

УДК 621.383:535.215

В.Г.Демченко, канд.техн.наук (Ін-т технічної теплофізики НАН України, Київ)

Експериментальні дослідження тепломасообміну в повітряних геліосистемах

В даній статті розглянуто питання особливості тепломасообміну в повітряних геліосистемах, які можуть бути використані для розробки технічних рішень щодо оптимізації теплового захисту енергоефективних споруд. Наводяться результати експериментальних досліджень, що підтверджують правильність вибраного способу використання сонячної енергії для компенсації теплових витрат крізь огорожувальні конструкції. Запропоновано рішення щодо розробки нових напрямків отримання теплової енергії за допомогою геліоконвекторів та вентиляованих фасадних геліопанелей.

В статье рассмотрены особенности теплообмена в воздушных гелиосистемах, которые необходимо учитывать при разработке технических решений по оптимизации тепловой защиты энергоэффективных зданий. Приводятся результаты экспериментальных исследований, которые подтверждают правильность предложенного способа использования солнечной энергии для компенсации тепловых потерь через строительные ограждающие конструкции зданий и сооружений. Предложены новые направления получения тепловой энергии с помощью гелиоконвекторов и гелиопанелей.

У зв'язку зі значним зростанням цін на енергоносії та екологічними проблемами, що загострилися останнім часом, а також усвідомленою необхідністю енергозбереження, все більше уваги приділяється використанню сонячної енергії [1]. Враховуючи це, великий інтерес представляє використання випромінювання Сонця, яке і при низьких температурах навколишнього середовища нагріває фасад будівлі до значних температур (рис. 1).

Для цього можуть бути запропоновані вентиляовані фасадні геліопанелі та геліоконвектори [2, 3] вітчизняного виробництва та розроблені в Інституті технічної теплофізики НАН України. Основна мета використання повітряних геліоконвекторів – додаткове опалення житлових і службових приміщень та зниження теплових втрат через огорожувальні конструкції будівель. Конструкція геліоконвектора, змонтованого у віконному отворі, показана на рис. 2.

Робота конвектора основана на принципі природної конвекції. У холодний період року повітря із приміщення забирається через забірний отвір конвектора 1, омиваючи теплосприймаючу поверхню 3, проходить по щілинному зазору, нагрівається і надходить назад у приміщення через вихідний отвір 2.

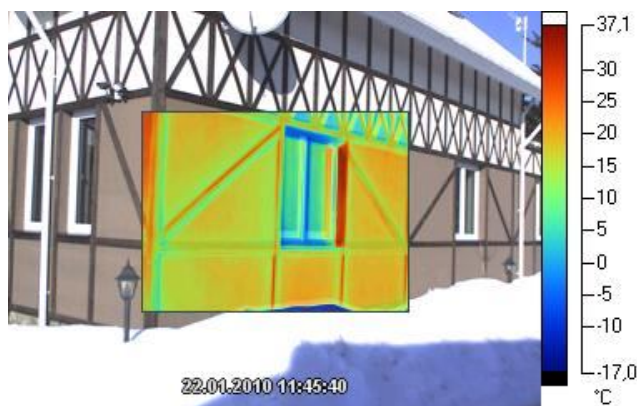


Рис. 1. Термограма фасаду заміського будинку в м. Києві. Виявлений нагрів фасаду при температурі повітря -17°C , зумовлений дією сонячних променів.

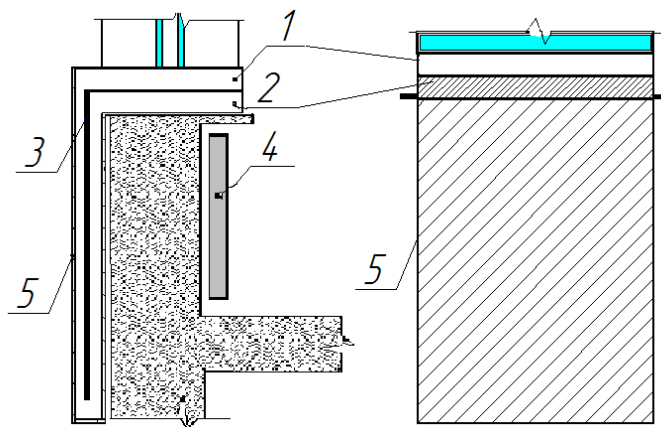


Рис. 2. Конструкція геліоконвектора: 1 – вхідний отвір; 2 – вихідний отвір; 3 – теплосприймаюча поверхня; 4 – радіатор опалення; 5 – прозоре скло або полікарбонат.

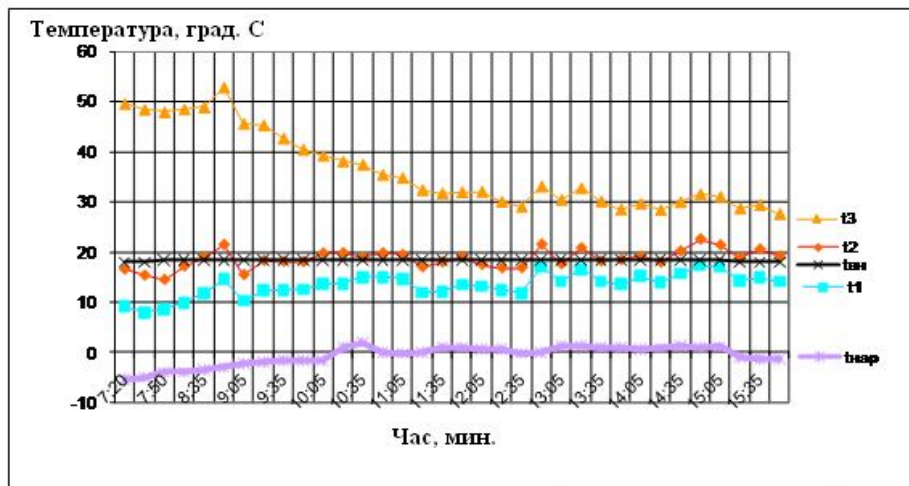


Рис. 3. Графік зміни температури, дослід ІТТФ НАНУ від 16.03.2010. Погодні умови: похмуро, середня температура зовнішнього повітря мінус 2,5⁰С. Орієнтація геліоконвектора на північ. Різниця температур на вході й на виході з геліоконвектора становить 7-8⁰С: t_1 – температура повітря на вході в геліоконвектор; t_2 – зворотня температура повітря на виході з геліоконвектора; t_3 – температура радіатора; $t_{вн}$ – температура повітря всередині приміщення; $t_{зовн}$ – температура зовнішнього повітря.

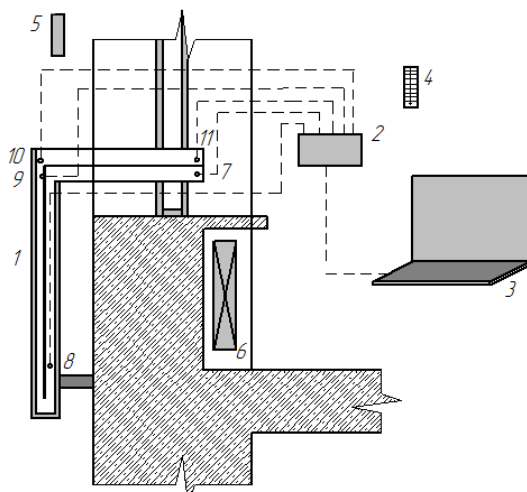


Рис. 4. Конструкція дослідного стенду: 1 – геліоконвектор; 2 – вимірювальний комплекс; 3 – ПК; 4 – термометр, що визначає температуру внутрішнього повітря; 5 – термометр, що визначає температуру зовнішнього повітря; 6 – радіатор опалення; 7...11 – термопара.

В якості теплосприймаючої поверхні був використаний металевий лист із селективним покриттям з оксиду титану. Теплообмін здійснюється шляхом вільної конвекції та випромінювання. Геліоконвектор являє собою пасивну систему опалення, що не потребує експлуатаційних витрат. Проведені дослідження підтверджують, що різниця температур між повітрям, що подається, та зворотним повітрям, яке повертається в приміщення після геліоконвектора, сягає від 6 до 10⁰С (рис. 3).

Як видно із графіка, при зниженні температури радіатора опалення приміщення температура повітря на виході з конвектора істотно не зміню-

валася, а температурний напір залишався без змін. Це свідчить про те, що температура радіатора істотно не впливає на показники роботи геліоконвектора. Піки температур t_1 і t_2 пояснюються тим, що дослід проводився у службовому приміщенні з постійним перебуванням у ньому до п'яти людей, у робочий час, що супроводжувалось періодичним відкриванням дверей, роботою комп'ютерної техніки тощо. Спад температури t_3 виник через проведення профілактичних робіт у цей день та відключення системи опалення. Протягом всього часу проведення дослідів $t_{вн}$ практично не змінилася. Таким чином, робота геліоконвектора компенсувала витрати теплоти і дала змогу підтримувати комфортну температуру в приміщенні.

Інтерес представляє значення температур розігріву теплосприймаючої поверхні геліоконвектора, для чого були проведені дослідження на дослідному стенді в лабораторії відділу ПТТ Інституту Технічної Теплофізики НАН України (рис. 4).

Геліоконвектор був розміщений на північному фасаді, що перешкоджало потраплянню прямих сонячних променів на теплосприймаючу поверхню. Досліди проводилися протягом 3 тижнів (з 9.03.2010 р. по 30.04.2010 р.). Теплові втрати дослідного приміщення складають 3150 Вт. Розрахунки теплових втрат проводилися згідно СНиП 2.08.01-89. На рис. 5 наведено результати замірів роботи конвектора. Погодні умови: ясно, середня температура зовнішнього повітря дорів-

нює +13,2°C. Різниця температур на вході й на виході з конвектора становить до 3°C.

Таким чином, при середній температурі повітря +13,2°C поверхня металевго листа, розміщеного на фасаді під кутом 90° до Сонця і орієнтованого на північ, розжарюється в середньому до +24°C за рахунок розсіяного сонячного випромінювання. При тих же умовах на південному фасаді температура листа сягає значення до +34,7°C,

що на 40% більше. При цьому необхідно відзначити, що температура внутрішнього повітря в приміщенні, де проводилися дослідження, істотно не змінювалась і дорівнювала +18°C. Це свідчить про те, що запропонований метод може стати в нагоді при розробці геліосистем та геліофасадів. Наприклад, теплопродуктивність геліоконвектора у січні місяці для широти Києва ($\varphi = 51^\circ$ пн. ш.) дорівнює 0,3 Вт·год/м².

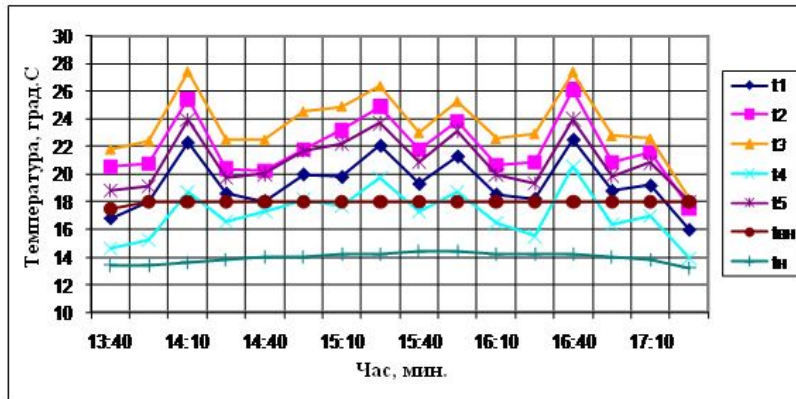


Рис. 5. Графік зміни температури, дослід від 30.03.2010: t_1 – температура повітря на вході в геліоконвектор; t_2 – зворотна температура повітря на виході з геліоконвектора; t_3 – температура металевго листа; $t_{вн}$ – температура повітря у приміщенні; $t_{зовн}$ – температура зовнішнього повітря.

Табл. 1. Розрахунок кількості сонячної енергії, поглинутої 1,0 м² вертикальної поверхні за опалювальний сезон (180 діб), кВт·год/(м²·180 діб), для широти м. Києва

Місяць	R_{90}	E_s , МДж/м ² ·день	E_p , МДж/м ² ·день	E_k		N , днів	$E_{над}$		ϵ	$Q_{пог}$	
				E_{k90} , МДж/м ² ·день	E_{kp90} , МДж/м ² ·день		$E_{над min}$, кВт·год/м ² ·місяць	$E_{над max}$, кВт·год/м ² ·місяць		$Q_{пог min}$, кВт·год/м ² ·місяць	$Q_{пог max}$, кВт·год/м ² ·місяць
Жовтень	1,18	7,29	3,91	8,60	4,61	15,00	19,22417	35,8425	0,90	17,30175	32,25825
Листопад	1,21	2,92	2,08	3,53	2,52	30,00	20,97333	29,44333	0,90	18,876	26,499
Грудень	1,39	2,16	1,62	3,00	2,25	31,00	19,3905	25,854	0,90	17,45145	23,2686
Січень	1,18	3,1	2,29	3,66	2,70	31,00	23,26894	31,49944	0,90	20,94205	28,3495
Лютий	1,23	5,36	3,43	6,59	4,22	29,00	33,98558	53,10867	0,90	30,58703	47,7978
Березень	0,98	9,72	5,53	9,53	5,42	31,00	46,66706	82,026	0,90	42,00035	73,8234
Квітень	0,69	13,9	7,51	9,59	5,18	15,00	21,59125	39,9625	0,90	19,43213	35,96625
Всього за опалювальний сезон (180 діб)							185,1008	297,7364		166,5908	267,9628

Примітка: E_k – кількість сонячної енергії на 1 м² вертикальної поверхні за день, МДж/(м²·день); $E_{над}$ – кількість сонячної енергії на 1 м² вертикальної поверхні за день, кВт·год/(м²·місяць); ϵ – ступінь чорноти поверхні; R_{90} – коефіцієнт перерахунку кількості сонячної енергії, що падає на вертикальну площу; $Q_{пог}$ – кількість сонячної енергії, що поглинається 1 м² поверхні за місяць, кВт·год/(м²·місяць).

Проведені необхідні розрахунки, які зведені в табл.1, свідчать, що за опалювальний сезон (180 діб для м. Києва) в денний час $1,0 \text{ м}^2$ геліоконвектора в середньому виробляє до $180 \text{ кВт}\cdot\text{год}$ теплової енергії при сезонних втратах теплоти близько $36 \text{ кВт}/\text{м}^2$, що дає змогу суттєво знизити витрати на опалення будівлі без додаткових витрат на експлуатацію. Зрозуміло, що розташування сонячних конвекторів, орієнтованих на південь, та максимально можлива площа фасаду, яка зайнята конвекторами, дає найбільш позитивний результат. Нами проаналізована можливість використання геліоконвектора для підтримання комфортної температури на сходових майданчиках типового житлового 5-ти поверхового будинку. Наведений розрахунок виконано для геліоконвектора площею $4,0 \text{ м}^2$. Отже, для типового п'ятиповерхового будинку з трьома під'їздами необхідно встановити 30 геліоконвекторів загальною площею 120 м^2 . Повна вартість кожного – 1500 гривень. Для всього будинку сума інвестиції складає 45 тис. грн.

Сумарна теплопродуктивність за 6 місяців: $Q' = 40 \text{ Гкал.}$

Прийнята собівартість 1 Гкал від тепломережі: 260,00 грн.

Отже, щороку заощаджується: $Q': 260,00 \text{ грн.} = 10400 \text{ грн.}$

Простий термін окупності даного заходу: $45000 \text{ грн.}/10400 \text{ грн.} = 4,3 \text{ років.}$

Але, враховуючи щорічне збільшення ціни на природний газ, прогнозується подальше скорочення терміну окупності приблизно удвічі.

Експлуатація геліоконвектора дає змогу знизити затрати на опалення, особливо у міжсезонний опалювальний період. Існує можливість використання геліоконвекторів у багатоповерхових, громадських, промислових та адміністративних будівлях у якості агрегатів додаткового опалення та вентиляції, що не несуть витрат на паливо та сервіс. Наприклад, застосування геліоконвекторів для вентиляції технічних поверхів багатоповерхових будівель, допоміжних і технічних приміщень тощо.

Основною перевагою конвектора є його доступна ціна в порівнянні з іншими технологіями теплової сонячної енергетики. Серед недоліків варто відзначити низьку теплову потужність у

зимові місяці та в хмарну погоду, що, проте, характерно для всіх геліотехнологій взагалі.

Можливе також використання повітряного геліоконвектора з вимушеною циркуляцією [4]. Робота конвектора ґрунтується на принципі примусової циркуляції, яка стимулюється вентилятором, що працює від фотовольтажного блока. Ця технологія дозволяє суттєво підвищити теплопродуктивність та ККД повітряного конвектора.

Інтегрований фотовольтажний модуль приводить у дію вентилятор. Завдяки цьому теплопродуктивність конвектора збільшується майже в чотири рази.

В конвекторі використовується спеціальне скло, що пропускає максимальну кількість сонячного випромінювання, та металево-керамічне селективне покриття, що, безперечно, впливає на зростання різниці температур на вході й на виході з колектора. Насос всмоктує повітря з приміщення, воно надходить через вхідний отвір до конвектора, проходить між спеціальним антирефлексним склом та нагріваючою пластиною, яка підігрівается від сонячного випромінювання, де повітря нагрівається від теплосприймаючої поверхні. Фотовольтажний модуль, який вмонтований у повітряний колектор даного типу, приводить у дію вентилятор, який збільшує швидкість потоку повітря в конвекторі. Підігріте повітря надходить до приміщення через верхній вихідний отвір. Технологія проста і не потребує додаткових енергоресурсів. В Україні ця кількість теплоти може перевищувати навіть $2,0 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$ на день, що за нічних втрат близько $0,2 \text{ кВт}/\text{м}^2$ забезпечує дуже позитивний енергетичний баланс.

Нині у більшості розвинених країн світу існують технічні та законодавчі норми, що вимагають проведення спорудження будинків з ефективним використанням енергії. Завдання проектування і будівництва можна успішно вирішити при використанні такої конструкції оболонки будівлі, через яку в будь-який час у період експлуатації будівлі та за будь-яких погодних (кліматичних) умов здійснюватимуться стійкі процеси перетоку теплоти, вологості й повітря (інфільтрація, ексфільтрація). Це завдання можна успішно вирішити, якщо облицювання зовнішніх стін будівлі буде

виконане у формі вентилязованих фасадів. Дана пропозиція є аналогом добре знайомої фахівцям вентилязованої стіни Тромба [5]. Принциповою відмінністю є те, що нами пропонується виконати її з навісних панелей, наприклад, зі стільникового полікарбонату з додатковим покриттям внутрішньої поверхні спеціальними селективними фарбами та вентиляцією огороженого об'єму. Таким чином, фасадна система виконує функції як додаткового нагріву стіни, так і її вентиляції. Вентилюваний навісний фасад, виконаний із геліопанелей, закріплюється на стіні будинку або огороження лоджій (балконів) і являє собою конструкцію, що складається з направляючих елементів для кріплення облицювання та внутрішніх каналів, по яких проходить повітря. Між повітряними каналами та облицюванням є повітряний зазор. Внутрішня поверхня каналів покрита селективною фарбою.

У даний час ми працюємо над розробкою методики теплофізичних розрахунків геліопанелей. Розрахунки тепломасообміну у вентилязованому повітряному зазорі – це нелінійна взаємодія радіаційного теплообміну між склом та селективною поверхнею, конвективного теплообміну в повітряному зазорі, швидкості руху повітря, температури, теплопередачі конструктивних елементів, конденсації водяних парів та ін.

Тому вирішення задач тепломасообміну у вентилязованих фасадних системах із додатковим використанням сонячної енергії має великий практичний інтерес та потенціал для енергозбереження

в Україні.

Висновки. 1. Запропонована повітряна система використання сонячної енергії для додаткового підігріву повітря у житлових та адміністративних приміщеннях.

2. Проведені експерименти доводять правильність вибраного напрямку досліджень та підтверджують можливість значної економії теплової енергії за допомогою геліоконвекторів із примусовою та природною циркуляцією повітря.

3. Проведені розрахунки підтверджують можливість використання геліоконвекторів та навісних геліопанелей при новому будівництві та модернізації існуючих споруд.

4. Проводиться розробка методики теплофізичних розрахунків, необхідних для подальшого використання геліоконвекторів та фасадних геліопанелей у будівництві.

1. Драганов Б.Х., Демченко В.Г. Инженерное оборудование энергоэффективных зданий // Промышленная теплотехника. – 2006. – №6. – С. 17–22.

2. Горин А.Н., Дорошенко А.В., Глауберман М.А. Солнечная энергетика. (Теория, разработка, практика) – Донецк: Норд-Пресс, 2008. – 374 с.

3. Мхітарян Н.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.

4. *The Complete Handbook of Solar Air Heating Systems*, by Steve Kornher with Andy Zaugg. – 2009. – 210 с.

5. *Solarizing Your Present Home - Practical Solar Heating Systems You Can Build*, edited by Joe Carter. Rodale Press. – 1981. – 218 с.