

УДК: 621.4:662.9

ВПЛИВ ФІЗИКО-ТЕХНІЧНИХ ОСОБЛИВОСТЕЙ ПРОШАРКІВ КОНСТРУКЦІЇ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ СОНЯЧНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФУНКЦІОНУВАННЯ

Отримано 10 квіт. 2022; рекомендовано до публікації 6 черв. 2022
Доступно онлайн 30 черв. 2022

В. О. Габрінець¹, Л. В. Накашидзе²

Автор для кореспонденції: Лілія Накашидзе
e-mail: oton_dnu@ukr.net

¹ д-р техн. наук, проф., Український державний університет науки і технологій, Дніпро <https://orcid.org/0000-0002-6115-7162>

² д-р. техн. наук, старш. наук. співроб., Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара <https://orcid.org/0000-0003-3990-6718>

У статті розглянуто особливості процесу теплообміну в такому елементі системи перетворення сонячного випромінювання енергоактивних покриттів будівель, як вертикальний розширений контур. Використання енергоактивних покриттів дозволяє знизити споживання енергії в середньому за рік в 3,5 раза. Ці конструкції спроможні забезпечити максимальну ефективність використання енергії сонячного випромінювання. Один з ключових конструктивних елементів енергоактивних покриттів може бути використаний як перетворювач сонячної радіації в теплову енергію. При технічно можливих параметрах енергоактивні покриття спрямовують потік повітря по контуру та регулюють ступінь його нагріву при різних рівнях освітленості сонячним випромінюванням. Під час дослідження використовувалися такі методи: системний аналіз, групування; логічне узагальнення; метод аналітичної ієрархії; метод аналізу охоплення даних; графічний.

При аналізі особливостей функціонування враховано, що зовнішні кліматичні фактори – це сукупність ймовірних факторів, взаємодія термодинамічної інженерної системи з навколишнім середовищем та особливості технічного проектування. Запропонований підхід є спрощеним і навіть на етапі техніко-конструктивного прогнозування дозволяє оцінити особливості коливань температури в багатошарових конструкціях перетворювачів відновлюваних джерел енергії та обґрунтовано вибрати багатошарову конструкцію перетворювача відновлюваних джерел енергії з урахуванням особливостей умов експлуатації. При правильному виборі конструкції енергоактивного паркану використання такої системи дозволить знизити витрати енергії на гаряче водопостачання та опалення приміщень.

Ключові слова: енергоактивні покриття, відновлювані джерела енергії, перетворювач, інтенсивність сонячного випромінювання, технічний дизайн, тепла енергія.

INFLUENCE OF THE PHYSICAL AND TECHNICAL CHARACTERISTICS OF THE CONSTRUCTION LAYERS OF SOLAR RADIATION CONVERTERS ON THE EFFICIENCY OF FUNCTIONING

Received 10 April 2022; accepted 6 June 2022.
Available online 30 June 2022

V. Gabrinets¹, L. Nakashidze²

Author for correspondence: Liliya Nakashidze
e-mail: oton_dnu@ukr.net

¹ DScTech., Prof., Ukrainian State University of Science and Technology, Dnipro <https://orcid.org/0000-0002-6115-7162>

² DScTech, senior researcher, Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro <https://orcid.org/0000-0003-3990-6718>

The article considers the peculiarities of the heat exchange process in such an element of the system of conversion of solar radiation of buildings' energy-active coatings as a vertical extended circuit. The use of energy-efficient coatings can reduce energy consumption by an average of 3.5 times per year. These designs are able to ensure maximum efficiency in the use of solar energy. One of the key structural elements of energy-active coatings can be used as a converter of solar radiation into thermal energy.

According to technically possible parameters, energy-active coatings direct the flow of air along the circuit and regulate the degree of its heating at different levels of illumination by solar radiation. The following methods were used during the study: systems analysis, grouping; logical generalization; method of analytical hierarchy; data coverage analysis method; graphic.

The analysis of the peculiarities of functioning takes into account that external climatic factors are a set of probable factors, the interaction of thermodynamic engineering system with the environment and features of technical design. The proposed approach is simplified and even at the stage of technical and constructive forecasting allows to assess the features of temperature fluctuations in multilayer structures of renewable energy converters and reasonably choose a multilayer design of renewable energy converters taking into account the features. operating conditions. With the right choice of energy-efficient fence design, the use of such a system will reduce energy costs for hot water supply and space heating.

Keywords: *energy-active coatings, renewable energy sources, converters, intensity of solar radiation, technical design, thermal energy*

Перелік використаних скорочень та позначень:

g — прискорення сили тяжіння	δ — товщина стінки каналу
ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря	λ — теплопровідність стінки каналу
β — об'ємний коефіцієнт теплового розширення	t_0 — температура навколишнього середовища
h — висота каналу	C_p — теплоємність повітря
ϑ — характерна різниця температур	α — коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею енергоактивного покриття
q — інтенсивність сонячної радіації, що надходить на енергоактивне покриття	t_0 — деяка відома початкова температура теплоносія, яка дорівнює температурі навколишнього середовища
α_1, α_2 — коефіцієнти тепловіддачі з боку внутрішньої та зовнішньої стінок каналу	

Вступ. Перспективними засобами підвищення ефективності енергопостачання є підвищення теплового опору базових будівельних огорожень та комбінування такого підвищення з одночасним використанням відновлюваних джерел енергії з використанням енергоактивних покриттів (ЕАП). Найпоширенішим варіантом таких технологій є так зване «пасивне утеплення», тобто будівельна теплоізоляція стін, покрівлі, установка металопластикових вікон. Проте здійснення термомодернізації лише за рахунок збільшення шару ізоляції не завжди призводить до рівня енергоспоживання, який визначається європейськими нормативними документами. Тому більш перспективною технологією є використання ЕАП, які поєднують функції теплоізоляції з можливістю перетворення в альтернативне тепло енергії сонячного випромінювання [5, 6, 7, 8], наприклад сонячного випромінювання, навколишнє тепло або утилізувати тепло вентиляційного повітря.

При прогнозуванні техніко-енергетичних характеристик систем енергопостачання, які використовують ЕАП, важливо моделювати процеси, що будуть відбуватися в структурних елементах таких систем. Так в певні періоди року ЕАП виконує функції, притаманні сонячним колекторним системам опалення та гарячого водопостачання, забезпечуючи одночасне перетворення, а також перерозподіл та накопичення сонячної енергії. З іншого боку, в зимовий та літній періоди року вони виконують функцію теплоізоляції. Додатковою функцією ЕАП є можливість їх застосування в системах кондиціонування повітря.

Мета та завдання. Метою роботи є створення універсального комплексного науково-методичного підходу до побудови комплексних енергоефективних систем клімату приміщень на основі використання сонячної енергії та навколишнього середовища.

Відповідно до поставленої мети вирішуються такі завдання:

- визначення критеріїв урахування фізико-технічних особливостей кожного шару перетворювача відновлюваних джерел енергії;
- моделювання процесів у перетворювачі відновлюваних джерел енергії.

Результати досліджень. Загальний набір функцій, перерахованих вище, повинен бути спрямований на забезпечення необхідних споживачу режимів роботи. При цьому споруду доцільно розглядати як єдину енергосистему «базове огороження – енергоактивне покриття», усі елементи якої взаємопов'язані. Режимми роботи такої системи визначаються зовнішніми кліматичними факторами та вимогами споживача до мікроклімату приміщення [9, 12].

При проведенні аналізу необхідно враховувати, що зовнішні кліматичні фактори – це комплекс імовірних факторів, характеристики яких постійно змінюються в часі та просторі внаслідок нестабільності та мінливості атмосферних явищ, таких як:

- температура навколишнього середовища;
- напрямок і швидкість вітрових потоків;
- інтенсивність прямого та розсіяного випромінювання та ін.

Також на етапі проектування та розрахунку термодинамічної інженерної системи «базове огороження - енергоактивне покриття» необхідно враховувати особливості проходження робочих процесів в каналах, створених з різних матеріалів, які наявні в технологічній конструкції. Тобто необхідно розглянути наявність фізичних обмежень (які можуть бути й незворотними).

Відомо, що в таких інженерних системах, як ЕАП, для споруд існують такі незворотні процеси [13, 14, 15]:

- нагрівання;
- змішування крапельних або газоподібних рідин, які є різними за складом та температурою;
- передавання теплоти в теплообмінних апаратах;
- протікання рідин через пристрої, які за своєю конструкцією є дроселями, та ін.

Крім того, при побудові систем енергозабезпечення, що використовують енергію відновлюваних джерел, насамперед сонячне випромінювання, необхідно враховувати особливості протікання теплотехнічних процесів у багатофункціональних технологічних пристроях (енергетично активних покриттях).

Енергоактивні покриття, які використовуються як основні елементи системи енергозабезпечення, конструктивно оснащені сполучними елементами, що обмежують їх поверхню та мають певні геометричні розміри та конфігурацію. Перетворювачі ВДЕ технологічно виготовляються з ряду структурних прошарків з різних матеріалів, паралельних зовнішнім поверхням, які обмежують цей пристрій.

Вплив потоку теплової енергії сонячного випромінювання та тепла навколишнього середовища, що надходять на поверхню енергоефективного покриття, можна передбачити на основі теорії подібності теплопередачі [3, 4] при природній конвекції в необмеженому просторі. Для прошарків, які конструктивно доступні в перетворювачі ВДЕ, ці компоненти розглядаються як елементи з вертикальним і поздовжнім каналами. Тому в даному випадку можна використовувати теорію теплообміну, запропоновану М. А. Міхеєвим. Основи методики розрахунку температурних полів засновані на роботах Богословського В. Н., Власова О. Є., Ликова А. В., Мачинського В. Д., Одкульського Є. Ф., Франчук А. Ф., Мацевий Ю. М. та інших [1, 2, 9, 15, 16].

Попередні розрахунки показують, що пасивна теплоізоляція конструкції знизить витрати енергії на кондиціонування будівель протягом року в середньому в 1,5 раза [2, 10, 11, 12]. Використання ЕАП, дозволяє знизити споживання енергії в середньому за рік в 3,5 раза при однакових витратах. Один з ключових конструктивних елементів ЕАП, а саме повітряні канали, можна використовувати при перетворенні сонячного випромінювання в теплову енергію. Такі перетворювачі, як правило, являють собою

багатошарові термодинамічно відкриті конструкції, в яких енергія обмінюється із зовнішніми середовищами шляхом теплообміну, масообміну, волого- та повітрообміну.

Тому необхідно прогнозувати фізичні процеси теплообміну, що виникають у цих системах, ще на етапі проектування, щоб підвищити надійність та ефективність функціонування таких систем тепlopостачання. Це особливо важливо при поєднанні ЕАП з основними елементами будівель і споруд з урахуванням переміщення теплоносія по контурах різної форми.

Засобом вирішення завдань є використання фізико-технічних особливостей перетворення енергії відновлюваних джерел за допомогою ефекту взаємодії великої кількості підсистем у відкритій системі, тобто ефекту синергії. Це дозволяє створити універсальний комплексний науково-методичний підхід до побудови комплексних енергоефективних систем клімату приміщень на основі використання сонячної енергії та навколишнього середовища. Такий підхід необхідний при створенні комплексної системи кондиціонування повітря та енергозабезпечення, яка здатна інтегрувати функції, властиві розрізним інженерним системам, та забезпечити перетворення та перерозподіл енергетичних потоків від енергії сонячного випромінювання.

При проектуванні систем енергозабезпечення для визначення ефективності вбудовування в будівлі (стіна, фасад, дах) перетворювача енергії сонячного випромінювання (наприклад, енергозберігаючі паркани) доцільно окреслити теплові характеристики пристроїв і поєднати їх з основними конструкціями конструкцій.

Розподіл температури в перетворювачах енергії сонячного випромінювання є функцією теплового потоку, який:

- спрямований від зовнішньої поверхні до внутрішнього перпендикулярно до основної конструкції (виникає за рахунок сонячної радіації);
- спрямований від поверхні основної конструкції будівлі, розташованої в приміщенні, до зовнішньої поверхні;
- спрямований паралельно цим поверхням.

Застосування такого підходу дозволяє оптимізувати конструктивно-технологічні особливості використання перетворювачів ВДЕ в системах кондиціонування та енергопостачання.

Відповідно до рекомендацій, викладених у [1, 10, 12], при визначенні критеріїв математичної моделі, що веде до прогнозу теплових процесів, що відбуваються в каналах ЕАП, в першу чергу рекомендується розглянути геометричні умови, що визначають форму та розміри конструкції. Відповідно до конструктивних особливостей форма елементів у найбільших ЕАП геометрично різна. Частина елементів конструкції має канали з поздовжніми і вертикальними каналами. Ці фактори визначають властивості конструкції та ефективність її експлуатації. Слід враховувати, що кожен із шарів може складатися з матеріалів з різними фізико-технічними властивостями. Тому при визначенні критеріїв побудови математичної моделі од-

ним із важливих факторів є врахування фізико-технічних особливостей кожного шару перетворювача енергії сонячного випромінювання. Таким чином, при моделюванні процесів у пристрої вирішується нестационарна задача.

Виходячи з теорії теплопровідності [15], розподіл тепла в матеріальному середовищі пов'язаний з різними тепловими станами окремих ділянок конструкції, що розглядається. В цій роботі розглядаються закономірності тепловіддачі, які безпосередньо пов'язані з розподілом температур та особливостями температурного поля в конструкції перетворювачів енергії сонячного випромінювання. Успішне вирішення цієї проблеми на першому етапі забезпечує системний аналіз при врахуванні фізико-технічних властивостей перетворювачів енергії сонячного випромінювання, які представлені в [2, 10, 11, 12].

Точність прогнозування ефективності перетворення теплового потоку, що надходить на поверхню перетворювача енергії сонячного випромінювання, залежить від ряду факторів. Перш за все, від повноти інформації про тепловий потік, що надходить від сонячного випромінювання, градієнт температури, розподіл температури всередині об'єму перетворювача енергії сонячного випромінювання, матеріал, з якого виготовлені прошарки в конструкції пристрою, тощо. Тому важливо моделювати процеси теплообміну між структурними шарами перетворювача енергії сонячного випромінювання та навколишнім середовищем, тобто моделювати процеси теплообміну всередині конструкції та навколишнього повітря.

Розглянемо особливості процесу теплообміну вертикальних і поздовжніх каналів у такому елементі системи перетворення сонячного випромінювання з ЕАП. Такий підхід дозволить визначити потік повітря через канал і ступінь його нагріву при різних рівнях освітленості сонячним випромінюванням.

Перший варіант, представлений на рис. 1. Це модуль ЕАП, встановлений на вертикальній стіні споруди.

Принцип дії представленого варіанта ЕАП полягає в тому, що теплопоглинаючі елементи 3 виконані у вигляді поворотних жалюзі. З боку стіни 6 жалюзі мають поверхню, яка добре відбиває теплове випромінювання, а з боку сонячного випромінювання — поверхню, яка добре його поглинає. Усі секції жалюзі теплосприймального елемента 3 можна повернути навколо своєї осі на 90° . Це, з одного боку, дає можливість регулювати кількість поглиненої сонячної енергії, а також переключатися з режиму теплоізоляції (рис. 1а) на режим перетворення в альтернативне тепло енергії відновлюваних джерел (рис. 1б).

Так, для холодної зими та спекотного літнього періоду робочий стан ЕАП показано на рис. 1а. Повітряний проміжок між утеплювачем 5 і жалюзі 3 створює додатковий тепловий опір тепловим потокам. Явище конвекції в ньому повинно бути зведено до мінімуму. З іншого боку, повітряний зазор між обертовими заслінками 3 прозорого покриття 2 призначений для перетворення сонячної енергії, що надходить через прозоре покриття, в теплову енергію повітряного потоку. Потік, що рухається в ньому, нагрівається, як у сонячному колекторі. Завжди вертика-

льне положення забезпечує досить високу швидкість конвективного руху в ньому. В осінньо-весняний та літній періоди тепло, отримане в цьому зазорі, може бути використане на потреби тепла та гарячого водопостачання.

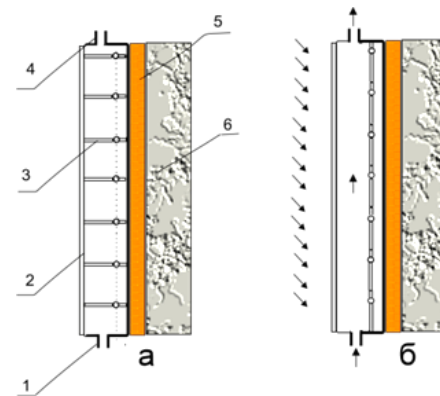


Рис. 1. Схематична конструкція ЕАП; а – режим теплоізоляції, б – режим відбору теплоти; (1 – вхід повітря, 2 – прозоре покриття, 3 – рухливі теплосприймаючі жалюзі, 4 – вихід повітря, 5 – теплоізоляція, 6 – стіна споруди)

Fig.1 Schematic design of EAP; a – thermal insulation mode, b – heat extraction mode; (1 – air inlet, 2 – transparent coating, 3 – movable heat-receiving blinds, 4 – air outlet, 5 – thermal insulation, 6 – wall building)

ЕАП має забезпечити максимальну ефективність використання сонячної енергії. Тому геометричні розміри контурів ЕАП, а саме довжина та форма перерізу, в якому відбувається перетворення сонячної енергії, повинні мати оптимальні розміри. У розвитку вільного руху форма тіла відіграє другорядну роль. Тут більшого значення має протяжність поверхні, вздовж якої відбувається рух та її положення [1].

Розглянемо вертикальний канал прямокутного перерізу, який є найбільш розповсюдженим в конструкціях ЕАП. Перетин каналу розміром $(h \cdot b)$ показано на рис. 2. Його поздовжня конфігурація показана на рис. 1б.

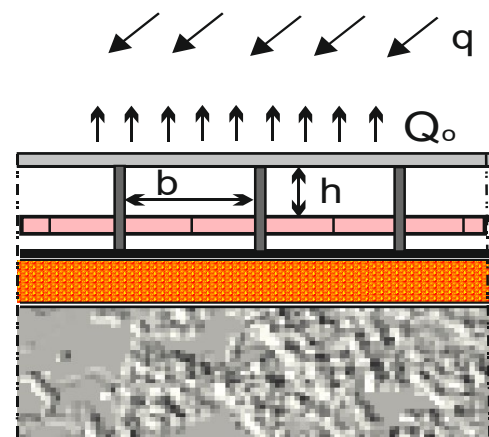


Рис.2 Поперечний переріз каналів ЕАП

Fig. 2 Cross section of EAP channels

У цьому каналі буде відбуватися вертикальний рух повітря знизу вгору. Швидкість цього конвективного руху буде визначати масу повітря через канал. Для розрахунку розміри каналу брали наступним чином: $b \cdot h = 0,1 \cdot 0,05$ м. Для

визначення середньої швидкості розглянемо профіль швидкості під час руху повітря в прямокутному каналі розміром h . Для режиму ламінарного потоку цей профіль описується рівнянням [1]:

$$V = \frac{g\beta\theta h^3 \left(\left(\frac{x}{h} \right)^3 - \frac{x}{h} \right)}{6\nu} \quad (1)$$

де g — прискорення сили тяжіння; ν — коефіцієнт кінематичної в'язкості повітря, β — об'ємний коефіцієнт теплового розширення, h — висота каналу, θ — характерна різниця температур.

Для конструкції ЕАП, показаного на рис. 1, результати розрахунку профілю швидкості за співвідношенням (1) для висхідного руху в каналі висотою h наведені на рис. 3 (для $g=9.8$ м/с², $\beta=3.665 \cdot 10^{-3}$ 1/К, висота каналу $h=0.05$ м, $\theta=150$, $\nu=17 \cdot 10^{-6}$ м²/с.).

Важливим фактором, що впливає на функціонування ЕАП, є швидкість руху енергоносія (в даному випадку повітря).

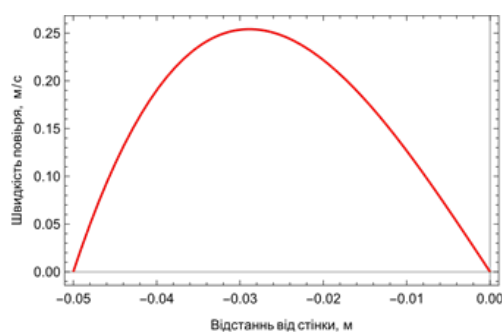


Рис. 3. Профіль руху повітря в вертикальному прямокутному каналі ЕАП

Fig. 3 Air movement profile in the vertical right-angled EAP channel

Середня швидкість повітря у вертикальному прямокутному каналі ЕАП, показаному на рис. 1, розраховується за рівнянням (2):

$$V_{\text{сеп}} = \frac{\int_0^{0.05} V(x) dx}{h} \quad (2)$$

Середня швидкість повітря у вертикальному прямокутному каналі ЕАП висотою $h=0.5$ виявилася 0,16506 м/с при $\theta=150$.

Сама зміна температури рідини в каналі під час потоку, що піднімається внаслідок нагрівання сонячним випромінюванням матиме експоненційний характер зміни. Щоб визначити характер цієї зміни, складемо рівняння теплового балансу для рідинного елемента, що протікає по каналу довжиною dx . На цій довжині до нього надходить сонячний потік інтенсивності q .

$$Q_r = q \cdot 0,1 \cdot dx \quad (3)$$

де q — інтенсивність сонячної радіації, що надходить на ЕАП, 0,1- ширина каналу.

Ця теплова енергія використовується для нагрівання теплоносія, що протікає через внутрішній канал ЕАП. З іншого боку, він втрачається в навколишнє середовище із зовнішньої поверхні ЕАП. Кількість теплоти, яка втрачається від зовнішньої поверхні елемента довжиною dx , дорівнює:

$$Q_0 = \frac{0.1 dx (t - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (4)$$

де α_1 , α_2 — коефіцієнти тепловіддачі з боку внутрішньої та зовнішньої стінок каналу, δ — товщина стінки каналу, λ — теплопровідність стінки каналу, t_0 — температура навколишнього середовища.

Фактичну кількість тепла, поглиненого теплоносієм на ділянці довжиною dx , можна визначити за співвідношенням (5):

$$Q_0 = G \cdot C_p dT, \quad (5)$$

де $G=bhV_{\text{сеп}}\rho$ — потік повітря через прямокутний канал ЕАП розміром $b \cdot h$, C_p — теплоємність повітря

Якщо знехтувати тепловтратами через утеплювач, розташований збоку будівлі, то остаточний вигляд рівняння теплового балансу для каналу можна представити (6):

$$G \cdot C_p dt = q \cdot \alpha \cdot 1 dx - \frac{1 dx (t - t_0)}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} \quad (6)$$

Робимо змінну для температури рідини (7):

$$T = t - t_0 \quad (7)$$

Після зміни рівняння (6) з врахуванням (7) матиме вигляд:

$$A \cdot \frac{dT}{dx} + B \cdot T = q \quad (8)$$

Розв'язанням рівняння (8) буде вираз:

$$T(x) = \frac{Q}{B} + e^{-\frac{B \cdot x}{A}} C_1 \quad (9)$$

де $A=G \cdot C_p$, $Q=q \cdot \alpha$, α — коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання поверхнею ЕАП,

$$B = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

Комплекс B являє собою тепловий опір передачі тепла через плоску стінку каналу ЕАП в навколишнє середовище. Теплофізичні параметри розраховувалися та приймалися такими: $\alpha_1 = 9$ Вт/(м² · К), $\alpha_2 = 20$ Вт/(м² · К), $\lambda = 0,9$ Вт/(м² · К), $\delta = 0,003$ м.

Для визначення константи інтегрування окреслено граничну умову:

Нехай $T|_{x=0} = t_0$, де t_0 – деяка відома початкова температура теплоносія, яка дорівнює температурі навколишнього середовища:

$$C_1 = t_0 - \frac{Q}{B}$$

Тоді вираз набуває остаточного вигляду:

$$T(x) = \frac{Q}{B} + e^{-\frac{B \cdot x}{A}} \left(t_0 - \frac{Q}{B} \right) \quad (10)$$

Графічне розв'язання рівняння (10) для різних значень інтенсивності сонячного випромінювання та для наведених вище параметрів ЕАП представлені на рис. 4.

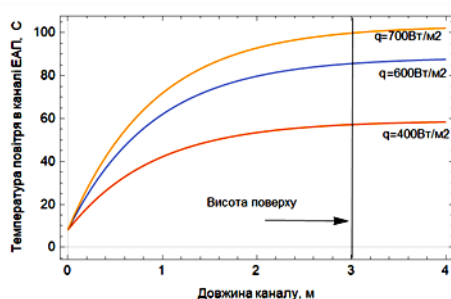


Рис. 4. Зміна температури повітря під час його руху вгору при нагріванні сонячним випромінюванням різної інтенсивності в прямокутному каналі ЕАП

Fig. 4 The change in air temperature during its upward movement when heated by solar radiation of varying intensity in a rectangular EAP channel

На рис. 4 видно, що коли довжина каналу ЕАП дорівнює середній висоті поверхів (3–3,5 м), повітря в ньому нагрівається від 40°C до 95°C в залежності від інтенсивності сонячної радіації, що надходить. Це відповідає нагріванню повітря в сонячних колекторах. Також можна відзначити, що оптимальною є довжина каналу 3,5 м. При подальшому збільшенні цієї довжини підвищення температури є незначним. Це дозволяє раціонально монтувати ЕАП для подачі холодного повітря в міжповерховий простір, а також для відведення нагрітого повітря. У цьому випадку нагріте повітря від ЕАП попереднього поверху направляється для опалення наступного поверху.

ВИСНОВКИ. Запропонований підхід є спрощеним і на етапі технічного та конструктивного прогнозування дозволяє:

- з достатньою точністю швидко оцінити особливості коливань температури в багатопверхових конструкціях перетворювачів енергії сонячного випромінювання;
- обґрунтовано вибрати багатопверхову конструкцію перетворювача енергії сонячного випромінювання з урахуванням особливостей умов експлуатації.

Це пов'язано з тим, що при такому підході враховуються особливості процесу теплообміну в такому елементі системи перетворення сонячного випромінювання ЕАП будівель, як вертикальний, протяжний канал. За технічно реалізованих параметрах ЕАП визначає потік повітря через

канал і ступінь його нагріву при різних рівнях освітленості сонячним випромінюванням.

При цьому враховано, що ефективність систем енергопостачання з використанням енергії з альтернативних джерел залежить від вибору конструкції енергоактивних огорож, які використовуються як елемент для перетворення енергії, що надходить за наявності сонячної енергії випромінювання або як елемент пасивної теплоізоляції взимку. При правильному виборі конструкції ЕАП використання такої системи дозволить знизити до трьох разів енергоспоживання на гаряче водопостачання та опалення приміщень.

ПОСИЛАННЯ

1. Гершуни Г. З., Жуховицкий Е. М., Непомнящий А. А. Устойчивость конвективных течений. М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1989. 320 с.
2. Малярченко В. А. Возможности интеграции электроэнергии в системах горячего водоснабжения ЖКХ / В. А. Малярченко, И. Е. Щербак, И. Д. Колотило. Л. В. Лысак // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. № 3(121). С. 53–58.
3. Ганжа А. Н. Выбор рациональных параметров отпуска теплоты от источника системы теплоснабжения / А. Н. Ганжа, В. Н. Подкопай // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2013. № 8 (114). С. 8–14.
4. Ливчак В. И. Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения на новом этапе развития / В. И. Ливчак // Энергосбережение. 2000. № 2. С. 4–9.
5. Шарапов В. И. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, П. В. Ротов. М: Издательство «Новости теплоснабжения», 2007. 164 с.
6. Carbonell Daniel. Simulations of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems for Domestic Hot Water and Space Heating / Daniel Carbonell, Michel Y. Haller, Daniel Philippen, Elimar Frank // Energy Procedia. 2014. Vol. 48. P. 524–534.
7. Редько О. Ф. Комбіновані системи теплопостачання з відновлювальними джерелами тепла / О. Ф. Редько, О. М. Тарадай, В. В. Чернокрилюк, Є. С. Єсін // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. № 10 (129) 2014. С.42-46.
8. Амерханов Р. А. Аккумуляция теплоты в системах теплоснабжения сельского хозяйства / Р. А. Амерханов, А. А. Долинский, Т. В. Морозюк // Промышленная теплотехника. 2002. № 1. С. 106–108.
9. Мацевитый Ю. М. Оценка энергетической эффективности системы электротеплоаккумуляционного отопления административных зданий / Ю. М. Мацевитый, Н. Г. Ганжа, А. В. Хименко. // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. 2011. № 10. С. 9–16.
10. Сетюков В. Б. Аккумуляция энергии в домах с нулевым энергопотреблением / В. Б. Сетюков // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. № 8 (126). С. 17–22.

11. Гертис К. Здания XXI века – здание с нулевым потреблением энергии / К. Гертис // Электронный журнал энергосервисной компании «Экологические системы». 2012. № 4.
12. Нуждин В. Н. Новая жизнь центрифуги или аккумулярование энергии / В. Н. Нуждин, А. А. Просви́рнов // Атомная стратегия. – 2007. – № 27. – С.3–12.
13. Ганжа А. Н. Анализ эффективности теплонасосной системы утилизации теплоты от компрессорной установки с учетом взаимного влияния эксплуатационных характеристик оборудования / А. Н. Ганжа, Э. Г. Братута, О. В. Круглякова, В. Н. Подкопай, В. В. Чубарова // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2013. №5 (111). С. 14–18
14. Ганжа А. М. Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах / А. М. Ганжа, Н. А. Марченко // Вестник Национального технического университета «Харьковский политехнический институт»: сб. науч. трудов. Х.: НТУ "ХПИ", 2010. № 9. С. 113–120.
15. Кельтон В. Имитационное моделирование / В. Кельтон, А. Лоу. – СПб.: Питер; Киев: Издательская группа BHV, 2004. – 847 с.
16. Тарасова В. О. Аналіз еколого-енергетичних характеристик сучасних чилерів і теплових насосів при роботі з неповним навантаженням/ В. О. Тарасова, Д. Х. Харлампіді // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2013. №11 (117). С. 35–41.
17. Мацевитый Ю. М. Об использовании тепловых насосов в мире и что тормозит их широкомасштабное внедрение в Украине / Ю. М. Мацевитый, Н. Б. Чиркин, А. С. Клепанда // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит. 2014. №2 (120). С. 2–17.
18. Reports at the 8th IEA Heat Pump Conference [Reports at the 8th IEA Heat Pump Conference]. – Las Vegas, 2005.
19. Reports at the 9th IEA Heat Pump Conference [Reports at the 9th IEA Heat Pump Conference]. – Zurich, 2008.
20. Reports at the 10th IEA Heat Pump Conference [Reports at the 10th IEA Heat Pump Conference]. – Tokyo, 2011.
21. New generation of geothermal Danfoss thermal pumps [Електрон.ресурс]. – Режим доступа: <http://www.danfoss.com/>
22. Патент на корисну модель України № 201014333, МПК F24J2/50, E04B1/76. Енергоактивне огороження / В. О. Габрінець, Г. І. Зарівняк, С. О. Митрохов, Л. В. Накашидзе // від 25.07.2011, бюл. №14.
23. Габрінець В. О. Особливості побудови енергоактивних огорожень у складі систем енергозабезпечення на основі ВДЕ / В. О. Габрінець, В. Л. Марков, С. О. Митрохов, В. І. Зарівняк, Л. В. Накашидзе // Відновлювана енергетика. 2010. № 3. С. 31-34.
24. Накашидзе Л. В. Основні вимоги до енергоактивних огорожень / Л. В. Накашидзе // Відновлювана енергетика. 2013. № 1. С. 48-51.
25. Накашидзе Л. В. Енергозбереження при впровадженні комплексних систем енергозабезпечення споруд з енергоактивними огороженнями / Л. В. Накашидзе // Відновлювана енергетика XXI століття: Матеріали XV ювілейної міжнародної науково-практичної конференції. К., 2014. С. 152–154.

REFERENCES

1. Carbonell D., Haller M. Y., Philippen D., Frank E. "Simulations of Combined Solar Thermal and Heat Pump Systems for Domestic Hot Water and Space Heating", Energy Procedia, vol. 48, pp. 524–534, 2014.
2. Gabrinets V. O., Markov V. L., Mitrokhov S. O., Zarivniak G. I., Nakashydz L. V. "Peculiarities of construction of energy-active barriers as a part of power supply systems on the basis of RES" (Особливості побудови енергоактивних огорожень у складі систем енергозабезпечення на основі ВДЕ), Renewable energy, vol. 3, pp.31–34, 2010.
3. Ganzha A. M., Marchenko N. A. "Computer modeling of processes in complex heat exchangers" (Комп'ютерне моделювання процесів у складних теплообмінних апаратах), Bulletin of the National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute", Kharkiv: NTU "KhPI", 2010, vol. 9, pp. 113–120.
4. Ganzha A. N., Podkopaj V. N. "The choice of rational parameters of heat supply from the source of the heat supply system" (Выбор рациональных параметров отпуска теплоты от источника системы теплоснабжения), Energy saving. Power engineering. Energy audit, vol. 8 (114), pp. 8–14, 2013.
5. Gertis K. "21st Century Buildings – Zero Energy Consumption Building" (Здания XXI века – здание с нулевым потреблением энергии), Journal of the energy service company Ecological Systems, vol 4, pp. 12–19, 2015
6. Karabegović, I., Doleček, V. "Development and Implementation of Renewable Energy Sources in the World and European Union", Contemporary materials, vol. 2(6), pp.130–148, 2017.
7. Livchak V. I. "Energy conservation in district heating systems at a new stage of development" (Энергосбережение в системах централизованного теплоснабжения на новом этапе развития), Energy saving, vol. 2, pp. 4–9, 2000.
8. Maliarenko V. A., Lysak L. V., Shcherbak V. A. "Opportunities for the integration of electricity in hot water systems" (Возможности интеграции электроэнергии в системах горячего водоснабжения ЖКХ), Energy saving. Power engineering. Energy audit, vol. 3 (121), pp.53–58, 2014.
9. Ganzha N. G., Khimenko A. V. "Assessment of the energy efficiency of electric heating systems for office buildings" (Оценка энергетической эффективности система электротеплоаккумуляционного отопления админис-

- тративных зданий), Energy saving. Power engineering. Energy audit, vol. 10, pp.9–16, 2011.
10. Nakashydz L. V., Gabrinets V. O., Tytarenko I. V., Hilorme T. V., Sokol G. I., Tonkoshkur S. O. etc. Providing energy-saving technologies: technical, ecological and economic aspects. New York: Yunona Publishing, 2019.
 11. Nakashydz L. V. “Energy saving in the implementation of integrated energy supply systems for buildings with energy-saving fences” (Енергозбереження при впровадженні комплексних систем енергозабезпечення споруд з енергоактивними огороженнями), Renewable energy of the XXI century: Proceedings of the XV anniversary international scientific-practical conference, Kyiv, 2014, pp. 152–154.
 12. Nakashydz L. V. “Features of determining the boundary conditions when predicting the physico-technical properties of energy-active fences using alternative sources of energy” (Особенности определения краевых условий при прогнозировании физико-технических свойств энергоактивных ограждений, использующих энергию альтернативных источников), Construction, materials science, mechanical engineering, Dnipropetrovsk, 2014, vol. 70, pp. 55–61.
 13. Redko O.F., Taradaj O.M., Chernokryliuk V.V., Yesin Ye.S. “Combined heat supply systems with renewable heat sources” (Комбіновані системи теплопостачання з відновлювальними джерелами тепла), Energy saving. Power engineering. Energy audit, vol. 10 (129), pp.42–46, 2014.
 14. Reports at the 10th IEA Heat Pump Conference, Tokyo, 2011.
 15. Sharapov V. I., Rotov P. V. Load Regulation of Heat Supply Systems (Регулирование нагрузки систем теплоснабжения). Moscow Publishing House “Heat Supply News”, 2007.
 16. Xu, X., Wei, Z., Ji, Q., Wang, C., Gao, G. “Global renewable energy development: Influencing factors, trend predictions and countermeasures”, Resources Policy, vol. 63, 101470, 2019