

УДК621.3

В.Ф. Рєзцов<sup>1</sup>, чл.-кор. НАН України, О.М.Суржик<sup>2</sup> (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ),  
О.О.Охота<sup>3</sup> (НТУУ "КПІ", Київ)

## Експериментальне дослідження теплопровідності композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії

Виконано експериментальні дослідження теплопровідності композиційних матеріалів колекторів сонячної енергії на основі вуглецю та наповнювачів. Бібл. 1, рис. 2.

**Ключові слова:** сонячний колектор, композиційний матеріал, теплопровідність.

ORCID: <sup>1</sup>0000 – 0001-8431-3968; <sup>2</sup>0000 – 0002 – 7403 – 8584; <sup>3</sup>0000 – 0002 – 4147 – 2931

**Вступ.** На сьогодні рівень розвитку пасивних сонячних технологій в Україні дуже низький. Відсутні надійні та довговічні матеріали з відповідними теплотехнічними характеристиками, які б відповідали вимогам новітніх технологій сонячного пасивного теплопостачання.

В результаті виконання даної роботи будуть розроблені нові композиційні матеріали, які з успіхом можна буде застосовувати як для пасивної, так і для активної сонячної енергетики. Вони будуть задовольняти вимогам новітніх технологій у цій галузі, таким як довговічність, висока надійність і теплопровідність, низька матеріаломісткість, стійкість до впливу вологого середовища, ультрафіолетового випромінювання і циклів "заморожування – відтавання" та інших природних екстремальних умов експлуатації.

**Метою роботи** є вимірювання ефективної теплопровідності серії зразків для вибору оптимального складу композиції нових матеріалів для використання їх у виробництві колекторів сонячної енергії.

Готову композицію можна представити однією моделлю при теоретичному розв'язанні задачі теплопровідності з метою визначення коефіцієнта теплопровідності. Однак значення ефективної теплопровідності на основі розрахункових даних можуть суттєво відрізнятися від експериментальних даних. Це пояснюється наявністю в композиті повітряних бульбашок, які виникають у процесі формування, нерівномір-

ністю розподілу по об'єму наповнювача та іншими ненормованими відхиленнями від моделі структури композиції [1].

Детальний аналіз існуючих експериментальних методів визначення теплопровідності показав, що найбільш прийнятними для дослідження композиційних матеріалів є методи, розроблені для плоских зразків. Ці методи відрізняються простою робочою формулою, фізичною наочністю процесів, відносною простотою апаратурного оформлення і, відповідно, більш високою надійністю отриманих результатів. Важливою особливістю цих методів є проста технологія виготовлення зразків, що мають форму диска.

**Установка для вимірювання теплопровідності** (рис. 1). Ефективна теплопровідність вимірювалася з використанням приладу ПТ-4, який призначений для вимірювання теплопровідності плоских зразків неметалевих матеріалів у стаціонарному режимі методом пластини.

Розрахункова формула для визначення теплопровідності:

$$\lambda = \frac{q \cdot h}{\Delta T}, \quad (1)$$

де  $q$  – питомий тепловий потік, що пронизує зразок, Вт/м<sup>2</sup>;  $h$  – товщина зразка, м;  $\Delta T$  – градієнт температур на зразку, К.

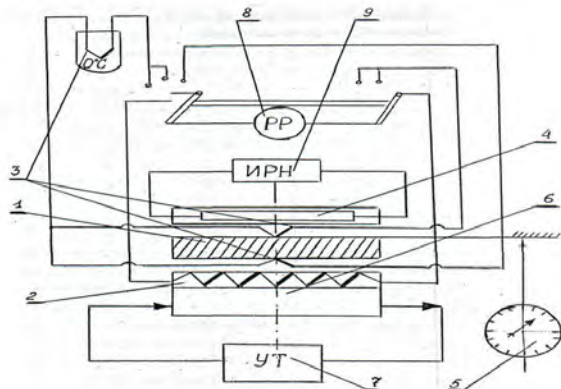
Вимірювання теплового потоку, що створюється електронагрівачем 4 і пронизує зразок 1, здійснюється за допомогою тепломіра 2.

Гradient температур на поверхнях зразка вимірюється термопарами 3, а товщина зразка – індикатором товщини 5. Холодильник 6 слугує для активного відводу теплоти від зразка рідиною з термостату 7. Реєстрація термо-ЕРС виконується за допомогою приладу Щ68000.

Електронагрівач 4 являє собою масивний мідний корпус із вмонтованою ніхромовою спіраллю, живлення якого відбувається від джерела регульованої напруги 9.

Холодильник 6 являє собою порожнинний проточний теплообмінник із тангенціальним входом рідини і відводом із центральної частини, що дозволяє уникнути застійних зон і повітряних бульбашок. Активне відведення теплоти відбувається за допомогою рідини, що циркулює через холодильник за рахунок насоса термостату 7.

Для вимірювання теплового потоку, що пронизує зразок, призначений тепломір 2, який вмонтований у плоску поверхню холодильника. Тепломір являє собою багатопарову диференційну гальванічну термобатарейку зі щільно упакованими термопарами.



**Рис. 1. Схема установки для вимірювання теплопровідності:**

- 1 – зразок; 2 – тепломір; 3 – термопари; 4 – нагрівач;
- 5 – індикатор товщини; 6 – холодильник; 7 – термостат;
- 8 – показуючий прилад; 9 – джерело живлення.

Робоча зона тепломіра являє собою диск діаметром 25 мм. Решту площі плоскої поверхні холодильника займає охоронна зона з такого ж матеріалу, що дозволяє досягти рівномірного термічного опору по всій площині.

Для вимірювання gradientу температур на зразку використовуються стрічкові хромель-алюмінієві термопари, вмонтовані в гумові підк-

ладки, що дозволяє знизити вимоги до обробки поверхонь зразків.

Перемикач показуючого приладу 8 дозволяє почергово підключати до вольтметра тепломір та диференційовано включені термопари 3.

Датчиком температури слугує спай хромель-алюмінієвої термопари, розміщеної в посудині Дьюара з танучим льодом.

**Метрологічне забезпечення установки.** Для забезпечення отримання достовірних результатів вимірювання було проведено метрологічне засвідчення установки згідно діючої методики МІ 155-88 за допомогою мір теплопровідності зразків з поліметилметакрилату ( $\lambda = 0,196$  Вт/м·К) і оптичного скла ФЕІ ( $\lambda = 0,710$  Вт/м·К) при температурі  $30 \pm 2^\circ\text{C}$ . В результаті засвідчення отримано докази того, що сумарна відносна похибка вимірювань теплопровідності не перевищує  $\pm 6\%$ .

При вимірюванні термо-ЕРС використовувалася мілівольтметр класу не нижче 0,05. При вимірюванні товщини зразка використовувалася індикатор товщини з похибкою вимірювання  $\pm 1 \cdot 10^{-5}$  м. Похибка атестації мір теплопровідності зразків складає  $\pm 3\%$ .

Прилад для вимірювання теплопровідності ПТ-4 пройшов державний приймальний контроль і внесений у Державний реєстр вимірювальних мір і приладів під №8440-88. Сумарна похибка вимірювання теплопровідності зразків у діапазоні від 0,035 до 150,0 Вт/м·К становить не більше  $\pm 6\%$ .

**Підготовка зразків і методика вимірювань.** Для отримання ефективної теплопровідності зразків композиційних матеріалів на основі вуглепластику були підготовлені зразки діаметром 100 мм і товщиною 5-7 мм.

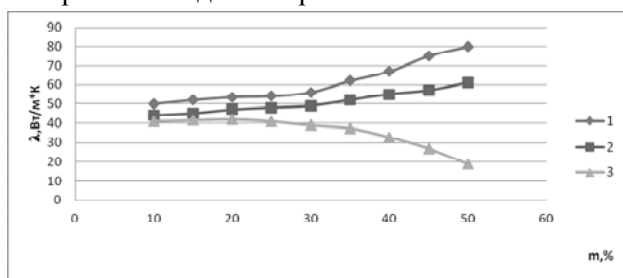
Вимірювання підготовлених зразків проводилися за середньої температури  $30 \pm 5^\circ\text{C}$  із п'ятикратним розміщенням зразка у приладі ПТ-4 і перегортанням. За результат вимірювання ефективної теплопровідності приймалося середнє арифметичне значення із 5 розміщень.

Після кожного розміщення зразка в робочій зоні приладу проводилася витримка протягом 30-40 хв. За цей час встановлювався гарантований стаціонарний тепловий режим. Після закінчення витримки зразка з інтервалом у 5 хв

не менше 5 разів знімалися показники тепломіру з термопар.

**Результати вимірювань ефективної теплопровідності.** Для вибору оптимального складу композиції зразків матеріалу для колекторів сонячної енергії досліджувались композиційні матеріали, які включали базову складову, наповнювачі та зв'язуючі: Б – базова складова: матово-чорний графіт (алотропна модифікація вуглецю),  $\lambda = 119$  Вт/м·К; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм); З – зв'язуючі: смола поліефірна ПН-21, нафтенат кобальту в стиролі, гіперіз. Алюмінієвий дріб сприяє збільшенню жорсткості матеріалу, а гумова крихта забезпечує його еластичність та гнучкість. При складанні рецептури строго дотримувались порядку введення компонент: у 100 м.ч. (масових частин) смоли ПН-21 та базової складової (співвідношення 1/1) ввести наповнювачі, а потім додати розчин нафтенату кобальту в стиролі (5 м.ч.). Все швидко перемішати, після чого ввести гіперіз – 4 м.ч. (не допускати змішування нафтенату кобальту з гіперізом за межами композиції). Умови затвердіння матеріалу: холодне затвердіння протягом 24 годин.

Результати вимірювання ефективної теплопровідності деяких зразків композиційних матеріалів наведено на рис. 2.



**Рис. 2. Ефективна теплопровідність зразків композиційних матеріалів:**

1. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), концентрація  $m$ , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу;

2. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: алюмінієвий дріб (діаметр 1,5 мм), концентрація  $m$ , %, гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм), концентрація  $m$ , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу;

3. Б – базова складова: матово-чорний графіт; Н – наповнювачі: гумова крихта (діаметр 1-1,5 мм), концентрація  $m$ , %; З – зв'язуючі: поліефірна смола ПН-21 + 5 м.ч. нафтенату кобальту + 4 м.ч. гіперізу.

Як можна побачити з рис. 2, на теплопровідність матеріалу суттєво впливає концентрація наповнювача. Збільшення кількості наповнювача з гумової крихти сприяє зменшенню коефіцієнта теплопровідності, тоді як збільшення кількості металевого наповнювача до 30-35% сприяє значному підвищенню коефіцієнта теплопровідності.

**Висновки.** В результаті експериментального дослідження ефективної теплопровідності композиційних матеріалів встановлено, що на теплопровідність матеріалу значно впливає концентрація введеного наповнювача. Збільшення кількості введеного металевого наповнювача до 30-35% сприяє значному підвищенню коефіцієнта теплопровідності.

1. Суржик Т.В. Технологія виготовлення полімерних сонячних колекторів // Відновлювана енергетика. – №2. – 2008. – С. 36–38.

REFERENCES

1. Surzhyk T.V. Manufacturing technology of polymer solar collectors // Renewable energy. – №2. – 2008. – Pp. 36–38 (Ukr).

**В.Ф.Резцов**, чл.-кор. НАН України, **А.Н.Суржик** (Інститут возобновляемой энергетики НАН України, Київ); **А.А.Охота** (НТУУ "КПИ", Київ)

**Експериментальное исследование теплопроводности композиционных материалов коллекторов солнечной энергии**

Выполнены экспериментальные исследования теплопроводности композиционных материалов коллекторов солнечной энергии на основе углерода и наполнителей. Бібл. 1, рис. 2.

**Ключевые слова:** солнечный коллектор, композиционный материал, теплопроводность.

**V.F.Ryetzsov**, Corresponding Member of NAS of Ukraine, **O. M.Surzhyk** (Renewable Energy Institute of NAS of Ukraine, Kyiv); **O.O.Okhot**a (NTUU "KPI", Kyiv)

**Experimental study of the thermal conductivity of composite materials collectors of solar energy**

Experimental study of thermal conductivity of composite materials Solar energy and carbon-based fillers. Reference 1, figures 2.

**Keywords:** solar collector, composite material, thermal conductivity.

**Summary**

The aim is to measure the effective thermal conductivity of a series of designs to select optimal composition and its use in solar energy collectors. Detailed analysis of existing experimental methods for determining thermal conductivity

showed that the most suitable for the study of composite materials are techniques developed for flat samples. An important feature of these methods - simple manufacturing technology designs, the shape of the disk. Investigated composite materials, which included a base component, fillers and binders. For data were obtained graphs.

Стаття надійшла до редакції 04.06.16

Остаточна версія 14.06.16

**МІЖНАРОДНИЙ ІНВЕСТИЦІЙНИЙ БІЗНЕС-ФОРУМ З ПИТАНЬ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ**  
**ІХ МІЖНАРОДНА СПЕЦІАЛІЗОВАНА ВИСТАВКА**  
**ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ. ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА - 2016**  
АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ, ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧІ ТЕХНОЛОГІЇ, ОБЛАДНАННЯ, МАТЕРІАЛИ

**8-10**  
**листопада**

**ІЕС**

**МІЖНАРОДНИЙ ВИСТАВКОВИЙ ЦЕНТР**  
Україна, Київ, Броварський пр-т, 15  
М "Лівобережна"  
☎ +38 044 201-11-66, 206-87-86  
e-mail: [energo@iec-expo.com.ua](mailto:energo@iec-expo.com.ua)  
[www.iec-expo.com.ua](http://www.iec-expo.com.ua), [www.tech-expo.com.ua](http://www.tech-expo.com.ua)

ОРГАНІЗАТОР:  
Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України

СПІВОРГАНІЗАТОР:  
Міжнародний виставковий центр

ГАЛУЗЕВИЙ ПАРТНЕР:  
Українська Вітроенергетична Асоціація

Технічний партнер: *Rand Media*