

## ПАСИВНІ СОНЯЧНІ СИСТЕМИ ОПАЛЕННЯ ДЛЯ УМОВ ТРИВАЛОЇ ХМАРНОЇ ПОГОДИ

*Київський національний університет будівництва і архітектури, Україна*

**Постановка проблеми.** Проблема ресурсозбереження є актуальною на сьогодні для України, як і для усього світу. Вона пов'язана з обмеженістю енергоресурсів, економічними проблемами і її найважливішим екологічним аспектом.

У нашій країні спостерігається високий рівень енергоспоживання при низькому рівні промисловості. Системи опалення є одним із основних споживачів енергії. Зменшення енергоспоживання повинно йти шляхом раціонального використання вторинних і поновлюваних джерел. Одним із найбільш розповсюджених потужних поновлюваних енергоресурсів є сонячна енергія. Але на більшості території України (крім південних регіонів) у холодний період року спостерігається тривала хмарна погода.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** На сьогодні розроблена і впроваджена велика кількість високоефективних систем сонячного теплопостачання [1-5]. Їхнім недоліком є висока собівартість і подовжений термін окупності за таких погодних умов.

При тривалій кількості хмарних днів у холодний період року використовується сезонна акумуляція теплоти. Основною проблемою є значні розміри (об'єми) навіть твердотільних акумуляторів, які займають об'єм, рівний кільком кімнатам.

Для технічно та економічно обґрунтованого використання сонячної енергії на більшості території України пропонуємо комбінацію систем пасивного використання сонячної енергії з активними системами [6-7] або з опаленням на вичерпних енергоресурсах. Використання пасивних систем покриває всю потребу в теплоті в сонячну погоду, зменшує потрібний розмір акумуляторів та заощаджує вичерпні енергоресурси. Але основною проблемою більшості конструкцій пасивних сонячних систем є знижений термічний опір. Таким чином під час тривалої хмарної погоди втрачається більше енергії, ніж заощаджується протягом сонячних днів. Виникає потреба розробки сонячних систем з покращеними теплозахисними й світлопропускними властивостями і зі зниженою собівартістю, що значно скорочує термін окупності та непродуктивні втрати енергії. В умовах тривалої хмарної погоди термічний опір теплопередачі пасивних сонячних систем має відповідати термічному опору теплопередачі теплозахисної оболонки будинку. Системи, запропоновані у [1-5], мають додатковий повітряний прошарок ззовні непрозорих огорожувальних конструкцій, відокремлений від зовнішнього повітря склом або склопакетом. Сонце нагріває зовнішню поверхню огорожувальної конструкції. Якщо огорожувальна конструкція матиме високий опір теплопередачі, то до

приміщення потрапить лише мала частина абсорбованої теплоти. Альтернативою пропонується збільшити площу світлопрозорих огорожувальних конструкцій і використовувати внутрішні поверхні приміщень як тепло-світловий абсорбер. У такому випадку підвищена інсоляція в приміщенні робить неможливим використання дисплеїв та телевізорів, створює психологічний дискомфорт незахищеності і підвищує тепловтрати під час тривалої хмарної погоди.

**Формулювання цілей та завдання статті.** Для умов тривалої хмарної погоди необхідно розробляти пасивні сонячні опалювальні системи, що мають світлопрозору теплозахисну конструкцію підвищеного термічного опору та внутрішню непрозору конструкцію зниженого термічного опору. Їхній загальний опір теплопередачі повинен відповідати термічному опору непрозорих конструкцій теплозахисної оболонки будівлі. Метою даної роботи є аналітичне визначення ефективності запропонованих активних та пасивних систем сонячного теплопостачання.

**Основна частина.** Запропоновані світлопрозорі огорожувальні конструкції з високими теплозахисними властивостями для пасивних та активних сонячних систем. Для пасивних систем світлопрозора конструкція має термічний опір, сумірний з опором зовнішньої стіни. Така конструкція буде у своїй товщі поглинати певну частину світлової енергії і перетворювати її на теплоту. Ця теплота буде передаватися частково до тепло-світлового абсорбера і частково — до навколишнього повітря.

Для розробки математичної моделі процесів теплообміну застосовані диференційні рівняння теплообміну для товщі світлопрозорої конструкції, рівняння поглинання світла в напівпрозорому матеріалі стінки та змішані граничні умови другого та третього роду на поверхнях стінки.

Розглянемо передачу теплоти крізь однорідну прозору стінку завтовшки  $\delta$  з коефіцієнтом теплопровідності  $\lambda$  і поглинання світла  $k$ , з температурами поверхонь  $t_{c1}$  і  $t_{c2}$ . На одній із її поверхонь задані граничні умови другого роду у вигляді  $q_c = \text{const}$ , крім цього на поверхнях задані коефіцієнти тепловіддачі  $\alpha_1 = \alpha_{ext}$  і  $\alpha_2 = \alpha_{in}$  та температури середовищ  $t_1$  і  $t_2$ , тобто граничні умови третього роду (Рис. 1).

Така задача зводиться до знаходження розподілення температури в стінці і температури на її поверхні. Оскільки тепловий режим є стаціонарним, можна записати таке рівняння:

$$q_c = (t_{c1} - t_{c2}) \cdot \lambda / \delta; \quad q_c = \alpha_2 (t_{c2} - t_{pid2}). \quad (1)$$

З рівняння (1) випливає, що при заданому значенні  $q_c$ :

$$t_{c2} = t_2 + q_c / \alpha_2; \quad t_{c2} = t_2 + q_c (1 / \alpha_2 + \delta / \lambda). \quad (2)$$

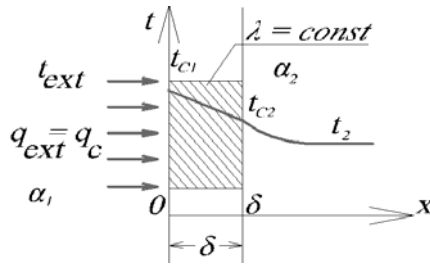


Рис. 1. Схема передачі теплоти через плоску стінку колектора

Записуємо вихідні рівняння теплопровідності та рівняння поглинання з урахуванням стаціонарності та одномірності задачі з урахуванням внутрішніх джерел теплоти  $q_v = dI / dx = (q - q_{ext}) \cdot k \cdot e^{-kx}$  від поглинання світла інтенсивністю  $I = I_0 \cdot e^{-kx}$ :

$$0 = Dt/d\tau = a\nabla^2 t + q_v/(c_p \cdot \rho) = \lambda/(c_p \cdot \rho) \cdot d^2_{\Delta} t/dx^2 + ((q - q_{ext}) \cdot k \cdot e^{-kx}) / (c_p \cdot \rho),$$

або після перетворень:

$$\lambda \cdot d^2_{\Delta} t/dx^2 + [q(1 - k_{ext})] \cdot k \cdot e^{-kx} = 0. \quad (3)$$

де  $a = \lambda/(c_p \cdot \rho)$  - коефіцієнт температуропровідності,  $c_p$  - теплоємність матеріалу,  $\rho$  - густина матеріалу;  $q = E_o - E_{відбита}$  - кількість теплоти, яка надійшла від сонця до товщі конструкції (початкова);  $E_o$  - кількість світлової енергії, що пройшла через однорідну стінку сонячного колектора;  $E_{відбита}$  - кількість світлової енергії, яка відбилась від поверхні сонячного колектора;  $q_{ext} = k_{ext} \cdot q$  - теплота, яка поглинається на зовнішньому шарі стінки, з коефіцієнтом поглинання  $k_{ext}$ .

Вводимо граничні умови другого та третього роду (складний теплообмін). Для одношарової стінки (Рис.1) вводимо вісь  $X$ , спрямовану в її товщу  $\delta$ . Кількість теплоти, яка поглинається на границі ( $X = \delta$ ), знаходиться через відповідний коефіцієнт поглинання  $k_{in}$ :

$$q_{in} = k_{ext} \cdot (q - q_{ext}) \cdot e^{-kx}. \quad (4)$$

Тоді граничні умови:

$$\begin{aligned} \text{При } X = 0: & \quad \alpha_1(\Delta t_{(x=0)} - \Delta t_1) + k_{ext} \cdot q = \lambda \cdot d_{\Delta} t/dx|_{x=0}, \\ \text{При } X = \delta: & \quad -\alpha_2(\Delta t_{(x=\delta)} - \Delta t_2) + k_{ext} \cdot (q - q_{ext}) \cdot e^{-kx} = \lambda \cdot d_{\Delta} t/dx|_{x=\delta}. \end{aligned} \quad (5)$$

До внутрішнього повітря приміщення або в теплоносії потрапляє та кількість теплоти, яка передається від нагрітої стінки:

$$q_{корисне} = \alpha_{in} [\Delta t_{(x=\delta)} - \Delta t_{pid}] + \underline{[(1 - k_{in}) \cdot (1 - k_{ext}) \cdot e^{-kx}]}. \quad (6)$$

Підкреслену частину виразу враховуємо в тому випадку, коли або сонячна система має внутрішню стінку темного кольору або корпус активного сонячного колектора є повністю прозорим, а теплоносій має темний колір. Якщо матеріал колектора прозорий, то цю частину рівняння ми не враховуємо.

Громіздкі результати розв'язання рівняння (1-6) не наведені у даній роботі. Для запропонованих пасивних сонячних систем результати розрахунків наведені на рис. 2.

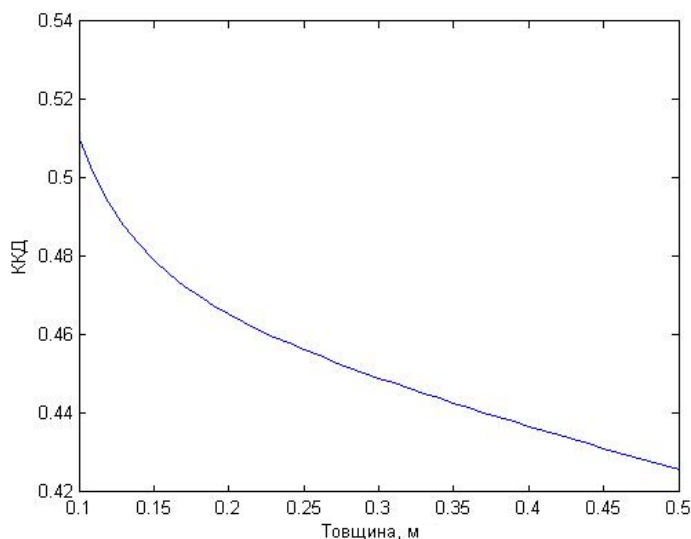


Рис. 2. ККД пасивних сонячних систем підвищеного термічного опору  $q_{\text{корисне}} / q$  без урахування відбиття зовнішньої поверхні

Ефективність пасивних сонячних систем при збільшенні товщини зовнішньої світлопропускної стінки знижується до 20 % від середнього значення. Але при цьому лінійно зростає опір теплопередачі. При товщині  $\delta=0,2$  м за результатами попередніх фізичних експериментів опір теплопередачі відповідає нормативному опору стін для першої температурної зони України – 3,3 (За ДБН В.2.6-31:2006 зі зміною №1). При достатній частоті сонячних днів необхідно оптимізувати термічний опір для забезпечення мінімальних витрат енергії за опалювальний період.

## Висновки

1. Для регіонів з довготривалою хмарною погодою і недостатньою кількістю сонячних днів для повноцінного пасивного опалення будівель доцільна комбінація пасивного сонячного опалення та опалення на вичерпних енергоресурсах. Це дозволяє заощадити вичерпні енергоресурси під час сонячної погоди.

2. Створена математична модель тепломасообмінних процесів у пасивній сонячній системі теплопостачання. Показано високу ефективність при високому термічному опорі, що відповідає нормативному опору теплопередачі стін.

3. Для умов тривалої хмарної погоди слід використовувати пасивні сонячні системи високого термічного опору який досягає опору зовнішньої непрозорої частини теплозахисної оболонки будівель.

4. Для регіонів з достатньою частотою сонячних днів слід

оптимізувати термічний опір пасивних сонячних систем, для забезпечення мінімальних витрат енергії за опалювальний період.

**Перспективи подальших досліджень.** Для уточнення даної математичної моделі планується виконання серії експериментальних досліджень ефективності та термічного опору систем пасивного сонячного теплопостачання. Планується широке впровадження отриманих систем на більшості території України та за її межами.

## Література

1. *Афанасьева О.К.* Архитектура малоэтажных жилых домов с возобновляемыми источниками энергии. Диссертация на соискание ученой степени кандидата архитектуры, М.: МАРХИ, 2009 г. - 149 с.
2. Основы современной малой энергетики. Том 3. Учеб. пособие: в 3 т. / Э.П. Гужулев, В.В. Шалай, А.Н. Лямин, А.Б. Калистратов. – Омск: Изд-во ОмГТУ, 2006. – Т.3. – 528 с.
3. *Габриель И., Ладенер Х.* Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. СПб.: БХВ-Петербург, 2011.— 480 с.: ил.
4. *Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В.* Солнечная энергетика. Москва, Издательский дом МЭИ, 2008, 276 с.
5. Казаченко С.В., Кибовский С.А. и др. Солнечная энергетика в Крыму. Методическое пособие для специалистов и всех интересующихся проблемами использования солнечной энергии. – Киев-Симферополь, 2008. – 201 с.
6. Патент № 100523 UA МПК (2013.01) F 24 J 2/04 (2006.01) F 04 B 23/00. Сонячний колектор (Варіанти). / Любарець О.П., Мілейковський В.О., Шуваєва О.Ю.
7. Патент № 98800 UA МПК (2013.01) F 24 J 2/24 (2006.01). Сонячний колектор. / Любарець О.П., Мілейковський В.О., Шуваєва О.Ю.

## Аннотация

Для условий длительных пасмурной погоды необходимо использовать пассивные солнечные системы термического сопротивления которых соответствуют несветопрозрачной части теплозащитной оболочки зданий. Предложена математическая модель теплообменных процессов в пассивной солнечной системе. Показана высокая эффективность пассивных солнечных систем с высоким термическим сопротивлением.

## Annotation

For the conditions of long cloudy weather it's necessary to use a passive solar system with thermal resistance which corresponds of non transparent part of heat-protective shell of the building. A mathematical model of heat transfer in a passive solar system is offered. The high efficiency of passive solar systems with high thermal resistance is shown.