

УДК 621.763

ПРИЙМАК О.В., ПАСІЧНИК П.О.

Київський національний університет будівництва і архітектури

**ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕПЛОВІДДАЧІ АБСОРБЕРА  
СОНЯЧНОГО ПОВІТРОПІДГРІВАЧА  
ВИГОТОВЛЕНОГО З ГОФРОВАНОЇ  
ВУГЛЕГРАФІТОВОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА**

***Мета.** Дослідити конвективний теплообмін між абсорбером та омиваючим його повітрям. Знайти оптимальний спосіб гофрування вуглеграфітового трикотажного полотна для використання його у сонячних повітропідігрівачах.*

***Методика.** В статті розглянуто експериментальний спосіб дослідження тепловіддачі при різних способах гофрування, порівняно їх між собою та співставлено з теоретичними даними щодо продуву рівної тканини вздовж.*

***Результати.** Було досліджено характер тепловіддачі при різних способах гофрування та представлено її у вигляді рівнянь  $Nu = f(Re)$  для діапазону чисел Рейнольдса  $10^3 > Re > 10^4$ . Після обробки експериментальних даних отримані критеріальні рівняння виду  $Nu = C \cdot Re^n$ , що описують конвективний теплообмін між абсорбером з вуглеграфітового полотна і омиваючим його повітрям.*

***Наукова новизна.** Отримано критеріальні рівняння конвективного теплообміну між гофрованим вуглеграфітовим полотном, вкладеним у плоский канал, та повітрям що продувається через канал.*

***Практична значимість.** Визначено оптимальний спосіб гофрування вуглеграфітового полотна для використання у сонячному повітропідігрівачі.*

***Ключові слова:** сонячний повітропідігрівач, вуглеграфітове трикотажне полотно, конвективний теплообмін, геліотехніка.*

**Вступ.** Розвиток впровадження геліосистем теплопостачання в Україні потребує розвитку геліотехнічного обладнання. Основні напрямки розвитку сонячних теплових колекторів: здешевлення (без погіршення енергетичної ефективності у порівнянні з існуючими на ринку моделями) та поліпшення експлуатаційних показників (зменшення ваги та крихкості). Як відмічають експерти [1], основний шлях удосконалення усіх типів геліоколекторів це використання для конструювання їх елементів нових матеріалів.

Для сонячних повітропідігрівачів використання нових матеріалів для виготовлення абсорберів сонячного випромінювання значно розширене можливістю застосування насадкових та пористо-капілярних матеріалів, на відміну від рідинних геліоколекторів, де постає необхідність утворення герметичних каналів у тілі абсорбера для проходження теплоносія. Знаходження та дослідження таких матеріалів викликає науковий інтерес.

**Мета.** Під час літературного та патентного дослідження [2] не виявлено випадків застосування вуглеграфітового трикотажного полотна у якості абсорбера сонячного теплового колектору. Метою статті є дослідження тепловіддачі між трикотажним абсорбером та омиваючим його повітрям, а також визначення оптимальної геометрії вкладання полотна у повітропідігрівач.

**Постановка задачі.** Для дослідження тепловіддачі в повітропідігрівачі необхідно провести експеримент, обробити дані та визначити критеріальні залежності в робочому діапазоні чисел Рейнольдса для різних способів гофрування вуглеграфітового полотна.

1. Методика проведення експериментальних досліджень. Для дослідження сонячного повітропідігрівача з абсорбером із вуглеграфітового трикотажного полотна на базі кафедри теплотехніки КНУБА сформовано випробувальний стенд (детальний опис приведено у [3]). Характеристики використаної у дослідженні вуглеграфітового полотна приведено в табл.1

Таблиця 1.

**Характеристики використаного трикотажу**

№	Характеристика	Розмірність	Значення
1	Поверхня щільність (вага 1 м <sup>2</sup> )	кг/м <sup>2</sup>	1597
2	Питомий поверхневий електричний опір	Ом·м	0,4·10 <sup>4</sup>
3	Повітропроникність	Дм <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> с	90(72-108)
4	Вогнестійкість	сек	(вогнестійке)
5	Товщина полотна	мм	3-4
6	Вміст вуглецю	%	98,5
7	Вміст золи	%	1,5
8	Середня теплопровідність волокна	Вт/м К	287
9	Теплоємність волокна	кДж/кг К	0,72
10	Температуропровідність волокна	м <sup>2</sup> /с	0,181
11	Водопоглинання	%	132,6
12	Залишкова деформація по довжині	%	4
13	Залишкова деформація по ширині	%	7

Дослід проводиться для каналу висотою 20мм, шириною 460мм та довжиною 1000мм. Полотно в каналі укладено гофровано – ребрами уздовж напрямку потоку повітря. Відстань від верху ребер до осклення складає 10мм, висота ребер також 10мм. Для визначення оптимальної відстані між ребрами кут розкриття гофри γ змінний (рис.1). Підведена до абсорбера потужність складає 100 Вт, швидкість в каналі змінюється в діапазоні 0,5 – 3,0 м/с. Для чистоти експерименту підвід теплоти до абсорбера здійснюється електричним струмом, а світлопрозоре покриття закрито шаром теплової ізоляції зі світловідбиваючою поверхнею, що обернена до каналу. Це дає змогу запобігти променевим та конвективним тепловтратам через осклення. Для визначення температури тканини в неї було вживлено вісім термопар, як показано на рис. 1. Температура та витрата повітря визначалась термоанемометром Testo 425.

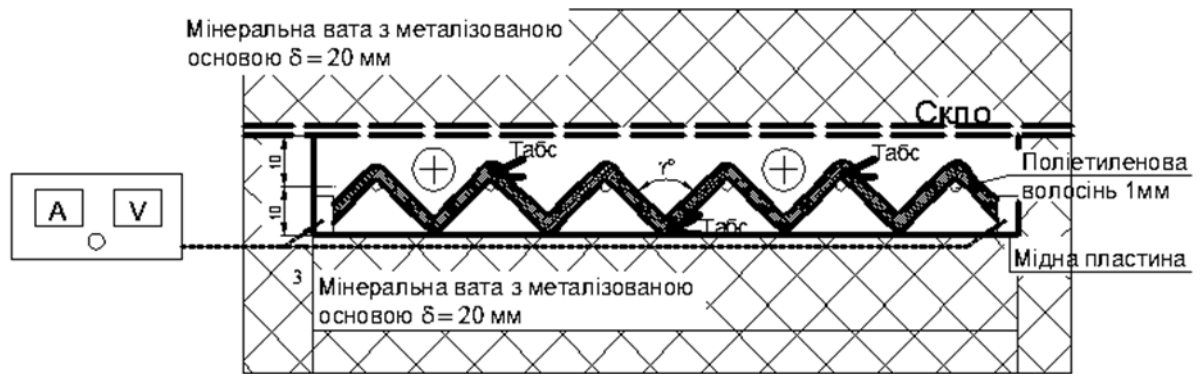


Рис. 1. Переріз експериментальної секції повітропідігрівача (напрямок руху повітря перпендикулярний площині рисунка)

2. Методика обробки результатів експерименту. Коефіцієнт тепловіддачі  $\alpha_{абс}$  визначається з рівняння Ньютона-Ріхмана [4]:

$$Q = \alpha_{абс} \cdot F \cdot (t_{ср.нов} - t_{ср.абс}), \quad (1)$$

де  $Q$  – кількість теплоти, що передана повітря, Вт;

$F$  – площа абсорбера,  $m^2$ ;

$t_{ср.нов}$  – середня температура повітря у повітропідігрівачі,  $^{\circ}C$ ;

$t_{ср.абс}$  – середня температура абсорбера повітропідігрівача,  $^{\circ}C$ ;

В свою чергу, кількість теплоти, що отримало повітря визначається з виразу:

$$Q = G \cdot c_p \cdot (t_{кк} - t_{нк}), \quad (2)$$

де  $G$  – масова витрата повітря,  $кг/с$  ;

$c_p$  – ізобарна теплоємність повітря,  $кДж/кг\ K$ ;

$t_{кк}$  – температура повітря в кінці каналу,  $^{\circ}C$ ;

$t_{нк}$  – температура повітря на початку каналу,  $^{\circ}C$ ;

Об'єднавши рівняння (1) і (2) отримаємо:

$$\alpha_{абс} = \frac{G \cdot c_p \cdot (t_{ср.нов} - t_{ср.абс})}{F \cdot (t_{кк} - t_{нк})}, \quad (3)$$

Згідно [4] характер тепловіддачі між нагрітою стінкою та омиваючим її повітрям описується рівнянням:

$$Nu = C \cdot Re^n, \quad (4)$$

де  $Nu$  – число Нуссельта;

$Re$  – число Рейнольдса;

$C$  і  $n$  – сталі, що визначаються експериментально.

Критерії подібності для каналу визначаються наступними рівняннями [4]:

$$Nu = \frac{\alpha_{абс} \cdot D_{екв}}{\lambda_{нов}}, \quad (5)$$

$$Re = \frac{\rho \cdot V \cdot D_{екв}}{\mu}, \quad (6)$$

де  $D_{екв}$  – еквівалентний діаметр каналу,  $м$ ;

$\lambda_{нов}$  – коефіцієнт теплопровідності повітря,  $Вт/м\ K$ ;

$\rho$  – густина повітря,  $кг/м^3$ ;

$V$  – швидкість повітря у каналі, м/с;

$\mu$  – коефіцієнт динамічної в'язкості повітря, Н·с/м<sup>2</sup>;

Еквівалентний діаметр плаского каналу з частковим заповненням його простору визначається з рівняння [5]:

$$D_{екв} = \frac{4 \cdot F_0 \cdot \psi \cdot L}{F}, \quad (7)$$

де  $F_0$  – площа перерізу каналу, м<sup>2</sup>;

$\psi$  – об'ємна доля пустот у каналі (пористість);

$L$  – довжина омивання, м;

Пористість каналу визначається з виразу [5]:

$$\psi = 1 - \frac{V_{тк}}{V}, \quad (8)$$

де  $V_{тк}$  – об'єм тканини в каналі (визначається способом Архімеда), м<sup>3</sup>;

$V$  – об'єм каналу без тканини, м<sup>3</sup>;

Критеріальні рівняння для випадку обдуву тканин повітрям зустрічаються у працях Луцика Р.В. та Малкіна Е.С.[6]:

$$Nu = 0,6 \cdot Re^{0,5} \cdot Pr^{0,43}, \quad (9)$$

проте для отриманих ними рівнянь не вказано робочий діапазон чисел Рейнольдса, матеріал був рівно розтягнутий і вологість тканин складала не менше 50%, тому необхідно перевірити чи коректні відомі рівняння для випадку обдуву вуглеграфітового трикотажного полотна гофровано укладеного у плаский канал.

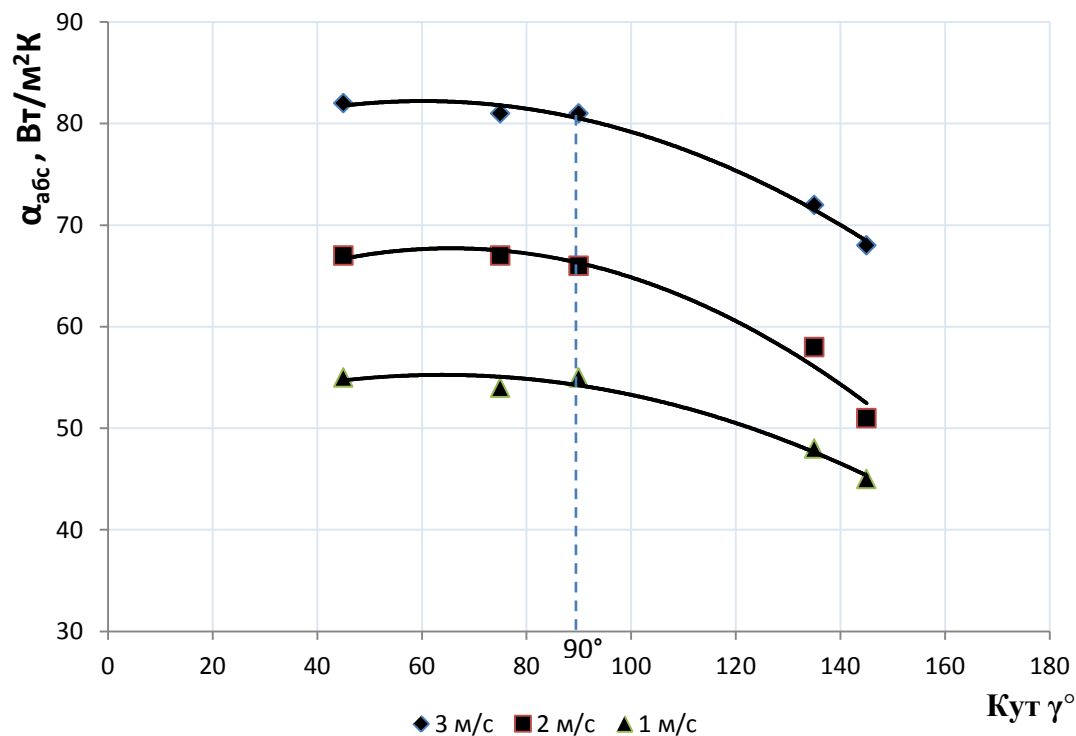


Рис. 2. Залежність коефіцієнту тепловіддачі  $\alpha_{абс}$  від кута розкриття гофрування  $\gamma$

3. Результати експериментальних досліджень. Досліди проведено для кутів розкриття гофри 45°, 75°, 90°, 135°, 145°. Для визначення оптимального кута розкриття побудована залежність  $\alpha_{abc} = f(\gamma)$  (рис.2). Аналізуючи графік можна зробити висновок,

що при  $\gamma \leq 90^\circ$  коефіцієнт тепловіддачі майже незмінний. Враховуючи, що при зменшенні кута розкриття збільшується кількість матеріалу абсорберу, а коефіцієнт тепловіддачі вже не зростає (рис.2) оптимальним кутом розкриття гофри приймаємо  $\gamma \approx 90^\circ$ .

Визначивши оптимальний спосіб укладки вуглеграфітового полотна в повітропідігрівачі, на основі рівнянь (5) та (6) побудовано графічну залежність  $Nu=f(Re)$  для кута розкриття гофрування 90° (рис.3). З графіка видно, що відома теоретична залежність Луцика-Малкіна не підходить для даного досліджуваного випадку. На основі графіка методом логарифмування [4] визначено значення сталих  $C$  і  $n$  для рівняння (4) з точністю близько 97%, після чого при  $10^3 \leq Re \leq 10^4$  рівняння (4) набуває вигляду:

$$Nu = 0,122 \cdot Re^{0,8} \quad (10)$$

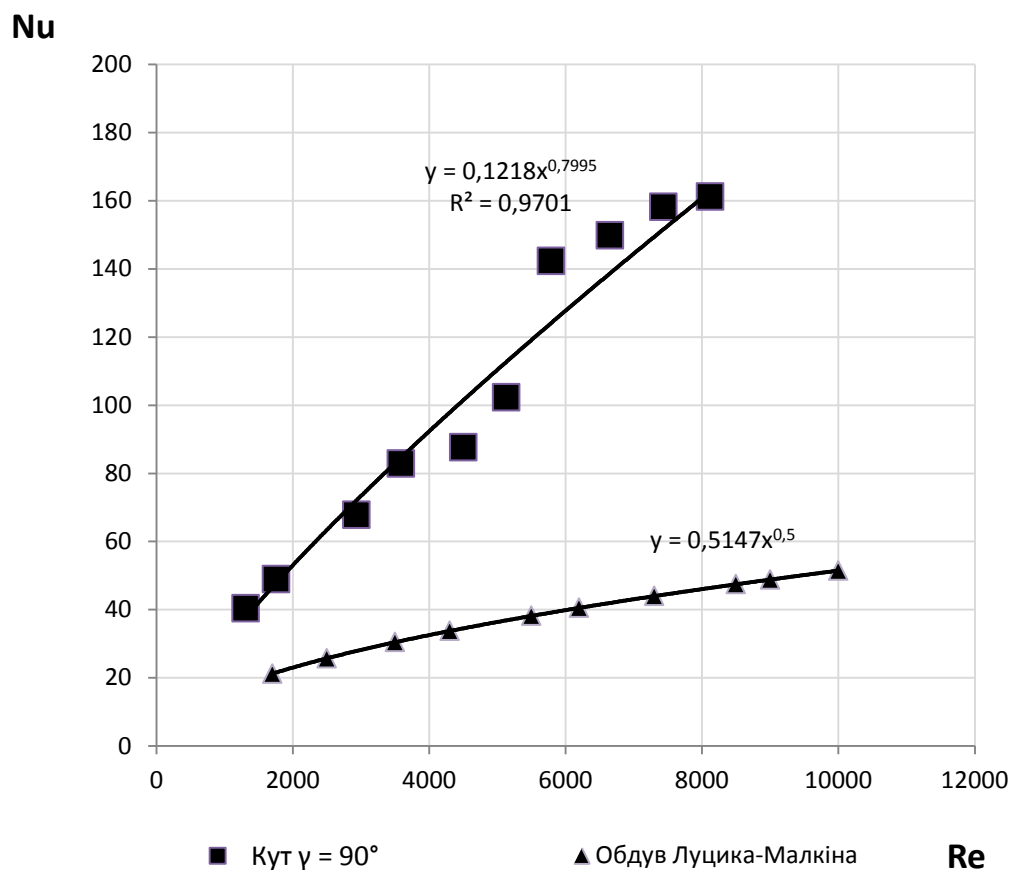


Рис.3. Графічне зображення залежності  $Nu=f(Re)$

**Висновки:**

1. Необхідні подальші дослідження сонячних повітропідігрівачів з абсорбером із вуглеграфітового трикутного полотна з точки зору аеродинаміки, оптики та економіки.

2. Проведені дослідження встановили, що оптимальний кут розкриття гофрування вуглеграфітового полотна у сонячному повітропідігрівачі з точки зору тепловіддачі становить  $90^\circ$ . Величина оптимального кута розкриття не залежить від швидкості повітря, що омиває абсорбер.

3. На основі експериментальних досліджень отримано критеріальне рівняння, що характеризує конвективний теплообмін між гофрованою вуглеграфітовим трикотажним полотном укладеним у плаский канал при  $10^3 \leq Re \leq 10^4$ :  $Nu = 0,122 Re^{0,8}$ . Встановлено, що використання відомого рівняння Луцика-Малкіна для обдуву тканини буде некоректним.

#### Список використаних джерел

1. ООО «Виссманн». Книга о «солнце» /- К.: Злато-Граф, 2010, 195с.
2. Пасічник П.О., Приймак О.В. Проблеми застосування повітряних геліосистем. Енергоефективність в будівництві: науково-технічний збірник. – Вип. 5/– К.: КНУБА, 2014. – 201-204 с.
3. Пасічник П.О., Експериментальне дослідження поглинаючої здатності абсорбера сонячного випромінювання виготовленого з вуглеграфітової тканини – Вип. 7/– К.: КНУБА, 2015. – 201-204 с.
4. Михеев М.А., Михеева И.М., Основы теплопередачи. Изд. 2-е, стереотип. М.: Энергия, 1977. - 344с.
5. Каст В.и др., Конвективный тепло- и массоперенос. Пер. с нем. – М.: Энергия, 1980. – 49с.
6. Луцик Р.В., Малкин Э.С., Абаржи И.И., Тепло- и массообмен при обработке текстильных материалов. – Киев: Наукова думка, 1993. – 343 с.

#### References

1. ООО «Vissmann». Книга о «solntse» /- К.: Zlato-Graf, 2010, 195p.
2. Pasichnik P.O., Priymak O.V. Problemi zastosuvannya povitryanih geliosistem. Energoefektivnist v budivnitstvi: naukovo-tehnichnyy zbirnik. – Vol. 5/– К.: КНУБА, 2014. – 201-204 p.
3. Pasichnik P.O., Eksperimentalne doslidzhennya poglinayuchoyi zdatnosti absorbera sonyachnogo viprominyuvannya vigotovlenogo z vuglegraffitovoyi tkanini – Vol. 7/– К.: КНУБА, 2015. – 201-204 p.
4. Miheev M.A., Miheeva I.M., Osnovy teploperedachi. Izd. 2-e, stereotip. M.: Energiya, 1977. – 344p.
5. Kast V., Konvektivnyiy teplo- i massoperenos. Per. s nem. – М.: Energiya, 1980. – 49p.
6. Lutsik R.V., Malkin E.S., Abarzhi I.I., Teplo- i massoobmen pri obrabotke tekstilnyih materialov. – Kiev: Naukova dumka, 1993. – 343 p.

*Рекомендовано до публікації д.т.н., проф. Волошкиною О.С.*

#### ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛООТДАЧИ АБСОРБЕРА СОЛНЕЧНОГО ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЯ ИЗГОТОВЛЕННОГО ИЗ ГОФРИРОВАННОГО УГЛЕГРАФИТОВОГО ТРИКОТАЖНОГО ПОЛОТНА ПРИЙМАК А.В., ПАСЕЧНИК П.А.

*Киевский национальный университет строительства и архитектуры*

**Цель.** Исследовать конвективный теплообмен между абсорбером и омывающим его воздухом. Найти оптимальный способ гофрирования углеграфитового трикотажного полотна для использования его в солнечных воздухонагревателях.

**Методика.** В статье рассмотрен экспериментальный способ исследования теплоотдачи при различных способах гофрирования, сравнение их между собой и сопоставление с теоретическими данными о продуве вдоль ровной ткани.

**Результаты.** Было исследовано характер теплоотдачи при различных способах гофрирования и представлен в виде уравнений  $Nu = f(Re)$  для диапазона чисел Рейнольдса  $10^3 > Re > 10^4$ . После обработки экспериментальных данных получены критериальные уравнения вида  $Nu = C \cdot Re^n$ , описывающее конвективный теплообмен между абсорбером с углеграфитового полотна и омывающим его воздухом.

**Научная новизна.** Получены критериальные уравнения конвективного теплообмена между гофрированным углеграфитовым полотном, уложенным в плоский канал, и продуваемым через канал воздухом.

**Практическая значимость.** Определен оптимальный способ гофрирования углеграфитового полотна для использования в солнечном воздухоподогревателе.

**Ключевые слова:** *солнечный воздухоподогреватель, углеграфитовое трикотажное полотно, конвективный теплообмен, гелиотехника.*

**RESEARCH CONVECTIVE HEAT TRANSFER FROM SOLAR AIR HEATER  
ABSORBERS, WHICH IS MADE OF CORRUGATED CARBON TEXTILE  
PRIYMAK O., PASICHNIK P.**

*The Kiev National University of Construction and architecture*

**Purpose.** Explore the convective heat transfer between the absorber and air. Find the best way corrugating carbon textiles for use in solar air heater.

**Methodology.** The paper presents an experimental method of investigation convective heat transfer at different ways of corrugating. The obtained results are compared with theoretical equations.

**Findings.** It has been studied the nature of heat transfer at various ways of pleating and presented in the form of equations  $Nu = f(Re)$  for a range of Reynolds numbers  $10^3 > Re > 10^4$ . After processing of the experimental data obtained criterial equations of the form  $Nu=C \cdot Re^n$ , describing convective heat transfer between the absorber with carbon textile and air.

**Originality.** We obtain criteria equations of convective heat transfer between the corrugated carbon textile, laid in a flat channel and blown through the air channel.

**Practical value.** It was found the best way of laying carbon textile for use in a solar air heater.

**Keywords:** *solar air heater, carbon textile, convective heat transfer, solar technology.*