

3. Морачковский О.К., Соболев В.Н. Метод решения задач ползучести тел на основе смешанного вариационного принципа // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків: НТУ «ХПІ», 2003. – № 12, Т.1 – С. 84-89.
4. Romashov Yu.V., Sobol V.N. Mathematical formulations and numerical solutions of initial-boundary-value problem of creep theory // Contemporary problems of mathematics, mechanics and computing sciences / N.N. Kizilova, G.N. Zholtkevych (eds.). – Kharkov: Publishing house PPV Virovec' A.P. Publishing house is a group «Apostrophe», 2011. – 396 p. – P. 120-129.
5. Малинин Н.Н. Расчеты на ползучесть элементов машиностроительных конструкций. - М.: Машиностроение, 1981. - 221с.

УДК 620.1.05+[536.2.083:691-405.8]

**Мальований І.В., Афанасьєв В.В.,**  
*Запорізька державна інженерна академія*  
**Смоляков О.В.,**  
*Запорізький національний університет*

### **РОЗРОБКА НОВОЇ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ ОСНОВНОГО ЕКСПЛУАТАЦІЙНОГО ПАРАМЕТРУ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЙНИХ МАТЕРІАЛІВ – КОЕФІЦІЕНТУ ТЕПЛОПРОВІДНОСТІ**

**Вступ.** Теплопровідність – здатність будівельного матеріалу передавати тепло від одної поверхні до іншої. Ця властивість являється основною для всіх теплоізоляційних матеріалів та огорожуючих конструкцій будинків [1]. Згідно гіпотези Фур'є кількість теплоти  $dQ_\tau$  (Дж), яка проходить через елемент ізотермічної поверхні  $dF$  за проміжок часу  $d\tau$ , прямо пропорційна температурному градієнту  $\frac{\partial T}{\partial n}$ :

$$dQ_\tau = -\lambda \frac{\partial T}{\partial n} dF d\tau. \quad (1)$$

Дослідним шляхом встановлено, що коефіцієнт пропорційності  $\lambda$  – це фізичний параметр речовини, який і характеризує здатність речовини проводити тепло і називається коефіцієнтом теплопровідності. Коефіцієнт теплопровідності визначається з рівняння 1:

$$\lambda = dQ_\tau / \left[ \frac{\partial T}{\partial n} dF d\tau \right]. \quad (2)$$

Отже, з рівняння 2 випливає, що коефіцієнт теплопровідності чисельно дорівнює кількості теплоти, яка проходить за одиницю часу через одиницю ізотермічної поверхні при температурному градієнті, що дорівнює одиниці.

В загальному випадку коефіцієнт теплопровідності залежить від температури,

тиску та стану речовини. В більшості випадків коефіцієнт теплопровідності для різних матеріалів визначається дослідним шляхом [2,3].

Більшість із методів визначення коефіцієнту теплопровідності оснований на вимірюванні теплового потоку та градієнту температур в заданому матеріалі чи речовині, потребують наявності дорогого обладнання і пред'являють підвищенні вимоги до геометричних форм, розмірів та однорідності зразків.

**Актуальність.** На даному етапі для України та країн Європи дуже важливим є вектор впровадження енергозберігаючих та екологічних технологій в будівництво. Відбувається пошук альтернативних природних теплоізоляційних матеріалів, які за своєю природою мають багатоконпонентний склад та неоднорідну структуру (на основі соломи, стружки, льону, морської трави і т.д.) і довести їх поверхню до ідеальної та отримати рівномірну однорідну структуру іноді неможливо. Всі відхилення від вимог до зразку дають значну похибку при визначенні коефіцієнта теплопровідності.

Тому для впровадження екосистем в будівництво необхідно мати можливість визначати теплопровідність природних

будівельних матеріалів з достатньою точністю і розробка методики, яка дозволить це робити, є актуальним питанням.

**Метою роботи** є розробка нової методики визначення основного експлуатаційного параметру теплоізоляційних матеріалів – коефіцієнту теплопровідності за рахунок встановлення залежності між температурою та часом охолодження.

**Завданням нашого експерименту** є підтвердження табличних значень теплопровідності відомого теплоізоляційного матеріалу – мінеральної вати «Роклайт» за допомогою використання нової, апроксимальної методики.

**Об'єкт дослідження** – обладнання для визначення коефіцієнту теплопровідності.

**Методи досліджень.** Метод наукового узагальнення і аналізу теоретичних та експериментальних даних; експериментально – теоретичний метод, що включає теоретичний пошук та натуральні дослідження.

### **Результати досліджень**

#### **1. Аналіз існуючих методів вимірювання теплопровідності**

Проаналізуємо існуючу методику вимірювання коефіцієнта теплопровідності та дослідимо її переваги і недоліки.

Теплопровідність твердих матеріалів визначають методом динамічного калориметра з тепломіром та адіабатичною оболонкою (ИТ-λ-400) [4].

Досліджуваний зразок поміщається між опорним мідним стержнем і мідною контактною пластиною. Частина теплового потоку  $Q_1(\tau)$ , що потрапляє через тепломір, витрачається на нагрів зразку  $Q_0(\tau)$ . Температурне поле в зразку та пластині можна вважати лінійним. Даний метод використовується в Запорізькому національному університеті на кафедрі фізики твердого тіла для вимірювання теплопровідності в основному металів або зразків з рівномірно відшліфованими поверхнями [5].

Основним недоліком цього методу для будівельної галузі є вимоги до зразка. Він повинен бути циліндричної форми з плоскопаралельними основами і з відшліфованими поверхнями, а також мати діаметр 10мм та висоту 1...10мм. Досягнення

таких точних і якісних поверхонь для теплоізоляційних та огорожувальних будівельних матеріалів, які виготовлені на основі органічних речовин, майже неможливе.

Метод повздовжнього теплового потоку та метод Егера і Диссельхорста широко застосовуються при дослідженні металів та інших матеріалів з відносно великою теплопровідністю [6,7,8].

На даний момент в Україні діє нормативний документ [9], який розповсюджується на будівельні матеріали і вироби з теплопровідністю від 0,02 Вт/м·К до 1 Вт/м·К і встановлює метод не руйнуючого прискореного визначення теплопровідності в інтервалі температур 278-313 К(5-40 °С).

Метод полягає в створенні одностороннього короткочасного імпульсу на поверхні виробу та реєстрації вимірів температури на цій поверхні. Первинний перетворювач призначений для перетворення імпульсу електричної енергії в теплову і створення електричного сигналу, який характеризує зміну температури поверхні матеріалу виробу під впливом теплового імпульсу. Імпульсне джерело струму має таймер теплового імпульсу і забезпечує нагрів пластини первинного перетворювача.

Для вимірювання теплопровідності будівельних матеріалів в м. Запоріжжя в незалежній випробувальній лабораторії «Будіндустрія ЛТД» використовується прилад БИ-Т021А. Даний метод базується на визначенні теплопровідності у верхніх шарах досліджуваного матеріалу, тому дуже важливою є однорідність зразків. За рахунок неоднорідності структури досліджуваного матеріалу ми не отримаємо достовірного показника теплопровідності.

#### **2. Методика визначення теплопровідності за допомогою розробленого обладнання та його конструктивні частини**

Запропонований нами прилад являє собою спрощену модель будівель, у якого нижня грань – підлога першого поверху, бокові грані – стіни і верхня грань – покриття. Прилад працює в області температур 293К-371К (20°С -98°С).

Він складається з двох ємностей розміром 250x250x250 мм. Їх виготовлено з прокату зі сталі С245 (ГОСТ 27772-88) товщиною 2 мм, зварюванням пластин розміром 250x250мм за допомогою ручної дугової сварки та електродів «Е46 МОНОЛІТ РЦ Ø3мм» (ТУ У 28.7-34142621-004:2010). Після зварювання ємностей на їх верхній поверхні вирізається отвір 65x65мм для зняття показань температури. Для досліду використовувалось два матеріали з відомими показниками теплопровідності – пінополістирол «XPS ТЕХНОНИКОЛЬ CARBON ECO», теплопровідність якого згідно [10] складає 0,034 Вт/м\*К та кам'яна вата «РОКЛАЙТ», теплопровідність якої згідно [11] складає 0,042 Вт/м\*К.

На дно обох ємностей наклеювався пінополістирол розміром 350x350мм (рис.1.1), за допомогою пінополіуретанової клей-піни (рис.1.2), далі наклеювався на бокові грані першої ємності пінополістирол 300x250 мм (рис.1.3), а на грані другої ємності – мінеральна вата 300x250мм (рис.1.4). Ємності наповнювалися водою кімнатної температури (15,5 літрів в кожну) і за допомогою кип'ятильників доводилися до кипіння одночасно. Потім на верхні грані обох ємностей одночасно наклеювався пінополістирол 350x350мм (рис.1.5) і в отвори вставлялися термометри (рис. 1.6).

Далі кожні 4 години протягом 7 діб за показами термометрів фіксувалась температура в середині ємностей і кімнатна температура. Дані заносилися до таблиці.

**3. Результати досліджень коефіцієнту теплопровідності з використанням нової методики**

За результатами дослідження було побудовано графік залежності температури в ємностях від часу охолодження (рис.2).

Ємності виготовлені з однакового матеріалу і мають однакові геометричні розміри. Оскільки обидві ємності нагріваються до кипіння, то кількість теплоти, яку отримали обидві ємності, була дуже близькою за значеннями  $dQ_1 \approx dQ_2$ . Але системи будуть мати різний термічний опір. Термічний опір – це

здатність тіла (його поверхні, чи шарів) перешкоджати розповсюдженню теплового руху молекул. За рахунок різниці в значеннях термічного опору і буде визначено коефіцієнти теплопровідності.

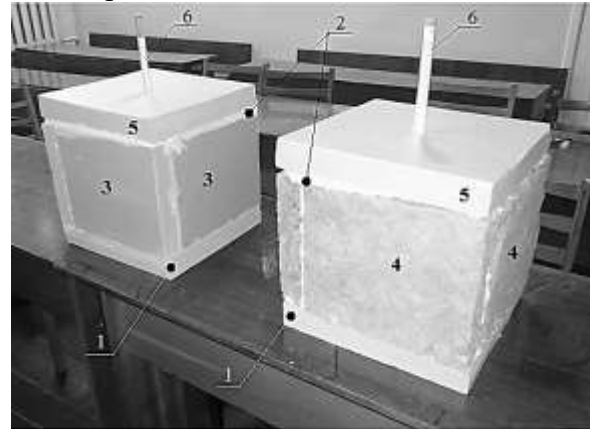


Рис. 1. Прилад для визначення коефіцієнту теплопровідності ТІМ: 1-ППС, наклеєний на дно ємностей; 2-клей-піна; 3-ППС на бокових гранях еталонної ємності; 4-мінеральна вата на бокових гранях досліджуваної ємності; 5-ППС на верхній грані; 6-термометри

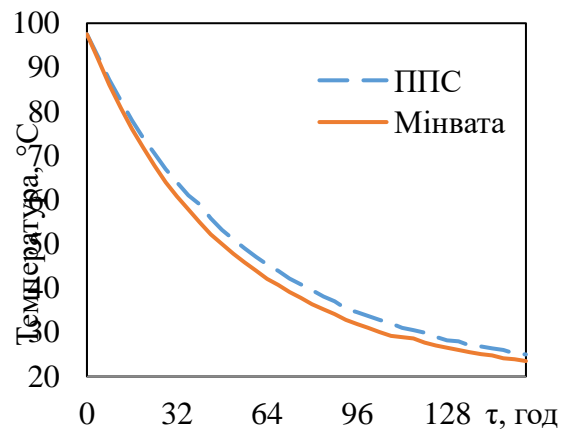


Рис. 2. Графік залежності температури в ємностях від часу охолодження ( $T_1, T_2 = f(\tau)$ )

Розглянемо окремо термічний опір ємностей, як опір складних систем.

Теплові потоки можна досліджувати як електричні, тому термічний опір першої ємності можна визначити наступним чином. Опір однієї стінки буде дорівнювати сумі опорів пінополістиролу, клею та сталі:

$$R_{ст1} = \frac{\delta_{ппс}}{\lambda_{ппс}} + \frac{\delta_{кл.}}{\lambda_{кл.}} + \frac{\delta_{ст.}}{\lambda_{ст.}}, \quad (3)$$

де,  $\delta_{\text{ппс}} = 50\text{мм}$ ,  $\delta_{\text{кл.}} = 2\text{мм}$ ,  $\delta_{\text{ст.}} = 2\text{мм}$  - товщини пінополістиролу, клею та сталі відповідно;

$\lambda_{\text{ппс}} = 0,034 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{кл.}} = 0,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{ст.}} = 53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  - коефіцієнти теплопровідності пінополістиролу, клею та сталі відповідно.

Сумарний опір системи розглядаємо, як паралельне з'єднання провідників:

$$\frac{1}{R_{\text{заг1}}} = \frac{1}{R_{\text{ст1}}} + \frac{1}{R_{\text{ст2}}} + \frac{1}{R_{\text{ст3}}} + \frac{1}{R_{\text{ст4}}} + \frac{1}{R_{\text{дно}}} + \frac{1}{R_{\text{кр}}}, \quad (4)$$

де,  $R_{\text{ст1}} = R_{\text{ст2}} = R_{\text{ст3}} = R_{\text{ст4}} = R$  - термічний опір стінок з пінополістиролу;  $R_{\text{дно}} = R_{\text{кр}} = R$  - термічний опір дна і кришки з пінополістиролу. Отже згідно з 4,

$$\frac{1}{R_{\text{заг1}}} = \frac{6}{R}; \rightarrow R_{\text{заг1}} = \frac{R}{6}. \quad (5)$$

Термічний опір другої ємності визначаємо за тими ж правилами. Опір однієї стінки:

$$R'_{\text{ст1}} = \frac{\delta_{\text{мв}}}{\lambda_{\text{мв}}} + \frac{\delta_{\text{кл.}}}{\lambda_{\text{кл.}}} + \frac{\delta_{\text{ст.}}}{\lambda_{\text{ст.}}}, \quad (6)$$

де,  $\delta_{\text{мв}} = 50\text{мм}$ ,  $\delta_{\text{кл.}} = 2\text{мм}$ ,  $\delta_{\text{ст.}} = 2\text{мм}$  - товщини мінеральної вати, клею та сталі відповідно;  $\lambda_{\text{мв}} = 0,039 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{кл.}} = 0,04 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ ,  $\lambda_{\text{ст.}} = 53 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$  - коефіцієнти теплопровідності мінеральної вати, клею та сталі відповідно.

Сумарний опір другої ємності:

$$\frac{1}{R_{\text{заг2}}} = \frac{1}{R'_{\text{ст1}}} + \frac{1}{R'_{\text{ст2}}} + \frac{1}{R'_{\text{ст3}}} + \frac{1}{R'_{\text{ст4}}} + \frac{1}{R_{\text{дно}}} + \frac{1}{R_{\text{кр}}}, \quad (7)$$

де,  $R'_{\text{ст1}} = R'_{\text{ст2}} = R'_{\text{ст3}} = R'_{\text{ст4}} = R'$  - термічний опір стінок з мінеральної вати;  $R_{\text{дно}} = R_{\text{кр}} = R$  - термічний опір дна і кришки з пінополістиролу. Отже згідно з 7,

$$\frac{1}{R_{\text{заг2}}} = \frac{4}{R'} + \frac{2}{R}; \rightarrow R_{\text{заг2}} = \frac{R \cdot R'}{4 \cdot R + 2 \cdot R'}. \quad (8)$$

При загальних рівних умовах термічний опір – це відношення різниці температур на різних гранях ізоляційного матеріалу до величини теплового потоку, тобто:

$$R_{\text{заг1}} = \frac{dT_1}{dQ_1}, R_{\text{заг2}} = \frac{dT_2}{dQ_2}. \quad (9)$$

Оскільки теплові потоки рівні  $dQ_1 \approx dQ_2$ , то

$$\frac{dT_1}{R_{\text{заг1}}} = \frac{dT_2}{R_{\text{заг2}}}; \rightarrow \frac{dT_1}{dT_2} = \frac{R_{\text{заг1}}}{R_{\text{заг2}}}. \quad (10)$$

Оскільки дана задача не одномірна, а трьохмірна, то аналітичним способом її вирішити не вдасться, бо для її вирішення необхідно знати не лише теплопровідності всіх матеріалів (сталь, клей, теплоізоляційний матеріал), а й коефіцієнти теплопередачі на всіх границях розділу.

Тому припускаємо, що при рівних температурах градієнти теж рівні. Для визначення градієнту температур побудуємо графік залежності  $Lg(T_1)$  та  $Lg(T_2)$  (рис. 3). Градієнт температури є тангенсом кута нахилу прямої, отриманої шляхом логарифмування експериментальної кривої, до осі  $\tau$ . Тобто:

$$\frac{grad T_1}{grad T_2 \tau} = \frac{dT_1/dt}{dT_2/dt} = \frac{tg \beta}{tg \alpha} = 1,09, \quad (11)$$

де,  $\alpha = 26^\circ$  - кут нахилу прямої  $Lg(T_1)$ ;  $\beta = 28^\circ$  - кут нахилу прямої  $Lg(T_2)$ .

Підставивши в формулу 10 формули 5, 8 та 11 шляхом математичних перетворень отримали коефіцієнт теплопровідності мінеральної вати  $\lambda_{\text{мв}} = 0,039 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ , який на 7% менший за табличний.

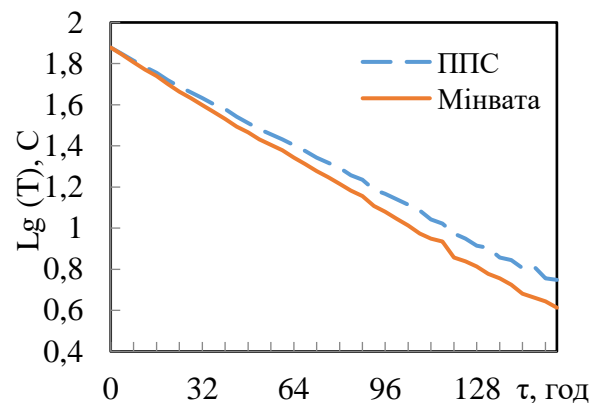


Рис. 3. Графік залежності логарифма температур в ємностях від часу охолодження  $Lg(T_1, T_2)$

**Висновки:** 1. Прилад, який розроблено за науково обґрунтованими принципами, дозволяє визначати коефіцієнт теплопровідності різних будівельних матеріалів, в тому числі теплоізоляційних матеріалів з неоднорідною структурою та з дефектами поверхні.

2. Значення коефіцієнта теплопровідності мінеральної вати, яке отримали за допомогою приладу, відрізняється на 7% від табличного значення і дорівнює  $0,039 \frac{\text{Вт}}{\text{м}\cdot\text{К}}$ .



3. В подальших дослідженнях для досягнення більшої точності коефіцієнта теплопровідності рекомендуємо удосконалити експериментальну установку і для фіксування показів температури в ємностях використовувати замість термометрів термопари, які розташовані на внутрішній стінці ємності посередині.

4. Показник теплопровідності отримали заниженим, бо на другій ємності комбінувалось два теплоізоляційних матеріали з різними коефіцієнтами, що сприяло не рівномірному розподілу градієнта температур. Для усунення даного явища необхідно низ, верх та бокові грані ємності обклеювати теплоізоляційним матеріалом одного виду.

### ЛІТЕРАТУРА:

1. Гурова Е.В. Определение теплопроводности строительных материалов / Е.В. Гурова – Омск: СиБАДИ, 2007. – 16 с.
2. Аметистов Е.Е. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент / Е.Е. Аметистов, В.А. Григорьев, В.М. Зорин. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
3. Осипова В.А. Экспериментальное исследование процессов теплообмена / В.А. Осипова – М.: Энергия, 1979. – 318 с.
4. Денисова Э.И. Измерение теплопроводности на измерителе ИТ-λ-400 / Э.И. Денисова, А.В. Шак. – Екатеринбург: УГТУ–УПИ, 2005. – 35с.
5. Жметко Д.М. Фізичні методи дослідження: Практикум для студентів фізичного факультету/Д.М. Жметко, П.В. Леміш// Запоріжжя: ЗНУ, 2008. – 77 с.
6. Пелецкий В.Э. Высокотемпературные исследования тепло- и электропроводности твёрдых тел / В.Э. Пелецкий, Д.Л. Тимрот, В.Ю. Воскресенский// М.: Энергия, 1971. – 192 с.
7. Rowley F.B. Thermal conductivity of building materials / F.B. Rowley, A.B. Algren. – USA: University of Minnesota, Minneapolis, 2002. – 134 p.
8. . Клименко А.В. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник / А.В. Клименко, В.М. Зорина// М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с.
9. ДСТУ Б В.2.7-41-95 (ГОСТ 30290-94). Будівельні матеріали. Матеріали і вироби будівельні. Метод визначення теплопровідності поверхневим перетворювачем. Чинний від 01.01.1996. – К.: НДІБФ, 1995. – 14с.
10. СП 23-101-2004. Проектирование тепловой защиты зданий. Деств. с 01.06.2004. – М.: ФГУП ЦПП, 2004. – 186с.
11. ТУ 5762-049-17925162-2006. Плиты теплоизоляционные минераловатные Роклайт. Технические условия. Действ. с 01.01.2006. – М.: «ТехноНИКОЛЬ», 2006. – 11с.

УДК 692.4

**Першина Л.О., Макаренко О.В.**

*Харківський національний університет будівництва та архітектури*

### СЛАНЕЦЬ ЯК ЕЛІТНИЙ ВАРІАНТ ПОКРІВЕЛЬНОГО ПОКРИТТЯ

**Вступ.** Вибір виду покрівельного матеріалу – відповідальна та складна задача. Покрівля є складовою частиною скатного даху, її верхньою частиною, яка захищає будівлю від механічних впливів і атмосферних опадів [1]. Обґрунтований вибір покрівельного покриття є визначальним для забезпечення умов довговічності, надійності та естетичності як покрівельної системи, так і споруди в цілому. Вибір мате-

ріалу для покрівельного покриття залежить від різних чинників: збору навантажень на покрівлю, архітектурного рішення покрівлі, умов і терміну її експлуатації [2]. Покрівельний матеріал має відповідати кліматичним особливостям даного регіону, навантаженням на покрівлю, нахилу її скатів, типу споруди та його архітектурному рішенню, умовам експлуатації покрівлі, задовольняти технічним вимогам