton, D. R. and Hodkinson, S. L.** (2008), *Faber & Kell's Heating and Air-Conditioning of Buildings*, 10th edition, Butterworth-Heinemann, Amsterdam, London, XIX, ISBN 978-0-75-068365-4
  - 14 (2016), "Ogneupornye mullitokremnezemistye materialy", available at: <http://nstomsk.ru/ogneupornye-materialy> (accessed 15 July 2016).
  - 15 (2016), "MICROTHERM: Thermal Insulation Solutions", available at: [http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/assets\\_db/ITEMSKEYWORDS3/items/documents/100907-B\\_ProdPerfBroch.pdf](http://www.microthermgroup.com/low/EXEN/assets_db/ITEMSKEYWORDS3/items/documents/100907-B_ProdPerfBroch.pdf) (accessed 14 October 2016).
  - 16 (2016), "Vysokotemperaturnaja izoljacija: mikroporistaja tehnologija", available at: [http://pptech.ru/MICROTHERM\\_technology](http://pptech.ru/MICROTHERM_technology) (accessed 14 October 2016).
  - 17 (2016), "Vysokotemperaturnaja teploizoljacija: Svoystva i harakteristiki materialov", available at: [http://pptech.ru/MICROTHERM\\_property](http://pptech.ru/MICROTHERM_property) (accessed 14 October 2016).
  - 18 **Hughes, J. T.** (1994), "Simple Method for measuring pipe insulation performance", *Thermal Conductivity* 22, CRC Press, pp. 425-434, ISBN 978-1566761727.
  - 19 **Esipov, V. G. et al** (2010), "Analiz jekonomicheskoj jeffektivnosti primeneniya teploizoljacji iz bazaltovogo supertonkogo volokna [Analysis of economic efficiency of the use of thermal insulation made of superthin basalt fiber]", *Budivjelne vyrobnyctvo [Construction production]*, No. 52, pp. 66-68, ISSN 0135-1702.
  - 20 **Komkov, M. A., Badanina, Ju. V. and Timofeev, M. P.** (2014), "Developing and testing heat-resistant pipelines coatings made of short basalt fibers", *Engineering Journal: Science and Innovation*, No. 2(26), ISSN 2308-6033, doi: 10.18698/2308-6033-2014-2-1203.
  - 21 (2016), "PMTB-2: plity mjagkie teploizoljacionnye", available at: <http://rotys.com/pliti> (accessed 15 July 2016).

## Bibliography (transliterated)

- 22 (2016), "Bazaltovaja vata. Sravnitelnye karakteristiki", available at: <http://www.bstv-mat.ru/comparison.html> (accessed 15 July 2016).
- 23 (2016), "Holst iz bazaltovogo supertonkogo volokna (BSTV)", available at: <http://magmawool.com/bstv-holst-bazaltovyy.html> (accessed 15 July 2016).
- 24 (2016), "Promtehkompлект: PLITA MKRP-340 Teploizoljacionnaja", available at: [http://ptk-nsk.ru/plita\\_mkrp340\\_teploizoljacionnaya](http://ptk-nsk.ru/plita_mkrp340_teploizoljacionnaya) (accessed 15 July 2016).
- 25 (2016), "Jenergoresurs: Teploizoljacionnye plity MKRP-340", available at: <http://www.enresurs.com/plita340.html> (accessed 15 July 2016).
- 26 (2016), "PromtehTeplo: Plita MKRP-340", available at: [http://www.ogneupor.net.ua/mkrp\\_340.html](http://www.ogneupor.net.ua/mkrp_340.html) (accessed 15 July 2016).
- 27 **Malkin, E. S. and Lysak, O. V.** (2014), "Storage materials in storage heaters: analysis and practice of use", *Ventilation, Lighting and Heat-gas Supply*, No. 17, pp. 133–1444, ISSN 2409-2606.
- 28 (2016), "MICROTHERM PANEL - TECHNICAL DATA SHEET", available at: <http://www.promat-hpi.com/downloads/get/en/CFF8BD566CBF4B0189C6A982914B6EEE> (accessed 15 July 2016).
- 29 **Lysak, O.** (2015), "Analiz konvektyvnoi' teploviddachi vid frontal'noi' poverhni teploakumuljujuchoi' elektropечи [Analysis of convective heat transfer from storage heater front panels]", *Bulletin of the Kiev National University Technologies and Design, Technical Science Series*, No. 5(90), pp. 15–23, ISSN 1813-6796.
- 30 **Lysak, O.** (2016), "Analysis of radiative heat transfer from the isoflux front panel of a storage heater", *Energy-efficiency in civil engineering and architecture*, No. 8, pp. 179–184, ISSN 2310-0516.
- 31 **Lysak, O.** (2016), "Analysis of convective heat transfer from storage heater external surfaces", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 10(1182), pp. 105–110, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2016.10.16.

#### Відомості про авторів (About authors)

**Лисак Олег Віталійович** – інженер, відділ геотермальної енергетики, Інститут відновлюваної енергетики НАН України; м. Київ, Україна; e-mail: [oleg.v.lysak@gmail.com](mailto:oleg.v.lysak@gmail.com), ORCID 0000-0002-4934-0685.

**Oleg Lysak** – Engineer, Geothermal department, Institute of Renewable Energy at National Academy of Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine; e-mail: [oleg.v.lysak@gmail.com](mailto:oleg.v.lysak@gmail.com).

*Будь ласка посилайтесь на цю статтю наступним чином:*

**Лисак, О. В.** Нерегульована тепловіддача від електротеплоакуючих обігрівачів / **О. В. Лисак** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 79–86. – Бібліогр.: 31 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.13.

*Please cite this article as:*

**Lysak, O.** (2017), "Unregulated heat output of a storage heater", *Bulletin of NTU "KhPI". Series: Power and heat engineering processes and equipment*, No. 11(1233), pp. 79–86, ISSN 2078-774X, doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.13.

*Пожалуйста ссылаетесь на эту статью следующим образом:*

**Лысак, О. В.** Нерегулированная теплоотдача от электротеплоаккумулирующих обогревателей / **О. В. Лысак** // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Енергетичні та теплотехнічні процеси й устаткування. – Харків : НТУ «ХПІ», 2017. – № 11(1233). – С. 79–86. – Бібліогр.: 31 назв. – ISSN 2078-774X. – doi: 10.20998/2078-774X.2017.11.13.

**АННОТАЦИЯ** В статье рассмотрены факторы, определяющие теплообмен между наружными поверхностями электротеплоаккумулирующего обогревателя и наружным воздухом. Данный теплообмен является нерегулируемым и его определение является необходимым условием для оценки диапазона регулирования этого типа приборов. Был проведен анализ литературы по рекомендациям по выбору теплоизоляционных материалов для каждой из внешних поверхностей прибора: так, в зарубежных источниках есть рекомендации по использованию различных типов теплоизоляции в зависимости от типа прибора и поверхности, в то время как в отечественных источниках принято рассматривать применение единого типа теплоизоляции для всей конструкции. В результате были обобщены информации по типам используемой теплоизоляции. В частности, в работе были рассмотрены их свойства: теплопроводность, теплоемкость и плотность. Было продемонстрировано, что материал Microtherm обладает низким значением теплопроводности и это обеспечивает наименьший вклад в габаритные показатели электротеплоаккумулирующих обогревателей по сравнению с альтернативными вариантами теплоизоляции, в частности базальтовым волокном. Также приведена методика определения максимального допустимого теплового потока от фронтальной поверхности электротеплоаккумулирующего обогревателя. В свою очередь, полученное значение максимально допустимого теплового потока от фронтальной поверхности служит для определения необходимой толщины её теплоизоляции.

**Ключевые слова:** аккумуляционные системы отопления, теплоаккумулирующие электропечи, теплонакопитель, электрический аккумуляционный обогреватель, теплообмен, твердотельный теплоаккумулирующий обогреватель.

Надійшла (received) 31.02.2017