

**Кугаєвська Т.С., Шульгін В.В.,***Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка***Сопов В.П.***Харківський національний університет будівництва і архітектури***АНАЛІЗ ІНТЕНСИВНОСТІ НАГРІВАННЯ ПОВІТРЯ В ПЛОСКОМУ КОЛЕКТОРІ  
СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ**

**Вступ.** Теплова обробка бетонних та залізобетонних виробів може здійснюватися з використанням повітря, нагрітого в колекторі сонячної енергії (патент [1]). У відповідній установці доцільно використовувати плоский колектор сонячної енергії власної конструкції. Для визначення оптимальної конструкції колектора необхідно провести експериментально-розрахункові дослідження. Складовою цих досліджень є аналіз інтенсивності нагрівання повітря в колекторі з різними конструктивними особливостями.

**Огляд останніх джерел досліджень і публікацій.** Дослідником Подгорновим М.І. в роботі [2] та дослідником Nadiradze A. в статті [3] відображено принцип дії установок для теплової обробки бетонних виробів, в яких використовується нагріте в колекторі сонячної енергії повітря.

У статті [4] Подгорновим М.І., Коротєєвим Д.Д. та в статті [5] Щукіною Т.В. відображено математичне моделювання процесів теплової обробки бетонних виробів у геліоформах.

У книгах [6, 7] Duffie J.A. наведено тепловий баланс плоского колектора сонячної енергії, призначеного для нагрівання повітря. Указаний тепловий баланс складено за умови, що режим роботи колектора – стаціонарний. Але температурний режим плоского колектора сонячної енергії, в якому нагрівається повітря для теплової обробки бетонних виробів – нестационарний, що зумовлює відповідні відмінності в теплових балансах.

**Виділення не розв'язаних раніше частин загальної проблеми.** У статті [8] та в роботі [9] відображено процеси теплообміну в плоскому колекторі сонячної енергії. Колектор є складовою частиною установки, призначеної для теплової обробки нагрітим повітрям в закритих формах бетонних чи залізобетонних виробів. Наведено теплові баланси світлопрозорого покриття, тепло-

сприймаючої металевої пластини та шару теплоізоляції, а також загальний тепловий баланс колектора сонячної енергії. Показано результати обчислення зміни температури повітря в колекторі сонячної енергії впродовж початкового проміжку часу при різній витраті повітря. Обчислення здійснено з урахуванням спрощення: прийнято, що площа конструктивних елементів колектора (призначення яких – компонування складових світлопрозорого покриття) мінімально можлива і їх впливом на процеси теплообміну нехтують. Необхідно розробити тепловий баланс плоского колектора сонячної енергії, в якому вказане спрощення не застосовується.

**Постановка завдання.** Мета роботи: розроблення теплового балансу плоского колектора сонячної енергії з урахуванням впливу на процеси теплообміну конструктивних елементів, призначених для компонування світлопрозорого покриття; здійснення аналізу інтенсивності нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії для початкового проміжку часу залежно від витрати повітря та площі поперечного перерізу.

**Основний матеріал і результати.** Розглядається плоский колектор сонячної енергії власної конструкції на стадії його проектування. Повітря рухається в просторі між світлопрозорим покриттям і теплосприймачим шаром – металевою пластиною, розташованою над шаром теплоізоляції. Призначення колектора: нагрівання повітря, яке використовується для теплової обробки у закритих формах бетонних або залізобетонних виробів (рис. 1).

Тепловий баланс плоского колектора сонячної енергії для і-го проміжку часу має вигляд

$$Q_A + Q_D + Q_{AK} = Q_{ПОВ} + Q_M + Q_C + Q_K + Q_T + Q_{CT} + Q_{CB} + Q_{KT} + Q_{KB} + Q_{TT}, \quad (1)$$

де  $Q_A$  – кількість сонячної енергії, що поглинається світлопрозорим покриттям колектора впродовж  $i$ -го проміжку часу, Дж;  $Q_D$  – кількість сонячної енергії, що проходить крізь світлопрозоре покриття колектора впродовж  $i$ -го проміжку часу, Дж;  $Q_{AK}$  – кількість сонячної енергії, що поглинається впродовж  $i$ -го проміжку часу частиною конструктивних елементів колектора, на які надходить ця енергія, Дж;  $Q_{ПОВ}$  – кількість теплоти, що витрачається впродовж  $i$ -го проміжку часу на нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії, Дж;  $Q_M, Q_C, Q_K, Q_T$  – кількість теплоти, що витрачається впродовж  $i$ -го проміжку часу на нагрівання відповідно теплосприймаючої металевої пластини, світлопрозорого покриття, конструктивних елементів та шару теплоізоляції колектора сонячної енергії, Дж;  $Q_{CG}, Q_{CB}$  – кількість теплоти, що втрачається впродовж  $i$ -го проміжку часу в навколишнє середовище крізь горизонтальні та вертикальні поверхні світлопрозорого покриття колектора сонячної енергії, Дж;  $Q_{KG}, Q_{KB}$  – кількість теплоти, що втрачається впродовж  $i$ -го проміжку часу в навколишнє середовище крізь горизонтальні та вертикальні поверхні конструктивних елементів колектора сонячної енергії (призначення яких – компонування складових світлопрозорого покриття), Дж;  $Q_{TG}$  – кількість теплоти, що втрачається впродовж  $i$ -го проміжку часу в навколишнє середовище крізь горизонтальну поверхню шару теплоізоляції, Дж (за умови наявності цих втрат теплоти в  $i$ -й проміжок часу).

У обчисленнях запропоновано нехтувати: надходженням сонячної енергії до тієї частини вертикальних поверхонь шару теплоізоляції, на які потрапляє ця енергія; втратами теплоти в навколишнє середовище крізь вертикальні поверхні шару теплоізоляції колектора сонячної енергії. За необхідності ці величини враховуються в тепловому балансі.

Кількість теплоти  $Q_{ПОВ}$ , що витрачається на нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії впродовж  $i$ -го проміжку часу, дорівнює

$$Q_{ПОВ} = Q_B - Q_H, \quad (2)$$

де  $Q_B$  – кількість теплоти, що видаляється з колектора сонячної енергії з нагрітим повітрям впродовж  $i$ -го проміжку часу, Дж;

$$Q_B = c_{ПВ} \cdot \rho_{ПВ} L t_{ПВ} = c_{ПВ} (353 / (273 + t_{ПВ})) L t_{ПВ}, \quad (3)$$

де  $Q_H$  – кількість теплоти, що надходить до колектора сонячної енергії з повітрям впродовж  $i$ -го проміжку часу, Дж;

$$Q_H = c_{ПН} \rho_{ПН} L t_{ПН} = c_{ПН} (353 / (273 + t_{ПН})) L t_{ПН}, \quad (4)$$

де  $L$  – витрата повітря,  $m^3/15$  хв.

Приклад 1. Досліджується плоский колектор сонячної енергії.

Температура повітря на вході до колектора сонячної енергії обумовлюється зміною температури повітря в тепловій камері та в повітропроводах. Різна витрата повітря призводить до різної інтенсивності його остигання в тепловій камері та в повітропроводах. Тому в установці для теплової обробки бетонних виробів температура повітря на вході до колектора буде різною при різній витраті повітря. Запропоновано на попередньому етапі досліджень здійснювати аналіз інтенсивності нагрівання повітря в плоскому колекторі сонячної енергії для початкового проміжку часу. Це надає можливість прийняти однаковою температуру повітря на вході до колектора при різній витраті повітря. Такі випадки можливі, якщо колектор входить до складу різних установок (остигання повітря, нагрітого в колекторі, відбувається в теплових камерах з різною масою бетонних виробів, і т. ін.). Прийнято:

- розрахунковий проміжок часу дорівнює 15 хв; тривалість цього проміжку часу обумовлюється теплотехнічними особливостями шару теплоізоляції колектора і конструкцій теплової камери; пояснення стосовно визначення розрахункового проміжку часу наведено в статті [10];
- середня за перші 15 хв температура повітря на вході до колектора сонячної енергії:  $t_{ПН} = 22^\circ\text{C}$ ; температура навколишнього середовища:  $t_{НС} = 20^\circ\text{C}$ ;
- довжина та ширина теплосприймаючої металевої пластини дорівнюють 1 м;
- світлопрозоре покриття – скло; прозорими є горизонтальна поверхня та частка бокових сторін колектора (за виключенням тих площин, де розташовано отвори для подачі і відбору повітря та відповідні конструктивні елементи, які зроблено з деревини);
- швидкість вітра біля колектора сонячної енергії дорівнює нулю;
- кліматичні умови – місто Полтава, червень.

Надходження сонячної енергії до поверхонь колектора визначено згідно з даними [11].

Тепловий баланс плоского колектора сонячної енергії для початкового проміжку часу можна представити у вигляді

$$Q_A + Q_D + Q_{AK} = Q_{ПОВ} + Q_M + Q_{СДТ} + Q_{СДГВ}, \quad (5)$$

де  $Q_{СДТ}$  – кількість теплоти, що витрачається впродовж початкового проміжку часу на нагрівання світлопрозорого покриття, конструктивних елементів та шару теплоізоляції колектора сонячної енергії, Дж;

$$Q_{СДТ} = Q_C + Q_D + Q_T; \quad (6)$$

$Q_{СДГВ}$  – кількість теплоти, що втрачається в навколишнє середовище впродовж початкового проміжку часу крізь горизонтальні і

вертикальні поверхні світлопрозорого покриття та конструктивних елементів колектора сонячної енергії, Дж;

$$Q_{СДГВ} = Q_{СГ} + Q_{СВ} + Q_{ДГ} + Q_{ДВ}; \quad (7)$$

у початковий проміжок часу  $Q_{ТГ} = 0$ .

Результати обчислень складових теплового балансу колектора сонячної енергії (для перших 15 хв його використання при різній витраті повітря) та зміну температури повітря показано в табл. 1.

На рис. 1 показано кількість теплоти  $Q_{ПОВ}$  (що витрачається на нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії впродовж перших 15 хв) у відносному порівнянні:  $Q_{ПОВ} = 100\%$  при витраті повітря  $L = 2300 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Таблиця 1 – Результати обчислень прикладу 1

L, м <sup>3</sup> /год	Q <sub>ПОВ</sub> , %	Q <sub>М</sub> , %	Q <sub>СДТ</sub> , %	Q <sub>СДГВ</sub> , %	t <sub>ПВ</sub> , °С	t <sub>ПВ</sub> – t <sub>ПН</sub> , °С
300	56,03	34,42	7,72	1,83	25,96	3,96
800	70,69	22,64	5,43	1,24	23,86	1,86
1300	76,51	17,8	4,62	1,07	23,24	1,24
1800	79,68	15,13	4,19	1,00	22,93	0,93
2300	81,81	13,33	3,91	0,95	22,75	0,75

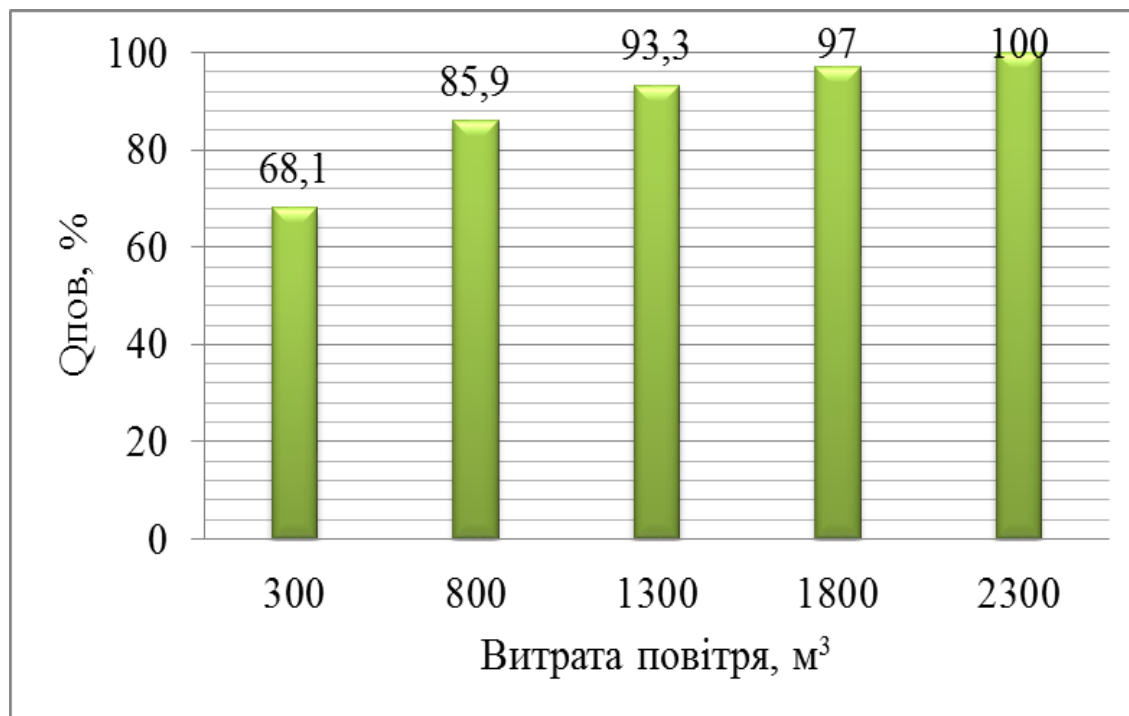


Рис. 1. Порівняння кількості теплоти  $Q_{ПОВ}$  при різній витраті повітря L (приклад 1)

При збільшенні кількості повітря, що проходить через колектор сонячної енергії, збільшується швидкість руху повітря та відповідно:

- збільшується інтенсивність передачі теплоти конвекцією від нагрітої металевої пластини до повітря;

- зменшується інтенсивність зростання температури повітря; і т. ін.

Приклад 2. Досліджується плоский колектор сонячної енергії. Вихідні дані прикладу 2 і 1 співпадають, за виключенням наступного: довжина теплосприймаючої металевої пластини дорівнює 2,0 м, ширина дорівнює 0,5 м; відповідно сумарна довжина горизонтальних конструктивних елементів, призначених для компонування складових світлопрозорого покриття, в цьому варіанті більша.

Результати обчислень складових теплового балансу колектора сонячної енергії

(для перших 15 хв його використання при різній витраті повітря) та зміну температури повітря показано в табл. 2. Збільшенні кількості повітря, що проходить через колектор сонячної енергії, обумовлює такі ж наслідки, як і в прикладі 1.

Площа теплосприймаючої металевої пластини колекторів в прикладах 1 і 2 дорівнює  $F = 1 \text{ м}^2$ , але площа поперечного перерізу колектора в прикладі 2 менша, ніж в прикладі 1. Відповідно швидкість руху повітря в колекторі прикладу 2 більша, ніж в колекторі прикладу 1 (при рівній витраті повітря).

На рис. 2 відображено порівняння кількості теплоти  $Q_{\text{пов}}$  (що витрачається на нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії впродовж перших 15 хв) для прикладів 1 і 2 у відносному порівнянні:  $Q_{\text{пов}} = 100\%$  при витраті повітря  $L = 2300 \text{ м}^3/\text{год}$  для прикладу 2 .

Таблиця 2 – Результати обчислень прикладу 2

L, м <sup>3</sup> /год	Q <sub>пов</sub> , %	Q <sub>м</sub> , %	Q <sub>сдт</sub> , %	Q <sub>сдгв</sub> , %	t <sub>пв</sub> , °С	t <sub>пв</sub> – t <sub>пн</sub> , °С
300	63,61	26,72	7,56	2,11	26,91	4,91
800	77,18	16,40	5,06	1,36	24,21	2,21
1300	81,87	12,71	4,28	1,14	23,44	1,44
1800	84,31	10,76	3,88	1,05	23,07	1,07
2300	85,82	9,55	3,65	0,98	22,85	0,85

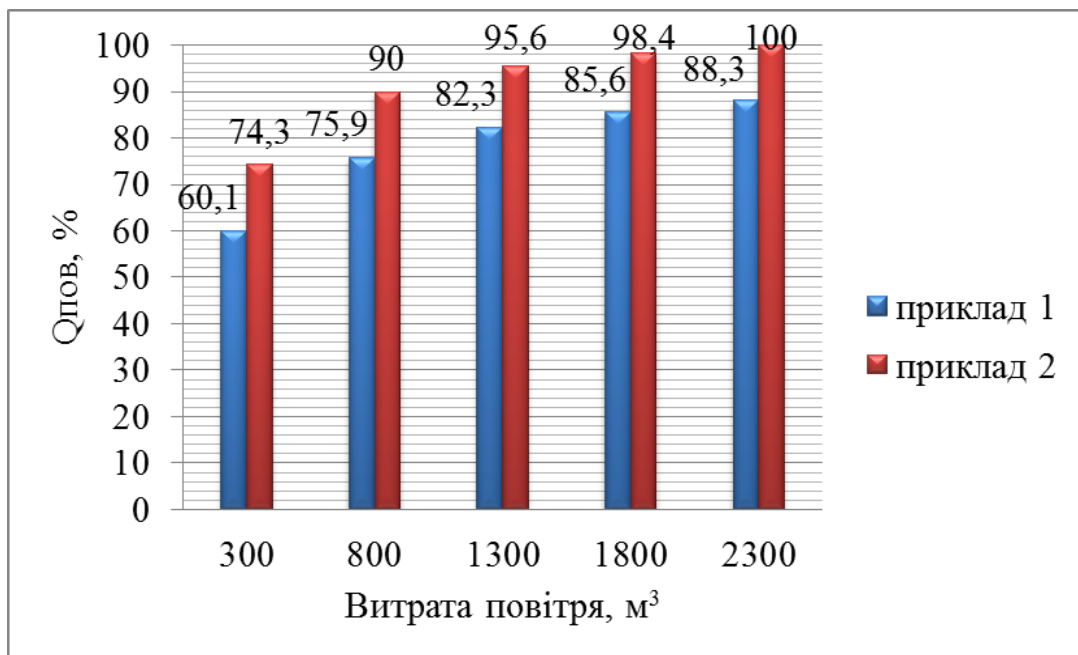


Рис. 3. Порівняння кількості теплоти  $Q_{\text{пов}}$  при різній витраті повітря L (приклади 1 і 2)

Збільшення швидкості руху повітря в колекторі сонячної енергії в прикладі 2 відносно цього показника в прикладі 1 (при однаковій витраті повітря) обумовлює підвищення кількості теплоти  $Q_{\text{пов}}$ , що витрачається на нагрівання повітря в колекторі сонячної енергії впродовж перших 15 хв.

Отримані дані призначено для попереднього аналізу оптимальної витрати повітря та аналізу досліджуваних конструктивних особливостей колектора сонячної енергії. Остаточне рішення стосовно вказаних чинників необхідно приймати на основі сумісного аналізу усіх теплових балансів установки (рис. 1), складених для загального проміжку часу використання колектора.

**Висновки.** Розроблено тепловий баланс плоского колектора сонячної енергії з урахуванням впливу на процеси теплообміну конструктивних елементів, призначених для компонування світлопрозорого покриття.

Встановлено зміну інтенсивності нагрівання повітря в плоскому колекторі сонячної енергії залежно від витрати повітря та площі поперечного перерізу (в досліджуваних умовах).

Надалі необхідно проаналізувати інтенсивність нагрівання повітря в плоскому колекторі сонячної енергії за умов: світлопрозорим є тільки горизонтальне покриття колектора; інші частини колектора теплоізолювано.

#### ЛІТЕРАТУРА:

1. Пат. № 1005409. Україна. МПК (2015.01). E04G 21/00, B28D 1/00, F24J 2/00. Установка для тепловой обработки бетонных и железобетонных виробів / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін; заявник і власник Полтавський національний технічний університет ім. Ю. Кондратюка; заяв. 04.03. 2015; опубл. 27.07. 2015, бюл. № 14.
2. Подгорнов Н.И. Использование солнечной энергии при изготовлении бетонных изделий / Н.И. Подгорнов. – М.: Стройиздат, 1989. – 144 с.

3. Nadiradze A. Usage of solar energy in the production of concrete and iron concrete [Electronic resource] / Nadiradze A. – Access mode:
4. [http://www.energyonline.ge/energyonline/images/upload/April%202010/stat-Anzor%20Nadiradze%20\(eng\).pdf](http://www.energyonline.ge/energyonline/images/upload/April%202010/stat-Anzor%20Nadiradze%20(eng).pdf).
5. Подгорнов Н.И. Энергетическая оценка использования солнечной энергии для термообработки железобетонных изделий / Н.И. Подгорнов, Д.Д. Коротеев // Вестник РУДН, серия «Инженерные исследования». – 2011. – № 2. – С. 48–51.
6. Щукина Т.В. Повышение энергоактивности гелиотермообработки строительных изделий / Т.В. Щукина // Строительные материалы. – 2008. – № 10. – С. 20–23.
7. Duffie J.A. Solar Engineering of Thermal Processes [Electronic resource] / J.A. Duffie, W.A. Beckman. – Access mode: [http://www.magssoft.com.pl/~herbatniczek/naslon/files/Solar\\_Engineering\\_of\\_Thermal\\_Processes.pdf](http://www.magssoft.com.pl/~herbatniczek/naslon/files/Solar_Engineering_of_Thermal_Processes.pdf).
8. Даффи Дж.А. Тепловые процессы с использованием солнечной энергии: пер. с англ. / Дж.А. Даффи, У.А. Бекман. – М.: Мир, 1977. – 420 с.
9. Кугаєвська Т.С. Процеси теплообміну в плоскому колекторі сонячної енергії / Т.С. Кугаєвська, В.В. Шульгін, М.О. Юрченко // Збірник наукових праць (Галузеве машинобудування. Будівництво) / Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка. Випуск 3 (45). – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – С.257–264.
10. Kugaevska T.S. Peculiarities heat exchange in solar collector and in chambers for heat treatment concrete products heated air / The special aspects energy and resource saving. – Oradea, Romania: Oradea University Press, 2015. – P. 78–122.
11. Кугаєвська Т.С. Особливості теплотехнічного розрахунку блоку пропарювальних камер періодичної дії / Т.С. Кугаєвська // Науковий вісник будівництва. Випуск 58. – Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 2010. – С. 187–191.
12. ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010. Будівельна кліматологія. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 123 с.