

# ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕННЯ ПОВЕРХНІ ПОГЛИНАЧА ГЕЛІОКОЛЕКТОРА ТА ПЕРЕДУМОВИ РОЗРОБКИ ЕНЕРГОЗБЕРІГАЮЧОЇ ГЕЛІОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ

Ігор Гарасимчук, Павло Потапський, Олександр Козак,  
Олександр Думанський, Микола Вусатий

Подільський державний аграрно-технічний університет, м. Кам'янець-Подільський  
[igorgarasymchuk@gmail.com](mailto:igorgarasymchuk@gmail.com), [p.v.potap@meta.ua](mailto:p.v.potap@meta.ua), [oceanalex@gmail.com](mailto:oceanalex@gmail.com),  
[duman.alexandr@gmail.com](mailto:duman.alexandr@gmail.com), [0611142015vys@gmail.com](mailto:0611142015vys@gmail.com)  
<https://doi.org/10.37406/sXXIcp.2021.v2.33>

## Вступ

Сьогодні для тваринницьких об'єктів з'являється необхідність в створенні компактних і недорогих пристроїв сонячних колекторів. Головним же завданням в цій сфері є максимально ефективно поглинання енергії сонячного випромінювання в уранішні і вечірні години сонцестояння. Для вирішення цього завдання були винайдені численні концентратори сонячного випромінювання різних форм і конструкцій. Підвищення ефективності поглинання енергії сонячного випромінювання в геліоколекторах реалізується по двох основних напрямках. Перше - це застосування і удосконалення концентраторів сонячного випромінювання у складі сонячної установки. Другий напрям - це вдосконалення поглиначів і конструктивних особливостей геліоколекторів.

Раніше проведений аналіз позитивних і негативних сторін методів підвищення ефективності роботи геліоколекторів [1], досвіду розвинених країн світу в цій проблематиці, а також проведений моніторинг показав, що нині потрібне створення енергоємних і компактних установок, в яких поглинач матиме властивості концентруючого елемента, на розвиненій поверхні якого відбуватимуться багатократні віддзеркалення, після чого поглинання сонячної енергії поглиначем прагнучим до властивостей абсолютно чорного тіла, яке має 100% поглинання. Можливість використання фазоперехідного матеріалу для накопичення додаткової енергії дозволить продовжити роботу установки у вечірні години.

Метою дослідження є підвищення ефективності поглинання енергії сонячного випромінювання поверхнею геліоколектора як об'єкту з багатократними віддзеркаленнями.

## Розділ 1. Обґрунтування удосконалення поверхні геліоприймача.

Реалізація такої конструкції геліоколектора вирішує усі поставлені перед ним завдання наступним чином: концентруюча система спеціальної форми розташована спільно з теплосприймаючою частиною геліоколектора таким чином, що сонячний промінь, який падає під будь-яким кутом (рис. 1), з причини багатократних віддзеркалень повністю поглинаються поверхнею абсорбера геліоколектора - тим самим система стає енергоефективною [2,3].

Представлене технічне рішення має хороший потенціал для подальшого розвитку геліоколекторів в цілому, воно містить в собі якраз ті параметри, які потрібні і затребувані в сучасних умовах існування геліотехніки [4].

Підвищення ефективності перетворення сонячного випромінювання в геліоколекторі інноваційної енергозберігаючої системи автономного

енергопостачання на базі геліомодулів пропонується здійснити шляхом використання багатократного пайового поглинання сонячного випромінювання за рахунок розгалуженої поверхні колектора [5].

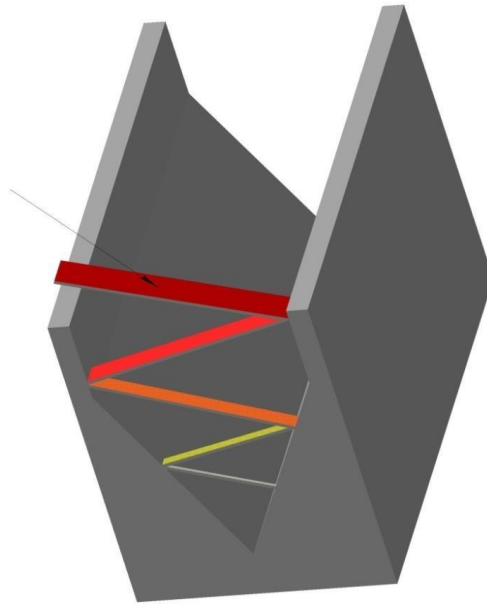


Рис. 1. Частина теплосприймаючої поверхні геліоколектора з візуалізованим ходом сонячного променя і енергетичної складової при багатократних віддзеркаленнях

При попаданні випромінювання на активну частину поверхні геліоколектора виникає багатократне віддзеркалення між безліччю ребер спеціальної форми (рис. 2), причому одночасно з цим відбуваються багатократні віддзеркалення між окремими елементами кожної з  $n$  площин.

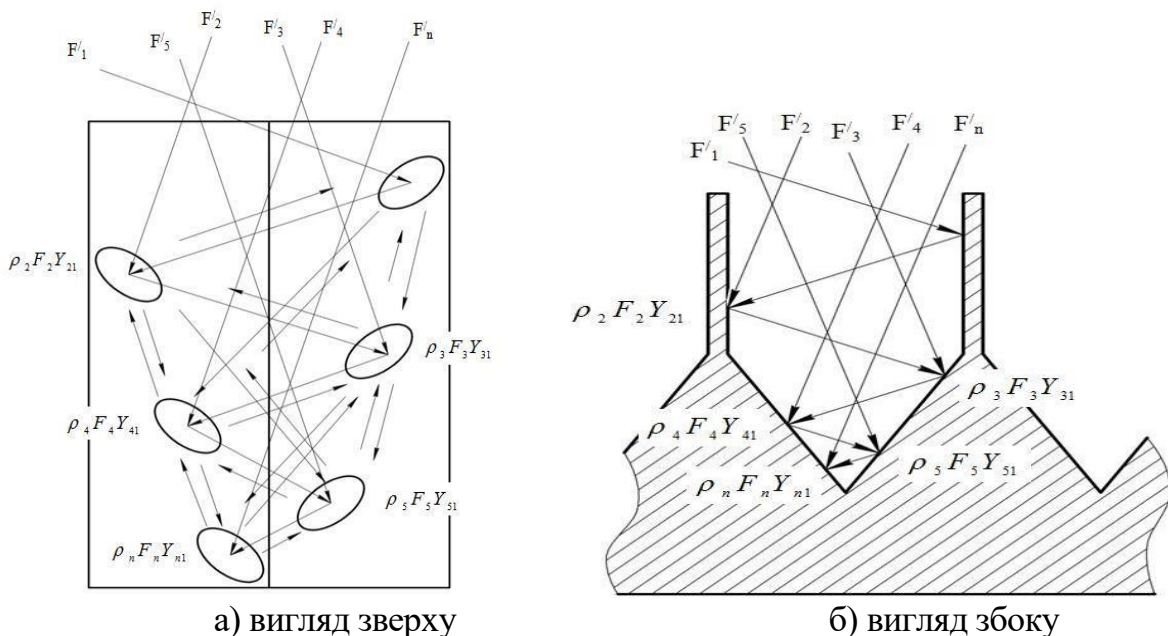


Рис. 2. Обреблена поверхня геліоколектора як об'єкт з багатократними віддзеркаленнями

Потоки випромінювання в результаті багатократних віддзеркалень на кожній із сторін обребленої поверхні колектора, дорівнюють сумі потоків випромінювання, що

поступили ззовні і від кожної взаємодіючої поверхні колектора в  $\gamma_i$  ( $\gamma_i$  - коефіцієнт багатократного віддзеркалення) разів за рахунок багатократних віддзеркалень на самій поверхні колектора :

$$\begin{cases} F_1 = \gamma_1(F_1' + \rho_1 F_1 Y_1 + \dots + \rho_n F_n Y_{n1}) \\ F_2 = \gamma_2(F_2' + \rho_{12} F_2 Y_2 + \dots + \rho_n F_n Y_{n2}) \\ F_n = \gamma_n(\rho_1 F_1 Y_1 + \rho_2 F_2 Y_2 + \dots + F_n') \end{cases} \quad (1)$$

де  $\gamma\phi$  - коефіцієнт багатократного віддзеркалення  $\phi$ -ої поверхні колектора;

$\rho\phi$  - коефіцієнт віддзеркалення  $\phi$ -ої поверхні колектора;

$F\phi'$  - світловий потік, що спочатку впав на  $\phi$ -у поверхню колектора;

$F\phi$  - світловий потік, усталений на  $\phi$ -ій поверхні колектора в результаті багатократних віддзеркалень;

$Y\phi_i$  - коефіцієнт використання  $\phi$ -ої поверхні колектора відносно і -ї.

Для вирішення отриманої системи рівнянь перетворимо її, перенісши усі вільні члени в ліву частину:

$$\begin{cases} \gamma_1 F_1' = F_1 - \gamma_1 \rho_2 F_2 Y_{21} - \dots + \gamma_1 \rho_n F_n Y_{n1} \\ \gamma_2 F_2' = -\gamma_2 \rho_1 Y_{12} F_1 + F_2 - \gamma_2 \rho_3 F_3 Y_{32} - \dots - \gamma_2 \rho_n Y_{n2} F_n \\ \gamma_n F_n' = -\gamma_n \rho_1 Y_{1n} F_1 - \gamma_n \rho_2 F_2 Y_{2n} - \dots - \gamma_n \rho_{n-1} Y_{(n-1)n} F_{n-1} + F_n \end{cases} \quad (2)$$

Прийнявши позначення  $\beta\phi_i = \gamma\phi \rho_i U\phi$ , складемо вираження визначника системи рівнянь :

$$R = \begin{vmatrix} 1 - \beta_{12} - \beta_{13} \dots - \beta_{1n} \\ -\beta_{12} + 1 - \beta_{23} \dots - \beta_{2n} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ -\beta_{1n} - \beta_{n2} - \beta_{n3} \dots - \beta_{n(n-1)} + 1 \end{vmatrix} \quad (3)$$

Отже, потік випромінювання, сталий в результаті багатократних віддзеркалень на  $\phi$ -ій поверхні колектора, рівний:

$$R = \frac{1}{R} \begin{vmatrix} 1 - \beta_{12} - \beta_{1(\phi-1)} + \gamma F_1' - \beta_{1(\phi+1)} \dots - \beta_{1n} \\ -\beta_{21} + 1 \dots - \beta_{2(\phi-1)} + \gamma_2 F_2' - \beta_{2(\phi+1)} \dots - \beta_{2n} \\ \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \\ -\beta_{n1} - \beta_{n2} \dots - \beta_{n(\phi-1)} + \gamma_n F_n' - \beta_{n(\phi+1)} \dots 1 \end{vmatrix} \quad (4)$$

Коефіцієнт використання визначають, інтегруючи друге рівняння Ламберта по випромінюючій і освітлюваній поверхнях:

$$U_{\phi i} = \frac{1}{\pi S_{\phi}} \iint_{S_{\phi} S_i} \frac{\cos \omega_{\phi} \cos \omega_i}{L^2} dS_{\phi} S_i \quad (5)$$

оскільки повний світловий потік  $\phi$ -ої рівнояскравій поверхні колектора рівний  $\pi S_{\phi} L_i$ .

На цьому етапі теоретичного обґрунтування видно, що характер розподілу енергетичних потоків багато в чому залежить від раціонального вибору розгалуженої поверхні сприяючою до появи багатократних віддзеркалень.

Світловий потік  $F_{SA}$ , що впав на відбиваючу площу поверхні спеціальної форми SA (рис. 3), частково відіб'ється від неї, і частина  $Y_{SA}$  відбитого потоку знову потрапляє на відбиваючу площу поверхні SA.

Перехідний процес триватиме до тих пір, поки не встановиться баланс потоків. При встановленому режимі дотримується рівність потоку  $F'_{SA}$  і суми потоків, поглинених відбивачем і відбитих в довкілля:

$$F'_{SA} = F_{SA} (1 - \rho) + F'_{SA\rho} (1 - Y_{SA SA}) \quad (6)$$

де  $F_{SA}$  - світловий потік, встановлений в результаті багатократних віддзеркалень на увігнутий поверхні відбивача;

$\rho$  - коефіцієнт віддзеркалення увігнутого відбивача;

$Y_{SA SA}$  - доля відбитого поверхнею потоку, що знову впав на цю ж поверхню.

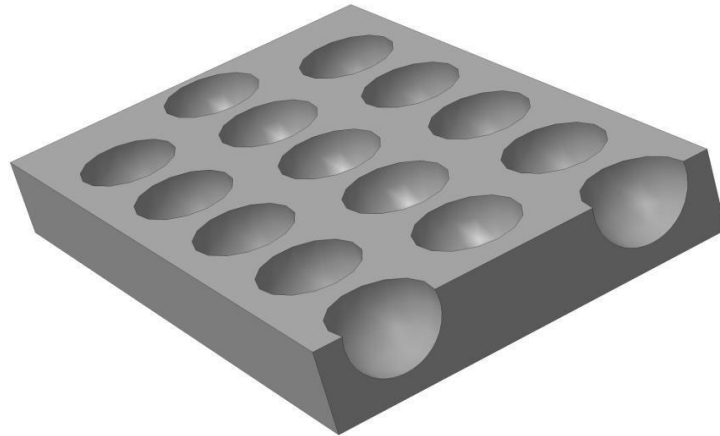


Рис. 3. Поглинаюча поверхня покриття поверхні геліоколектора з вигнутими комірками

Коефіцієнт використання потоку з поверхні відбивача «F» відносно площі вихідного отвору «Sa» визначається як різниця:

$$\overline{F_{SA SA}} = 1 - Y_{SA SA} \quad (7)$$

оскільки увесь потік, відбитий поверхнею SA, падає знову на неї і вихідний отвір.

Рівняння (6), вирішене відносно коефіцієнта багатократного віддзеркалення:

$$\frac{F_{SA}}{F_{SA}} = \gamma_{SA} \quad (8)$$

набере вигляду:

$$1 = \frac{F_{SA} - \rho F_{SA} + \rho F_{SA} - \rho F_{SA} Y_{SA SA}}{F_{SA}} \quad (9)$$

або

$$1 = \gamma_{SA} - \gamma_{SA} \rho Y_{SA SA} \quad (10)$$

або

$$\gamma_{SA} = \frac{1}{1 - \rho Y_{SA SA}} \quad (11)$$

Або

$$\gamma_{SA} = \frac{1}{1 - \rho(1 - Y_{SA SA})} \quad (12)$$

З виразу (12) виходить, що коефіцієнт багатократного віддзеркалення відбивача визначається його формою і коефіцієнтом віддзеркалення.

Форма відбивача значною мірою визначає коефіцієнт багатократного віддзеркалення, оскільки:

$$T_{SA SA} = T_{SA} Y_{SA SA} \quad (13)$$

де T - світимість віддзеркалювальної поверхні;

Sa - площа вихідного отвору;

$Y_{SA SA}$  - доля потоку, відбитого площею поверхні SA на площу поверхні Sa.

Тобто:

$$\overline{Y_{SA SA}} = \frac{S_a}{S_A} \quad (14)$$

Для плоских відбивачів мобільного перетворювача установки (рис. 4) коефіцієнт багатократного віддзеркалення дорівнює одиниці.

Світимість такого відбивача буде рівна:

$$T_A = \frac{F'_{SA} \rho}{S_A} Y_{SA} = \frac{F'_{SA} \rho}{S_A (1 - \rho Y_{SA} S_A)} \quad (15)$$



Рис. 4. Плоскі відбивачі геліоколектора

Світловий потік від відбивача буде рівний:

$$F_{SA} = T_A S_A Y_{SA} S_a = \frac{\rho Y_{SA} S_a F'_{SA}}{1 - \rho Y_{SA} S_A} \quad (16)$$

З проведеного аналізу виходить, що багатократні віддзеркалення в поверхні геліоколектора з вигнутими комірками (рис. 3) збільшують яскравість в  $Y_{SA}$  разів.

**Розділ 2. Передумови розробки автоматизованого комплексу енергозберігаючої геліоелектричної системи гарячого водопостачання.**

Нині все більшу популярність набирають системи забезпечення енергією на основі поновлюваних джерел енергії. Такі джерела енергії використовуються все ширше, багато країн поставили державні завдання, які полягають в забезпеченні вироблення певної долі енергії тільки за рахунок поновлюваних джерел енергії.

Серед поновлюваних джерел енергії найбільша увага приділяється сонячній енергії і енергії вітру, оскільки саме ці джерела енергії можна використовувати на усій території планети, не дивлячись на те, що в певних районах їх використання набагато вигідніше з економічної точки зору, ніж в інших.

Одним з напрямів використання сонячної енергії може виступати нагрів води для виробничих або соціально-побутових потреб. Перетворення сонячної енергії в теплову енергію дозволяє отримувати сонячну енергію з набагато більшою ефективністю, ніж при перетворенні її в електричну. Окрім цього, додатковий ступінь перетворення (сонячна енергія в електричну і далі в теплову) знижує ефективність отримання теплової енергії.

Розглянемо особливості гарячого водопостачання із застосуванням геліоколекторів.

Перше, на що слід звернути увагу - якість води. Під якістю водопостачання в даному випадку розумітимемо виконання наступних двох умов :

- достатній для виробничих або соціально-побутових потреб об'єм води;
- температура води відповідає встановленим вимогам.

Інші питання якості води (наявність механічних і хімічних домішок та ін.) не розглядаються, оскільки не мають прямого відношення до цього питання.

Можливі чотири ситуації водопостачання:

- якісне постачання якісною водою - подача води не уривається (тобто об'єм накопиченої води перевищує потребу в ній за період часу) і її температура у будь-який момент часу відповідає вимогам.
- якісне постачання неякісною водою - подача води не уривається, але її температура хоч би воднораз часу не відповідає встановленим вимогам (холодна вода);
- неякісне постачання якісною водою - подача води уривається із-за спустошення бака, але температура води завжди відповідає встановленим вимогам;
- неякісне постачання неякісною водою - подача води уривається, і температура води хоч би воднораз часу не відповідає встановленим вимогам.

Таким чином, якість водопостачання оцінюється за двома незалежними критеріями:

- забезпечення достатньої кількості води відповідно до графіку водоспоживання;
- забезпечення температури води у встановлених вимогами межах.

Перейдемо до розгляду і опису установки для геліонагріву:

вона найчастіше складається з двох основних частин: блоку нагріву і блоку накопичення.

Блок нагріву є сонячним колектором тієї або іншої конструкції, причому найбільш ефективними є геліоколектори, що мають розвинену теплосприймаючу поверхню.

Блок накопичення є баком (чи систему баків), в якому накопичується нагріта вода. Ця вода використовується для потреб в системі гарячого водопостачання.

В якості блоку нагріву використовується геліоколектор. Основними особливостями цього колектора є:

- модульність, яка дозволяє на етапі проектування вибирати потужність геліоколектора вибором необхідної кількості секцій;
- особлива конструкція теплосприймаючої поверхні у вигляді "збиральних" елементів спеціальної форми, що дозволяє підвищити ефективність утилізації сонячної енергії;
- добре теплоізований корпус дозволяє скоротити втрати теплової енергії.

Як зазначено вище, блок накопичення є баком для води. Для того, щоб забезпечити мінімальні втрати енергії (і втрати температури води) в процесі її накопичення, в цьому блоці може бути реалізований два шляхи мінімізації цих втрат.

Пасивний шлях полягає в забезпеченні поверхні бака достатньою тепловою ізоляцією від довкілля, що зведе до мінімуму втрати енергії. Активний шлях мінімізації втрат енергії води полягає в установці пристрою підігрівання води усередині бака. Такий спосіб вимагає додаткових витрат електричної енергії, але тільки за допомогою цього способу можна забезпечити другий пункт якості водопостачання, а саме, температуру води у встановлених межах.

В першу чергу система активної мінімізації втрат теплової енергії потрібна через те, що вступ сонячної енергії нестабільний і може відрізнятись день від дня. Для згладжування цих флуктуацій можна удатися до збільшення площі геліоколектора,

що приведе до несумірного з економічним ефектом росту витрат. В цьому випадку набагато ефективніше можна використовувати підігрівання води за допомогою електричної або будь-якій іншій енергії.

Друга причина, по якій ця система потрібна, полягає в тому, що для забезпечення температурної якості води бак має бути ізольований від довкілля. Лінійне збільшення товщини теплоізоляції призводить до зворотного зменшення теплопередачі в довкілля.

Слід зазначити, що теплові втрати в холодні місяці при установці накопичувача в неопалювальному приміщенні значно перевищуватимуть аналогічні втрати в теплі місяці. Таким чином, теплова ізоляція розраховуватиметься на найбільш холодні періоди, і матиме значну товщину.

В той же час можна понизити товщину ізоляції шляхом компенсації втрат теплової енергії за допомогою нагрівачів.

Розглянемо алгоритм роботи системи на прикладі схеми руху води в системі геліоводонагріву, яка приведена на рисунку 5. У цій системі холодна вода через регулюючий клапан 1 поступає в нагрівач (геліоколектор) 3, де її температура збільшується за рахунок вступу сонячної енергії. Нагріта вода поступає в накопичувальний бак 6, де при необхідності її температура доводиться до кондиційної шляхом підігрівання. З бака гаряча вода відбирається відповідно до потреб гарячого водопостачання.

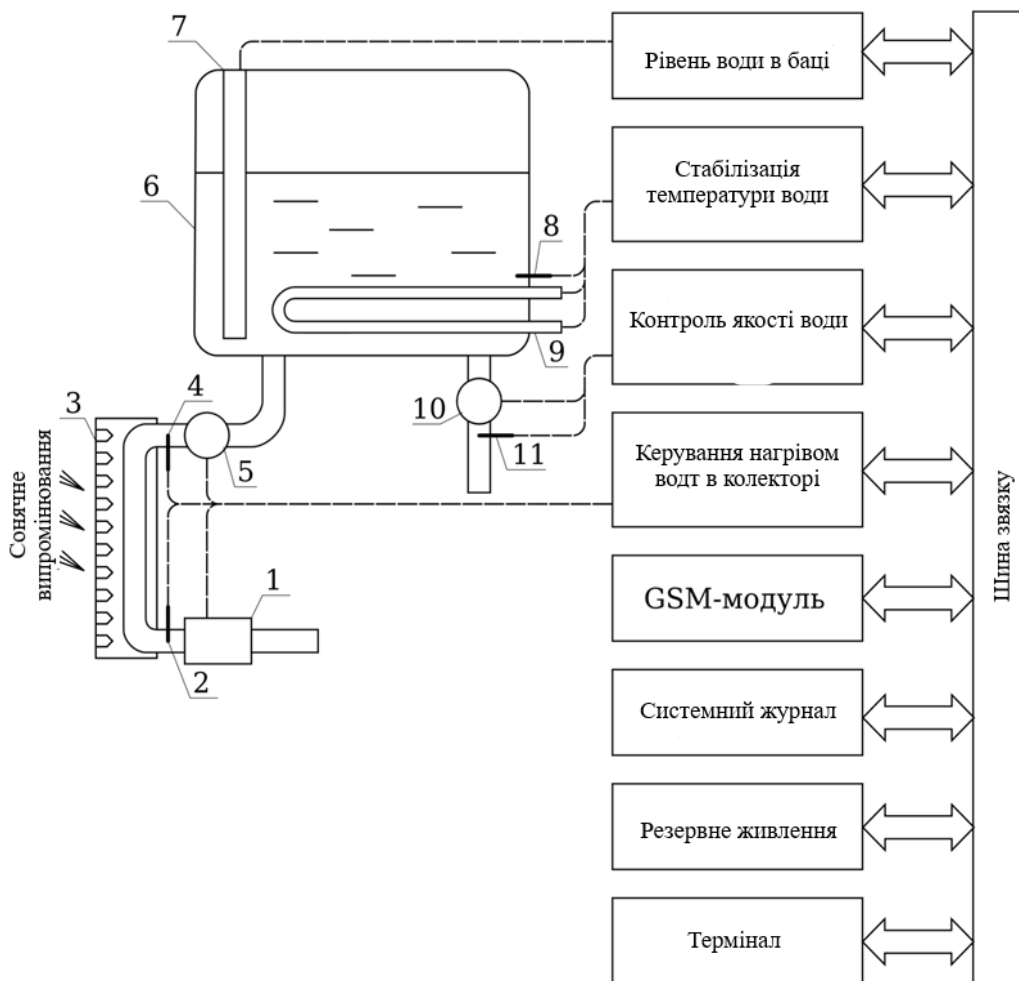


Рис. 5. Схема руху води в системі геліоводонагріву з блоками системи управління і контролю

Основна функція системи автоматики у блоці нагріву полягає в тому, щоб забезпечити на виході блоку відповідну температуру води. Цей параметр контролюється за допомогою датчика температури води, що виходить з нагрівача, 4, а регулюючим органом служить клапан, за допомогою якого дискретно регулюється вступ води в колектор. Для підвищення якості роботи системи регулювання встановлений також датчик температури води, що входить, 2 і пристрій виміру швидкості протікання рідини 5.

Накопичувальний бак служить для вирівнювання вступу гарячої води від геліоколектора (яке в сонячний день відбувається безперервно з невеликою швидкістю) з відбором гарячої води на виробничі потреби (яке відбувається у вигляді явно виражених піків, між якими відбір води відсутній). Застосування накопичувального бака дозволяє якнайповніше використовувати встановлену потужність геліоколектора.

Для запобігання переповнюванню накопичувального бака, а також роботи системи активної компенсації втрат енергії у вигляді датчика температури 8 і нагрівача 9 встановлений датчик рівня води у баку 7. Контроль кількості і якості відібраної води робиться за допомогою пристрою виміру швидкості протікання рідини 10 і датчика температури 11.

Рекомендується будувати систему управління і контролю окремих блоків за модульним принципом, що дозволить при необхідності додавати і прибирати елементи системи.

До обов'язкових елементів системи геліоколектор- накопичувальний бак відносяться:

- блок управління подачею холодної води в колектор,
- що забезпечує стабілізацію температури води (забезпечує якість води), що виходить з колектора;
- блок контролю рівня води в накопичувальному баку (забезпечує безпеку експлуатації і надійність роботи системи);
- блок контролю кількості відібраної гарячої води (забезпечує регулювання кількості води, що проходить через колектор, тим самим забезпечуючи якість водопостачання).

Додаткові елементи системи управління :

- резервне електроживлення системи управління;
- термінал для забезпечення можливості програмування
- параметрів системи і отримання даних про стан системи;
- GSM -модуль, що дозволяє отримувати дані про стан системи видалено;
- журнал операцій і станів системи;
- датчик виміру інтенсивності сонячного випромінювання.

Пристрій контролю рівня води у баку запобігає переповнюванню бака у разі, коли вступ сонячної енергії дозволяє отримати набагато більшу кількість якісної води, ніж буде витрачено. У разі наповнення бака пристрій посилає пакет за широкомовною адресою, яка фіксується пристроєм управління колектором.

Після того, як рівень води у баку знижується, пристрій посилає пакет з інформацією про наявність у баку вільного місця для води, що сприймається пристроєм управління колектором і дозволяє подачу гарячої води з колектора у бак.



При зниженні рівня води у баку до нижньої відмітки ("спустошення бака") так само посилається пакет за широкомовною адресою, що може бути зафіксовано системою програмування, GSM -модулем або терміналом. Система також може виявити "витік бака", якщо при цьому рівень води у баку несумірно змінюватиметься при наповненні бака водою потім геліоколектора і відборі для різних потреб.

Пристрій контролю і управління температурою і кількістю минулої через колектор води служить для стабілізації температури тій, що виходить з геліоколектора води, що дозволяє отримувати воду, що задовольняє вимозі якості по температурі.

Ця система управління із зворотним зв'язком по температурі здійснює регулювання швидкості струму води через колектор, при цьому витрата води обмежена знизу якістю водопостачання, т. е. пріоритет забезпечення якісного постачання водою вищий, ніж забезпечення якості води, яка виражається її температурою.

Крім того, можливе досягнення заданої якості води шляхом її підігрівання в накопичувальному баку, але якщо у баку не буде накопичено достатню кількість води до необхідного часу, якість водопостачання не буде забезпечена.

Аварійні режими роботи, такі як:

- відсутність підвищення температури води за наявності сонячного випромінювання;
- відсутність струму води через колектор при відкритому клапані;
- низький натиск води,
- і інші фіксуються в журналі, а повідомлення про помилки виводяться на
- термінал управління і можуть передаватися по GSM -сети в аварійно-ремонтну службу.

Контроль температури і кількості води, відібраної з бака робиться для ведення журналу системи. Це дозволяє встановити дійсні потреби в гарячій воді і, при необхідності, скоректувати конфігурацію системи для забезпечення безперервного водопостачання відповідної температури. Як було відмічено, це також дозволяє встановити "витік бака". Окрім цього, ведення журналу відкриває широкі можливості по подальшому вивченню практичної роботи системи в реальних умовах.

Пристроєм активної мінімізації втрат у баку є електричний нагрівач, керований електронним блоком. Цей блок аналізує поточну температуру води у баку і в довір'ї, визначає величину теплових втрат і здійснює регулювання потоку теплової енергії від нагрівача, яке компенсує величину теплових втрат і, у разі потреби, додатковий нагрів води у баку.

Пасивна мінімізація втрат здійснюється шляхом теплового ізолювання бака від довкілля, величина якого відбивається в програмі управління нагрівачем.

Інформація про аварійні режими роботи, наприклад:

- відсутність підвищення температури води при включеному нагрівачі;
- охолодження бака при включеному нагрівачі;
- перевищення температури води встановленої межі (занадто гаряча вода), і інші так само можуть фіксуватися в журналі і вирушати на термінал і видалений сервер за допомогою GSM -сети.

Ведення журналу дозволяє вирішити відразу ряд завдань :

- швидко діагностувати поточний стан системи;

- визначати причини тих або інших аварій на підставі даних про попередні стани системи;
- контролювати ресурс окремих вузлів системи і своєчасно попереджати про необхідність проведення технічного обслуговування і ремонту;
- діагностувати аварії, що повільно розвиваються, на підставі зміни параметрів системи в часі.

Видалений доступ до системи може здійснюватися за допомогою GSM -мережі. Це дозволяє видалено контролювати і діагностувати стан системи сервісною службою, що здійснює обслуговування групи колекторів різних об'єктів.

Забезпечення зв'язку по цій мережі вимагає наявності виділеної адреси в мережі Інтернет, до якого діставатимуть доступ встановлені пристрої зв'язку. Своєчасне інформування обслуговуючого персоналу про аварійні або перед аварійні режими дозволяє мінімізувати економічні втрати.

Термінал підключається до загальної шини передачі даних і дозволяє отримувати стан і встановлені параметри системи і задавати нові значення. Зручність застосування терміналу полягає в тому, що він може бути встановлений віддалено як від накопичувального бака, так і від геліоколектора.

Термінал може виводити користувачам інформацію про роботу системи, наприклад:

- кількість води, що залишилася, у баку;
- прогнозований час наповнення бака до заданого рівня;
- витрата електричної енергії на підігрівання бака (в випадку необхідності);
- інформацію про виникаючі неполадки, і іншу, яка може бути корисна для персоналу.

В якості датчика для виміру інтенсивності сонячного випромінювання може виступати фототранзистор або фоторезистор. Вимір падає на геліоколектор потужності сонячного випромінювання дозволяє усунути запізнювання регулювання потоку води через колектор, викликане часом, впродовж якого настає реакція системи, що виражається в зміні температури гарячої води, на зміну потоку сонячного випромінювання.

Окрім цього, дані про інтенсивність сонячного випромінювання можуть бути внесені в журнал для подальшого прогнозування і економічного обґрунтування ефективності застосування сонячних колекторів, а так само вибору устаткування у разі зміни конфігурації системи. Зниження ефективності нагріву води при тому ж потоці сонячної енергії може свідчити про неполадки у блоці колектора, ушкодженнях ізоляції і інших поломках, про які обслуговуючому персоналу може бути повідомлено за допомогою модуля GSM і через термінал контролю і програмування.

Таким чином, розглянута система управління дозволяє забезпечити наступні переваги в конструюванні систем геліоводонагріву :

- здійснювати підключення до системи більше одного геліоколектора, у тому числі різних типів;
- здійснювати підключення до системи декількох баків, що дозволяє розділити водопостачання для незалежних об'єктів або технологічних процесів; одночасно такий підхід дозволяє забезпечити гарантоване водопостачання найбільш важливих процесів навіть при аваріях в інших секціях.

Аналіз результатів комп'ютерного розрахунку показав, що варіація значень коефіцієнта віддзеркалень елементів системи з багатократними віддзеркаленнями призводить до збільшення коефіцієнта віддзеркалення до 27 раз. Тривалість нестановленого процесу, на протязі якого відбувається збільшення щільності потоку опромінення на поверхні, що бере участь в процесі багатократних віддзеркалень, дуже мала внаслідок великої швидкості поширення опромінення. Ріст щільності потоку опромінення (у прикладі в 27 раз) пояснюється надлишком енергії, що отримується системою, в порівнянні з тією, що віддається нею назовні і системи, що поглинається усередині. Додаткові втрати, що виникають в результаті багатократних віддзеркалень, на поглинання в системі призводять до балансу потоків, визначуваного законом збереження енергії [5]. Для використання геліосистеми в реальних об'єктах є необхідність в розробці автоматичної системи управління, контролю отримання і розподілу сонячної енергії.

### Висновки

1. Раціональною з точки зору енергопоглинання є розгалужена форма теплосприймаючої поверхні геліоколектора.

2. Отримана математична модель поглинання оптичної енергії розгалуженою поверхнею приймача геліоколектора при багатократних віддзеркаленнях, яка дозволяє оцінити енергетичну ефективність конструктивних особливостей теплосприймаючої поверхні геліоустановки.

3. Отримана енергетична характеристика елементів геліоколектора, зокрема оптимізації поверхні абсорбера по діаметру і щільності нанесення на його поверхню півсфер, яка характеризує підвищення ефективності роботи геліоколектора за рахунок використання багатократних віддзеркалень.

### Список використаних джерел

- [1]. Kotov B., Garasymchuk I., Pantsyr Y., Semenyschyna I., Potapsky P. Modeling and calculating the double channel helio-collector for drying agricultural plant materials. *Renewable Energy Sources : Engineering, Technology, Innovation – ICORES 2018 / Eds. : K. Mudryk, S. Werle. 2019. pp. 793-500.*
- [2]. Minano J. C. Static concentration. *International Journal of Solar Energy. 1988. №6. pp. 367-388.*
- [3]. Стребков Д. С., Тверьянович Э. В. Концентрирующие системы для солнечных электростанций. *Теплоэнергетика. 1999. № 2. С. 10-15.*
- [4]. Андреев В. М., Грилихес В. А., Румянцев В. Д. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения. Ленинград : Наука, 1989. 310 с.
- [5]. Захидов Р. А. Зеркальные системы концентрации лучистой энергии. Ташкент : ФАН, 1986. 176 с.