

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії
(повна назва)

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв
(повна назва)

АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

_____.

_____.
(тема)

Виконав:
студент 2 курсу, групи _____

(прізвище, ініціали)

Спеціальність 171 «Електроніка»

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма «Електронні прилади та пристрої»

Керівник _____
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Бондаренко І.М.

(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Електронної та біомедичної інженерії _____

Кафедра Мікроелектроніки, електронних приладів та пристроїв _____

Рівень вищої освіти _____ (другий магістерський) _____

Спеціальність _____ 171 «Електроніка» _____

Тип програми _____ освітньо-професійна _____

Освітня програма _____ «Електронні прилади та пристрої» _____

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри

_____ І.М.Бондаренко

« _____ » _____ 2019р.

ЗАВДАННЯ НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові _____

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи _____

затверджена наказом по університету від _____ 20__ р. № _____

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 20__ р.

3. Вихідні дані до роботи

_____ 4.

Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка містить: 53 с., 24 рис., 2 табл., 9 джерел.

ВАКУУМНІ КОЛЕКТОРИ, ГАРЯЧЕ ВОДОПОСТАЧАННЯ, ГЕЛІОСИСТЕМИ, ЕФЕКТИВНІСТЬ, ПЛОСКІ КОЛЕКТОРИ, СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ

Об'єктом роботи є система використання сонячної енергії.

Мета роботи – дослідження ефективності використання сонячної енергії.

Метод дослідження – дедуктивно-аналітичний аналіз комплексних систем для перетворення сонячної енергії в теплову.

У роботі зроблено огляд плоских і вакуумних сонячних колекторів. Обґрунтовано вибір вакуумних геліосистем. Запропоновано методики розрахування сонячних колекторів для окремих потреб.

Унаслідок виконання роботи визначено найефективнішу геліосистему, обрано основні функції контролера сонячної системи для отримання максимальної ефективності.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕЛІОСИСТЕМ.....	7
1.1 Системи сонячного теплопостачання.....	7
1.2 Концентруючі геліоприймачі.....	14
1.3 Плоскі сонячні колектори.....	16
1.4 Маштаби використання сонячних систем теплозабезпечення....	21
1.5 Вибір сонячного колектора	28
2 ЕФЕКТИВНІСТЬ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ.....	34
2.1 Економічні характеристики.....	34
2.2 Коефіцієнт корисної дії.....	37
2.3 Система сонячного опалення.....	38
3 РЕГУЛЯТОР СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ.....	42
3.1 Функції регулятора сонячної системи.....	42
3.2 Додаткові функції.....	44
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	53

ВСТУП

Людина використовує колосальну кількість гарячої води, і відповідно, споживає величезні обсяги електричної енергії для цих цілей.

Слід зауважити, що практично кожен з нас залежимо від водо і теплопостачальних організацій змушений миритися з підвищенням тарифів. Багато виходять з положення шляхом переїзду в приватні будинки і відмови від послуг комунальників, а деякі намагаються в квартирах створювати автономні системи опалення, що не рятує їх від необхідності оплачувати спожите паливо.

На сьогоднішній день вигідною альтернативою можна назвати сонячні колектори. Все більше і більше жителів встановлюють на дахах своїх будинків сонячні батареї. У зв'язку з широким використанням сонячних батарей серед населення, ціни на дані установки поступово знижуються і стають все більш доступними. А якщо ще врахувати тривалий термін служби, наприклад солярних систем - 40 років, то можна з упевненістю сказати, що дані установки на сьогоднішньому ринку займають гідне місце.

Електричні сонячні панелі і солярні водяні системи можуть використовуватися для різних цілей, наприклад:

- автономне гаряче водопостачання та опалення з екологічно чистими показниками;
- підігрів води для басейнів;
- технічне використання води;
- зменшення енергозалежності, підвищення екологічної чистоти навколишнього середовища;
- постачання електроенергією комунікацій і побутових приладів в приміщенні;
- економія коштів.

1 КЛАСИФІКАЦІЯ ТА ОСНОВНІ ЕЛЕМЕНТИ ГЕЛІОСИСТЕМ

1.1 Системи сонячного теплопостачання

Системами сонячного теплопостачання називаються системи, що використовують як джерело теплової енергії сонячну радіацію. Їх характерною відмінністю від інших систем низькотемпературного опалення є застосування спеціального елемента - геліоприймача, призначеного для уловлювання сонячної радіації і перетворення її в теплову енергію.

За способом використання сонячної радіації системи сонячного низькотемпературного опалення підрозділяють на пасивні і активні.

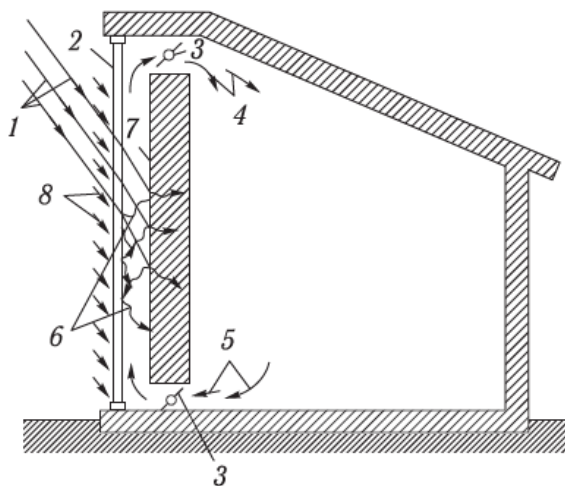
Пасивними називаються системи сонячного опалення, в яких в якості елемента, що сприймає сонячну радіацію і перетворює її в теплоту, служать сама будівля або його окремі огорожі (будівля-колектор, стіна-колектор, покрівля-колектор).

У пасивних геліосистемах використання сонячної енергії здійснюється виключно за рахунок архітектурно-конструктивних рішень будівель.

У пасивної системи сонячного низькотемпературного опалення будівля-колектор сонячна радіація, проникаючи через світлові прорізи в приміщенні, потрапляє як би в теплову пастку. Короткохвильове сонячне випромінювання вільно проходить через віконне скло і потрапляючи на внутрішні огороження приміщення, перетворюється в теплоту. Вся сонячна радіація, що потрапила в приміщення, перетворюється в ньому в теплоту і здатна частково або повністю компенсувати його теплові втрати.

Для підвищення ефективності роботи системи будівля-колектор світлові прорізи великої площі поміщають на південному фасаді, забезпечуючи їх жалюзі, які при закритті повинні перешкоджати в темний час доби втрати, а в жаркий період в поєднанні з іншими сонцезахисними пристроями - перегріву приміщення. Внутрішні поверхні фарбують в темні тони.

Завданням розрахунку при даному способі обігріву є визначення необхідної площі світлових прорізів для пропускання в приміщення потоку сонячної радіації, необхідного з урахуванням акумулювання для компенсації теплових втрат. Як правило, потужності пасивної системи будівля-колектор в холодний період виявляється недостатньо, і в будівлі встановлюють додаткове теплджерело, перетворюючи систему в комбіновану. Розрахунком при цьому визначають економічно доцільні площі світлових прорізів і потужність додаткового джерела тепла (рис. 1.1).



(1 – сонячні промені; 2 – променевопрозорий екран; 3 – повітряна заслінка; 4 – нагріте повітря; 5 – охоложене повітря з приміщення; 6 – власне довгохвильове теплове випромінювання масиву стіни; 7 – чорна променесприймаюча поверхня стіни; 8 – жалюзі)

Рисунок 1.1 – Пасивна низькотемпературна система сонячного опалення «стіна-колектор»

Пасивна сонячна система повітряного низькотемпературного опалення «стіна-колектор» включає масивну зовнішню стіну, перед якою на невеликій відстані встановлюють променепрозорий екран з жалюзі. На підлозі і під стелею в стіні влаштовують щілиновидні отвори з клапанами. Сонячні промені, пройшовши через променепрозорий екран, поглинаються поверхнею масивної стіни і перетворюються в теплоту, яка конвекцією передається

повітря, що знаходиться в просторі між екраном і стіною. Повітря нагрівається і піднімається вгору, потрапляючи через щілинний отвір під стелею в обслуговуване приміщення, а його місце займає остигле повітря з приміщення, здатне проникати в простір між стіною і екраном через щілинний отвір у підлозі приміщення. Подача нагрітого повітря в приміщення регулюють відкриттям клапана. Якщо клапан закритий, відбувається акумуляція теплоти масивом стіни. Цю теплоту можна відібрати конвективним потоком повітря, відкриваючи клапан в нічний час або в похмуру погоду.

При розрахунку такої системи пасивного низькотемпературного сонячного повітряного опалення визначають необхідну площу поверхні стіни. Дану систему також дублюють додатковим джерелом теплоти.

Активними називаються системи сонячного низькотемпературного опалення, в яких геліоприймача є самостійним окремим пристроєм, що не відносяться до будівлі. Активні геліосистеми можуть бути поділені:

- за призначенням (системи гарячого водопостачання, опалення, комбіновані системи для цілей теплохолодопостачання);
- по виду використовуваного теплоносія (рідинні - вода, антифриз і повітряні);
- за тривалістю роботи (цілорічні, сезонні);
- по технічному рішенню схем (одно-, дво-, багатоконтурні).

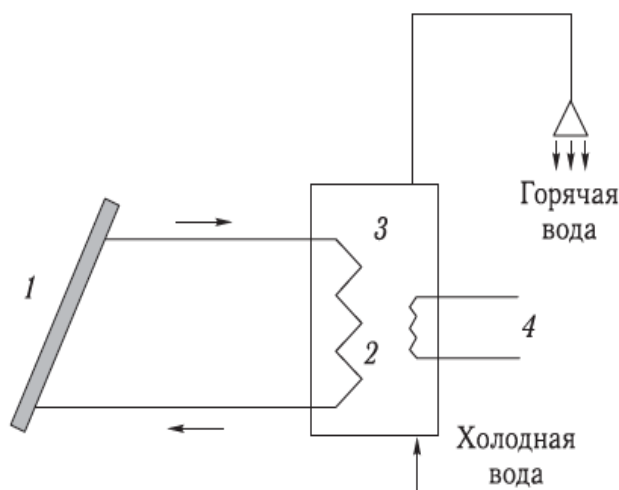
Для активних систем сонячного опалення застосовують геліоприймачі двох типів: концентруючі і плоскі.

Повітря є широко поширеним незамерзаючим у всьому діапазоні робочих параметрів теплоносієм. При застосуванні його в якості теплоносія можливе суміщення систем опалення з системою вентиляції. Однак повітря - малотеплоємний теплоносій, що веде до збільшення витрати металу на пристрій систем повітряного опалення в порівнянні з водяними системами. Вода є теплоємним і широкодоступним теплоносієм. Однак при температурах нижче 0 °C в неї необхідно додавати незамерзаючі рідини. Крім того, потрібно

враховувати, що вода, насичена киснем, викликає корозію трубопроводів і апаратів. Але витрата металу в водяних геліосистемах значно нижче, що у великій мірі сприяє більш широкому їх застосуванню.

Сезонні геліосистеми гарячого водопостачання зазвичай одноконтурні та функціонують в літні і перехідні місяці, в періоди з позитивною температурою зовнішнього повітря. Вони можуть мати додаткове джерело теплоти або обходитися без нього в залежності від призначення обслуговуваного об'єкта і умов експлуатації.

Сонячна водонагрівальна установка СВУ складається з сонячного колектора і теплообмінника-акумулятора. Через сонячний колектор циркулює теплоносій (антифриз). Теплоносій нагрівається в сонячному колекторі енергією Сонця і віддає потім теплову енергію воді через теплообмінник, вмонтований в бак-акумулятор. У баку-акумуляторі зберігається гаряча вода до моменту її використання, тому він повинен мати хорошу теплоізоляцію. У першому контурі, де розташований сонячний колектор, може використовуватися природна або примусова циркуляція теплоносія. У бак-акумулятор може встановлюватися електричний або який-небудь інший автоматичний нагрівач-дублер. У разі зниження температури в баці-акумуляторі нижче встановленої (тривала похмура погода чи мала кількість годин сонячного сяйва взимку) нагрівач-дублер автоматично вмикається і догріває воду до заданої температури (рис. 1.2).



(1 – сонячний колектор; 2 – теплообмінник; 3 – бак-акумулятор; 4 – електронагрівач)

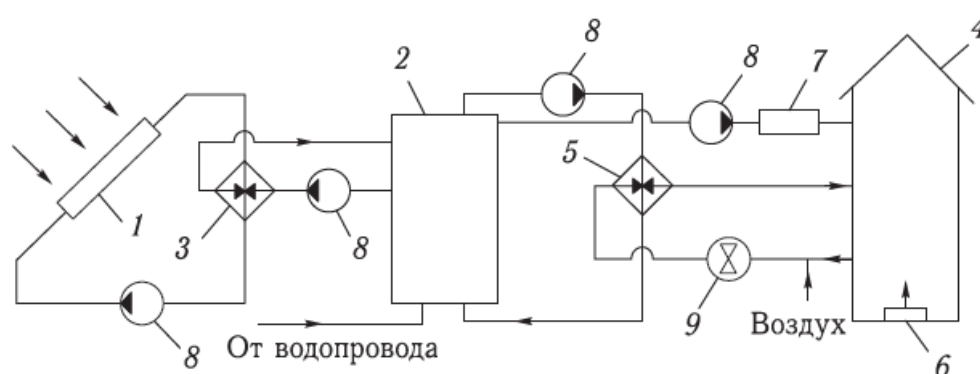
Рисунок 1.2 – Схема сонячної водонагрівальної установки

Геліосистеми опалення будівель зазвичай двоконтурні або найчастіше багатоконтурні, причому для різних контурів можуть бути застосовані різні теплоносії (наприклад, в геліоконтурі - водні розчини незамерзаючих рідин, в проміжних контурах - вода, а в контурі споживача - повітря). Комбіновані геліосистеми цілорічної дії для цілей теплохолодозабезпечення будівель багатоконтурні і включають додаткове джерело теплоти у вигляді традиційного теплогенератора, що працює на органічному паливі, або трансформатора теплоти. Принципова схема системи сонячного теплопостачання приведена на рисунку 1.3. Вона включає три контури циркуляції:

- перший контур, що складається з сонячних колекторів 1, циркуляційного насоса 8 і рідинного теплообмінника 3;
- другий контур, що складається з бака-акумулятора 2, циркуляційного насоса 8 і теплообмінника 3;
- третій контур, що складається з бака-акумулятора 2, циркуляційного насоса 8, водоповітряного теплообмінника (калорифера) 5.

Функціонує система сонячного теплопостачання в такий спосіб.

Теплоносій (антифриз) теплоприємного контуру, нагріваючись в сонячних колекторах 1, надходить в теплообмінник 3, де теплота антифризу передається воді, що циркулює в міжтрубному просторі теплообмінника 3 під дією насоса 8 другого контуру. Нагріта вода надходить в бак-акумулятор 2. З бака-акумулятора вода забирається насосом гарячого водопостачання 8, доводиться при необхідності до необхідної температури в дублера 7 і надходить в систему гарячого водопостачання будівлі. Підживлення бака акумулятора здійснюється з водопроводу. Для опалення вода з бака-акумулятора 2 подається насосом третього контуру 8 в калорифер 5, через який за допомогою вентилятора 9 пропускається повітря і, нагрівшись, надходить в будівлю 4. У разі відсутності сонячної радіації або нестачі теплової енергії, що виробляється сонячними колекторами, в роботу включається дублер 6. Вибір і компонування елементів системи сонячного теплопостачання в кожному конкретному випадку визначаються кліматичними факторами, призначенням об'єкта, режимом теплоспоживання, економічними показниками (рис. 1.3).



(1 – сонячний колектор; 2 – бак-акумулятор; 3 – теплообмінник; 4 – будівля; 5 – калорифер; 6 – дублер системи опалення; 7 – дублер системи гарячого водопостачання; 8 – циркуляційний насос; 9 – вентилятор)

Рисунок 1.3 – Принципова схема системи сонячного теплозабезпечення

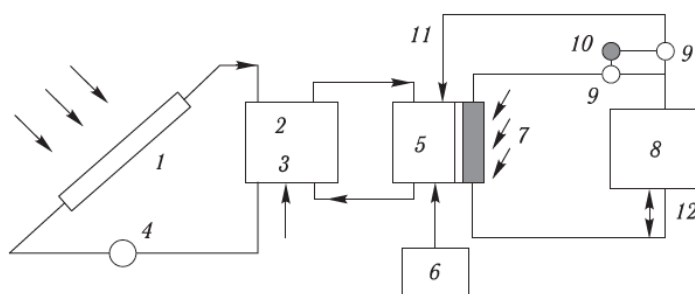
На рисунку 1.4 наведена схема системи сонячного опалення енергоефективного екологічно чистого будинку.

В системі в якості теплоносія використовують: воду при плюсових температурах і антифриз в опалювальний період (сонячний контур), воду (другий контур підлогового опалення) і повітря (третій контур повітряного сонячного опалення).

Як дублюючого джерела використаний електрокотел, а для акумулювання тепла на одну добу використовується акумулятор об'ємом 5 м³ з насадкою з гальки. Один кубометр гальки акумулює в середньому за день 5 МДж тепла.

Низькотемпературні системи акумулювання теплоти охоплюють діапазон температур від 30 до 100 °С і використовуються в системах повітряного (30 °С) і водяного (30-90 °С) опалення та гарячого водопостачання (45-60 °С).

Система акумулювання теплоти, як правило, містить резервуар, теплоакumuлюючий матеріал, за допомогою якого здійснюється накопичення і зберігання теплової енергії, теплообмінні пристрої для підведення і відведення теплоти при зарядці і розрядці акумулятора і теплову ізоляцію (рис. 1.4).



(1 – сонячний колектор; 2 – бак акумулятор; 3 – теплообмінник; 4 – циркуляційний насос; 5 – будівля з опалювальною підлогою; 6 – електрокотел; 7 – пасивна сонячна система опалення; 8 – галієвий акумулятор; 9 – заслінки; 10 – вентилятор; 11 – потік теплого повітря в будівлю; 12 – подача рециркуляційного повітря в будівлю)

Рисунок 1.4 – Схема системи сонячного теплозабезпечення

Акумулятори можна класифікувати за характером фізико-хімічних

процесів, що протікають в теплоакumuлюючих матеріалах:

- акумулятори ємнісного типу, в яких використовується теплоємність нагрівається матеріалу (галька, вода, водні розчини солей та ін.);
- акумулятори фазового переходу речовини, в яких використовується теплота плавлення (затвердіння) речовини;
- акумулятори енергії, засновані на виділення і поглинання теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях.

Найбільш широко поширені акумулятори теплоти ємнісного типу.

Кількість теплоти Q (кДж), яке може бути накопичено в акумуляторі теплоти ємнісного типу, визначається за формулою (1.1)

$$Q = m \cdot c \cdot (T_2 - T_1), \quad (1.1)$$

де m – маса теплоакumuлюючої речовини, кг;

c – питома ізобарна теплоємність речовини, $\frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$;

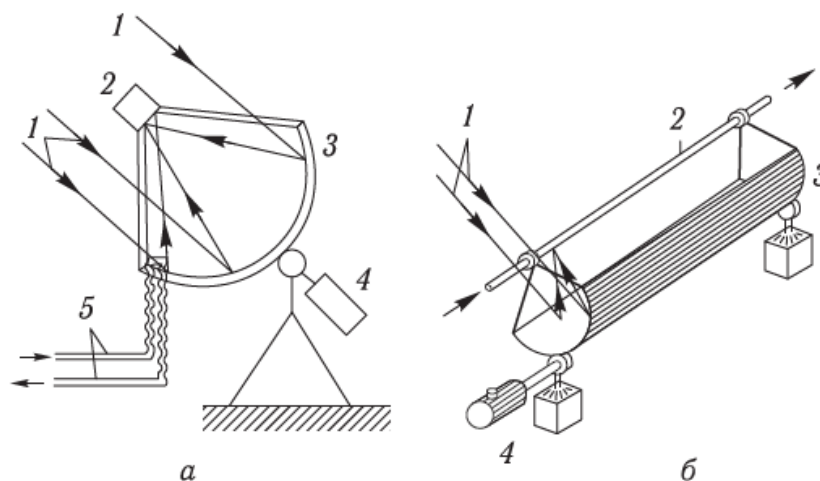
T_1 і T_2 – середні значення початкової і кінцевої температур теплоакumuлюючої речовини, °С.

Найбільш ефективним теплоакumuлюючим матеріалом в рідинних сонячних системах теплопостачання є вода. Для сезонного акумулювання теплоти перспективно використання підземних водойм, ґрунту гірської породи та інших природних утворень.

1.2 Концентруючі геліоприймачі

Концентруючі геліоприймачі представляють собою сферичні або параболічні дзеркала (рис. 1.5), виконані з полірованого металу, в фокус яких поміщають теплосприймаючий елемент (сонячний котел), через який циркулює теплоносіє. В якості теплоносія використовують воду або незамерзаючі рідини. При використанні в якості теплоносія води в нічні

години і в холодний період систему обов'язково спорожнюють для запобігання її замерзання.



(*a* – параболічний концентратор; *б* – параболіциліндричний; 1 – сонячні промені; 2 – теплосприймаючий елемент (сонячний колектор); 3 – дзеркало; 4 – механізм приводу системи стеження; 5 – трубопроводи, які підводять та відводять теплоносій)

Рисунок 1.5 – Концентруючі геліоприймачі

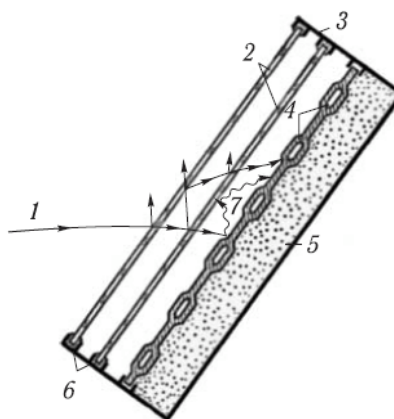
Для забезпечення високої ефективності процесу уловлювання і перетворення сонячної радіації концентратор геліоприймача повинен бути постійно спрямований строго на Сонце. З цією метою геліоприймача постачають системою стеження, що включає датчик напрямку на Сонце, електронний блок перетворення сигналів, електродвигун з редуктором для повороту конструкції геліоприймача в двох площинах.

Перевагою систем з концентратором геліоприймача є здатність вироблення теплоти з відносно високою температурою (до 100 °C) і навіть пара. До недоліків слід віднести високу вартість конструкції; необхідність постійного очищення поверхонь, що відбивають від пилу; роботу тільки в світлий час доби, а отже, потреба в акумуляторах великого обсягу; великі енерговитрати на привід системи стеження за ходом Сонця, співмірні з вироблюваною енергією. Останнім часом найбільш часто для сонячних низькотемпературних

систем опалення застосовують плоскі геліоприймачі.

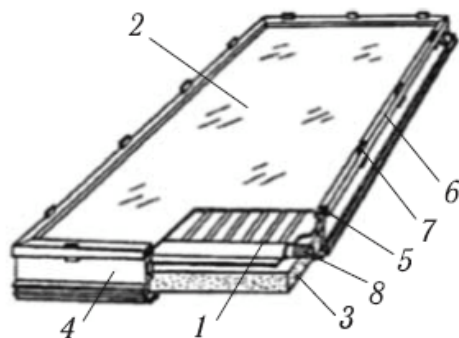
1.3 Плоскі сонячні колектори

Плоский сонячний колектор являє собою теплообмінник, призначений для нагріву рідини або газу за рахунок сонячної енергії. Область застосування плоских сонячних колекторів - системи опалення житлових і виробничих будівель, системи кондиціонування, системи гарячого водопостачання, а також енергетичні установки з низькокиплячим робочим тілом, що працюють зазвичай по циклу Ренкіна. Плоскі сонячні колектори (рис. 1.6 та 1.7) складаються зі скляного або пластикового покриття (одинарного, подвійного, потрійного), теплосприймаючої панелі, пофарбованої з боку, зверненої до Сонця, в чорний колір, ізоляції на зворотному боці і корпусу (металевого, пластикового, скляного, дерев'яного).



(1 – сонячні промені; 2 – застеклення; 3 – корпус; 4 – теплосприймаюча поверхня; 5 – теплоізоляція; 6 – ущільнювач; 7 – власне довгохвильове випромінювання теплосприймаючої пластини)

Рисунок 1.6 – Плоский сонячний колектор



(1 – абсорбер, вкритий чорною фарбою; 2 – скло; 3 – пінополіуританова ізоляція; 4 – корпус колектора; 5-7 – ущільнювачі і елементи кріплення; 8 – штуцери для приєднання до системи)

Рисунок 1.7 – Найпростіший сонячний колектор

У якості теплосприймаючої панелі можна використовувати будь-який металевий або пластмасовий лист з каналами для теплоносія. Виготовляються теплосприймаючі панелі з алюмінію або сталі двох типів: лист-труба і штамповані панелі (труба в листі). Пластмасові панелі через недовговічності і швидкого старіння під дією сонячних променів, а також з-за малої теплопровідності не знаходять широкого застосування. Під дією сонячної радіації теплосприймаючі панелі розігріваються до температур 70-80 °С, що перевищують температуру навколишнього середовища, що веде до збільшення конвективної тепловіддачі панелі в навколишнє середовище і її власного випромінювання на небосхил. Для досягнення більш високих температур теплоносія поверхню пластини покривають спектрально-селективними шарами, активно поглинають короткохвильове випромінювання Сонця і знижують її власне теплове випромінювання в довгохвильовій частині спектра. Такі конструкції на основі «чорного нікелю», «чорного хрому», окису міді на алюмінії, окису міді на міді та інші - дорогі (їх вартість часто порівнянна з вартістю самої теплосприймаючої панелі). Іншим способом поліпшення характеристик плоских колекторів є створення вакууму між теплосприймаючою панеллю і прозорою ізоляцією для зменшення теплових втрат (сонячні колектори четвертого покоління).

Принцип дії колектора заснований на тому, що він сприймає сонячну радіацію з досить високим коефіцієнтом поглинання видимого сонячного світла і має порівняно низькі теплові втрати, в тому числі за рахунок низького коефіцієнта пропускання світлопрозорого скляного покриття для теплового випромінювання при робочій температурі. Ясно, що температура одержуваного теплоносія визначається тепловим балансом колектора. Прибуткову частину балансу представляє тепловий потік сонячного випромінювання з урахуванням оптичного ККД колектора; видаткова частина визначається вилученими корисним теплом, сумарним коефіцієнтом теплових втрат і різницею робочої температури і навколишнього середовища. Досконалість колектора визначається його оптичним і тепловим ККД.

Оптичний ККД η_0 показує, яка частина сонячної радіації, що досягла поверхні скління колектора, виявляється поглиненою абсорбуючою випромінювання чорної поверхнею, і враховує втрати енергії, пов'язані з поглинанням в склі, відображенням і відмінністю коефіцієнта теплового випромінювання абсорбуючій поверхні від одиниці.

Тепловий ККД дорівнює відношенню кількості корисної теплоти $Q_{кор}$, відведеної від колектора за відведений час, до кількості енергії, поступаючої до нього від Сонця за той же час:

$$\eta = \frac{Q_{кор}}{I \cdot S}, \quad (1.2)$$

де S – площа колектора, m^2 ;

I – інтенсивність сонячної радіації, $\frac{Вт}{m^2}$.

Оптичний і тепловий ККД колектора зв'язані між собою відношенням:

$$\eta = \eta_0 - \frac{Q_{втр}}{I \cdot S}. \quad (1.3)$$

Теплові втрати характеризуються повним коефіцієнтом втрат:

$$U = \frac{Q_{\text{втр}}}{S \cdot (T_a - T_o)}, \quad (1.4)$$

де T_a – температура чорної поверхні, яка абсорбує сонячну радіацію, K ;

T_o – температура навколишнього середовища, K .

Найпростіший сонячний колектор з одностекольним світлопрозорим покриттям, пенополиуретановою ізоляцією інших поверхонь і абсорбером, покритим чорною фарбою, має оптичний ККД близько 85%, а коефіцієнт теплових втрат близько 5-6 $\frac{Вт}{м^2}$ (рис. 1.7). Сукупність плоскою лучепоглощающей поверхні і труб (каналів) для теплоносія утворює єдиний конструктивний елемент - абсорбер. Такий колектор влітку в середніх широтах може нагріти воду до 55-60 °С і має денну продуктивність в середньому 70-80 л води з 1 $м^2$ поверхні нагрівача.

Для отримання більш високих температур застосовують колектори з вакуумованих труб з селективним покриттям (рис. 1.8).



Рисунок 1.8 – Колектор з вакуумованих труб

У вакуумному колекторі обсяг, в якому знаходиться чорна поверхня, що

поглинає сонячне випромінювання, відокремлена від навколишнього середовища вакуумованим простором (кожен елемент абсорбера поміщається в окрему скляну трубу, усередині якої створюється вакуум), що дозволяє практично повністю усунути втрати теплоти в навколишнє середовище за рахунок теплопровідності і конвекції. Втрати на випромінювання в значній мірі знижуються за рахунок застосування селективного покриття. У вакуумному колекторі теплоносій можна нагріти до 120-150 °С. ККД вакуумного колектора істотно вище, ніж плоского колектора, але й коштує він значно дорожче.

Ефективність роботи геліоенергетичних установок багато в чому залежить від оптичних властивостей поверхні, що поглинає сонячне випромінювання. Для зведення до мінімуму втрат енергії необхідно, щоб у видимій та ближній інфрачервоних областях сонячного спектра коефіцієнт поглинання цієї поверхні був якомога ближче до одиниці, а в області довжин хвиль власного теплового випромінювання поверхні до одиниці повинен прагнути коефіцієнт відображення. Таким чином, поверхня має бути селективними властивостями - добре поглинати короткохвильове випромінювання і добре відображати довгохвильове.

За типом механізму, відповідального за вибіркковість оптичних властивостей, розрізняють чотири групи селективних покриттів:

- власні;
- двошарові, у яких верхній шар має більший коефіцієнт поглинання у видимій області спектра і малим - в інфрачервоній області, а нижній шар - високим коефіцієнтом відображення в інфрачервоній області;
- з мікрорельєфом, що забезпечує необхідний ефект;
- інтерференційні.

Власної вибіркковістю оптичних властивостей володіє невелике число відомих матеріалів, наприклад W, Cu₂S, HfC.

Найбільшого поширення набули двошарові селективні покриття. На поверхню, яку необхідно надати селективні властивості, наноситься шар з

великим коефіцієнтом відбиття в довгохвильовій області спектра, наприклад мідь, нікель, молібден, срібло, алюміній. Поверх цього шару наноситься шар, прозорий в довгохвильовій області, але має високий коефіцієнт поглинання у видимій і ближній інфрачервоній областях спектру. Такими властивостями володіють багато оксиди.

Селективність поверхні може бути забезпечена за рахунок чисто геометричних факторів: нерівності поверхні повинні бути більше довжини хвилі світла у видимій і ближній інфрачервоній областях спектру і менше довжини хвилі, відповідної власному тепловому випромінюванню поверхні. Така поверхня для першої із зазначених областей спектра буде чорної, а для другої - дзеркальною.

Селективними властивостями володіють поверхні з дендритних або пористою структурою при відповідних розмірах дендритних голок або пір.

Інтерференційні селективні поверхні утворені декількома перемежованими шарами металу і діелектрика, в яких короткохвильове випромінювання гаситься за рахунок інтерференції, а довгохвильове - вільно відбивається.

1.4 Маштаби використання сонячних систем теплозабезпечення

За даними МЕА до кінця 2018р сумарна площа встановлених колекторів в 26 країнах, найбільш активних в цьому відношенні, склала близько 100 млн m^2 , з яких 27,7 млн m^2 припадає на частку незаскленому колекторів, в основному використовуються для підігріву води в басейнах. Решта - плоскі засклені колектори і колектори з вакуумуванням трубами, - використовувалися в системах ГВС або для опалення приміщень. За площею встановлених колекторів, що припадає на 1000 жителів, лідирують Ізраїль (608 m^2), Греція (298) і Австрія (220). Слідом ідуть Туреччина, Японія, Австралія, Данія і Німеччина з питомою площею встановлених колекторів 118-45 m^2 / 1000 жителів.

Загальна площа сонячних колекторів, встановлених до кінця 2004 р, в країнах ЄС досягла 13,96 млн m^2 , а в світі вже перевищила 150 млн m^2 . Щорічний приріст площі сонячних колекторів в Європі в середньому становить 12%, а в окремих країнах знаходиться на рівні 28-30% і більше. Світовий лідер за кількістю колекторів на тисячу жителів - Кіпр, де 90% будинків обладнані сонячними установками (на тисячу жителів тут припадає 615,7 m^2 сонячних колекторів), за ним слідує Ізраїль, Греція і Австрія. Абсолютним лідером за площею встановлених колекторів в Європі є Німеччина - 47%, далі йде Греція - 14%, Австрія - 12%, Іспанія - 6%, Італія - 4%, Франція - 3%. Європейські країни - безперечні лідери в розробці нових технологій систем сонячного теплопостачання, однак сильно поступаються Китаю в обсягах введення в експлуатацію нових сонячних установок.

Із загальної площі сонячних колекторів, встановлених в світі в 2018 р, 78% встановлено в Китаї. Ринок СВУ в Китаї останнім часом зростає з темпом 28% на рік.

У 2007 р загальна площа сонячних колекторів, встановлених в світі, вже становила 200 млн m^2 , в тому числі в Європі - понад 20 млн m^2 .

Сьогодні на світовому ринку вартість СВУ (рис. 9), що включає колектор площею 5-6 m^2 , бак-акумулятор ємністю близько 300 л і необхідну арматуру, становить 300-400 \$ США в розрахунку на 1 m^2 колектора. Такі системи переважно встановлюються в індивідуальних одно- і двохсімейних будинках і мають резервний нагрівач (електро- або газовий). При установці бака-акумулятора вище колектора система може працювати на природній циркуляції (термосифонний принцип); при установці бака-акумулятора в підвалі - на примусовій (рис. 1.9).

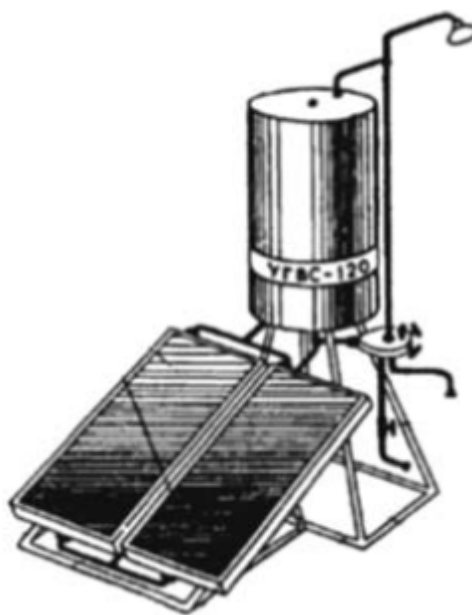


Рисунок 1.9 – Один з варіантів СВУ

У світовій практиці найбільш широко поширені малі системи сонячного теплопостачання. Як правило, такі системи включають в себе сонячні колектори загальною площею 2-8 м², бак-акумулятор, ємність якого визначається площею встановлених колекторів, циркуляційний насос (в залежності від типу теплової схеми) та інше допоміжне обладнання.

Активні системи великого розміру, в яких бак-акумулятор знаходиться нижче колекторів і циркуляція теплоносія здійснюється за допомогою насоса, застосовуються для потреб гарячого водопостачання та опалення. Як правило, в активних системах, що беруть участь в покритті частини навантаження опалення, передбачається дублюючий джерело тепла, що працює на електроенергії або газі.

Порівняно нове явище в практиці використання сонячного теплопостачання - великі системи, здатні забезпечити потреби гарячого водопостачання та опалення багатоквартирних будинків або цілих житлових кварталів. У таких системах передбачено або добове, або сезонне акумулювання тепла. Добове акумулювання передбачає можливість роботи

системи з витрачанням тепла, накопиченого протягом декількох діб, сезонне - протягом декількох місяців. Для сезонного акумулювання тепла використовують великі підземні резервуари, наповнені водою, в які скидаються всі надлишки тепла, одержуваного від колекторів протягом літа.

У таблиці 1 наведені основні параметри великих сонячних систем з добовим і сезонним акумулюванням тепла в порівнянні з малою сонячною системою для односімейного будинку.

Таблиця 1 – Основні параметри сонячних систем теплозабезпечення

№ п/п	Основні параметри	Тип системи		
		1*	2**	3***
1	Площа колекторів, яка розрахована на одну людину, $\frac{м^2}{чел}$	1 – 1,5	0,8 – 1,2	1,5 – 2,5
2	Об'єм теплового акумулятора, $\frac{л}{м^2}$ колектора	50 – 80	50 – 60	1500 – 2500
3	Частка навантаження гарячого водозабезпечення, яку компенсує сонячна енергія, %	50	50	–
4	Частка загального навантаження, яку компенсує сонячна енергія, %	15	20	40 – 50
5	Вартість тепла, яке отримуємо за рахунок сонячної енергії, $\frac{Євро}{кВт \cdot ч}$	0,2 – 0,4	0,08 – 0,15	0,17 – 0,25

Де * – система гарячого водозабезпечення для односімейного будинку;
** – система центрального теплотабепечення з добовим акумулюванням
тепла (більш ніж 40 квартир аба більше 100 чолвік); *** – система
центрального теплотабепечення з сезонним акумулюванням тепла (більш ніж
100 квартир площею 70 м^2).

В даний час в Європі функціонують 10 сонячних систем
теплотабепечення з площею колекторів від 2400 до 8040 м^2 , 22 системи з
площею колекторів від 1000 до 1250 м^2 та 25 систем з площею колекторів від
500 до 1000 м^2 . Нижче наведені характеристики для деяких великих систем.

Hamburg (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 14800 м^2 .
Площа сонячних колекторів - 3000 м^2 . Обсяг водяного акумулятора тепла -
 4500 м^3 .

Fridrichshafen (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 33000 м^2 .
Площа сонячних колекторів - 4050 м^2 . Об'єм водяного акумулятора тепла -
 12000 м^3 .

Ulm-am-Neckar (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 25000
 м^2 . Площа сонячних колекторів - 5300 м^2 . Об'єм ґрунтового акумулятора
тепла - 63400 м^3 .

Rostock (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 7000 м^2 .
Площа сонячних колекторів - 1000 м^2 . Об'єм ґрунтового акумулятора тепла -
 20000 м^3 .

Hemnitz (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 4680 м^2 .
Площа вакуумних сонячних колекторів - 540 м^2 . Об'єм гравійно-водяного
акумулятора тепла - 8000 м^3 .

Attenkirchen (Німеччина). Площа опалювальних приміщень - 4500 м^2 .
Площа вакуумних сонячних колекторів - 800 м^2 . Об'єм ґрунтового
акумулятора тепла - 9850 м^3 .

Saro (Швеція). Система складається з 10 невеликих будинків, що

включають 48 квартир. Площа сонячних колекторів - 740 м^2 . Об'єм водяного акумулятора тепла - 640 м^3 . Сонячна система покриває 35% загальної теплового навантаження системи тепlopостачання.

В даний час в Росії існує кілька фірм, що випускають сонячні колектори, придатні для надійної експлуатації. Основні з них - це Ковровский механічний завод, НВО Машинобудування і ЗАТ АЛТЕН.

Колектори Ковровського механічного заводу (рис. 1.10), що не мають селективного покриття, дешеві і прості за конструкцією, орієнтовані в основному на внутрішній ринок. У Краснодарському краї в даний час встановлено понад 1500 колекторів такого типу.



Рисунок 1.10 – Сонячні колектори Ковровського механічного заводу

Колектор НПО машинобудування за характеристиками близький до європейських стандартів. Абсорбер колектора виконаний з алюмінієвого сплаву з селективним покриттям і розрахований головним чином на роботу в двоконтурних схемах тепlopостачання, оскільки прямий контакт води з алюмінієвими сплавами може привести до пітінгової корозії каналів, по яких проходить теплоносій.

Колектор АЛТЕН-1 має абсолютно нову конструкцію і задовольняє європейським стандартам, його можна використовувати як в одноконтурних, так і двоконтурних схемах теплопостачання. Колектор відрізняється високими теплотехнічними характеристиками, широким діапазоном можливих застосувань, малою вагою і привабливим дизайном.

Досвід експлуатації установок на основі сонячних колекторів виявив ряд недоліків подібних систем. Перш за все це висока вартість колекторів, пов'язана з селективними покриттями, підвищенням прозорості скління, вакуумированим і т. д. Істотним недоліком є необхідність частого очищення стекол від пилу, що практично виключає застосування колектора в промислових районах. При тривалій експлуатації сонячних колекторів, особливо в зимових умовах, спостерігається частий вихід їх з ладу через нерівномірність розширення освітлених і затемнених ділянок скла за рахунок порушення цілісності скління. Відзначається також великий відсоток виходу з ладу колекторів при транспортуванні і монтажі. Значним недоліком роботи систем з колекторами є також нерівномірність завантаження протягом року і доби. Досвід експлуатації колекторів в умовах Європи та європейської частини Росії при високій частці дифузійної радіації (до 50%) показав неможливість створення цілорічної автономної системи гарячого водопостачання та опалення. Всі геліосистеми з сонячними колекторами в середніх широтах вимагають пристрою великих за обсягом баків-акумуляторів і включення в систему додаткового джерела енергії, що знижує економічний ефект від їх застосування. У зв'язку з цим найбільш доцільно їх використання в районах з високою інтенсивністю сонячної радіації (не нижче

$$300 \frac{Вт}{м^2}).$$

1.5 Вибір сонячного колектора

Після того як цілі використання визначені можна приступати до підбору типу сонячного колектора.

Як відомо, існує кілька основних типів вакуумних сонячних колекторів, які так само значно відрізняються між собою, тому буде більш коректно розглядати кожен тип окремо (рис. 1.11).

Для порівняння були обрані чотири основні типи вакуумних трубчастих колекторів і один плоский високоефективні:

- вакуумний трубчастий колектор з пір'яним абсорбером і прямоточним тепловими каналом;
- вакуумний трубчастий сонячний колектор з пір'яним абсорбера з тепловою трубкою "heat pipe";
- U-образний прямоточний вакуумний колектор з коаксіальної колбою і відбивачем;
- вакуумний трубчастий сонячний колектор з коаксіальної колбою і тепловою трубкою "heat pipe";
- плоский високоефективні сонячний колектор



Рисунок 1.11 – Досліджувані сонячні колектори та їх характеристика

Більшість аргументів за чи проти того чи іншого типу колектора зводяться до досить абстрактним показниками, таким як: «краще сприйняття сонячних променів», «відсутність тепловтрат» і т.д. Але оскільки у кожного сонячного колектора є абсолютно конкретні параметри ефективності, слід довіряти саме цими даними для розрахунку продуктивності сонячного колектора в кожному обраному випадку (рис. 1.12).

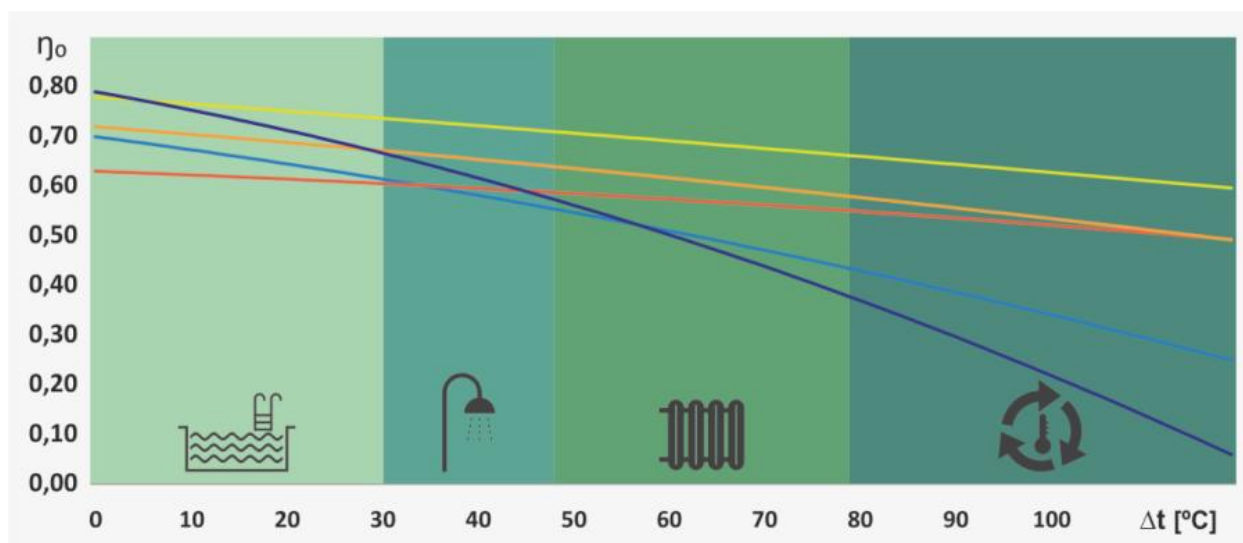


Рисунок 1.12 – Ефективність сонячних колекторів

На графіку показана залежність коефіцієнта корисної дії від різниці температури між навколишнім повітрям і теплоносієм в сонячному колекторі за умови сонячного випромінювання дорівнює $1000 \frac{Вт}{м^2}$. Для аналізу скористаємося середніми параметрами для кожного обраного типу сонячного колектора зазначеними на зображенні.

Перша зона з мінімальною різницею температури характерна для режиму роботи сонячного колектора для нагріву води в басейні. Режим роботи геліосистеми в другій зоні є оптимальним для гарячого водопостачання в цілорічному режимі. Третя зона відповідає режиму роботи сонячних колекторів для потреб опалення, оскільки температура навколишнього повітря

в опалювальний період найнижча. Четверта зона використовується для отримання високих температур використовуваних в технологічних потребах. У побутовому секторі такий температурний режим роботи зустрічається вкрай рідко.

З графіка ми бачимо, що чим менше Δt (фактично це означає - чим нижче температура подачі теплоносія) тим вище ККД сонячного колектора. Саме тому для геліосистеми оптимальним є застосування низькотемпературних систем опалення таких як «теплі підлоги».

Газова плита і вакуумні трубчасті колектори з плоским пір'яним абсорбером мають більш високу продуктивність при роботі на нагрів басейну та ГВП за рахунок оптичних властивостей, що сприяють кращому поглинанню сонячного світла. У свою чергу вакуумний сонячний колектор з коаксіальної колбою краще працює в опалювальний період завдяки кращій теплоізоляції.

Наступна діаграма дозволяє оцінити середню продуктивність колекторів за рік і за опалювальний період (нижня частина стовпчика) (рис. 1.13).

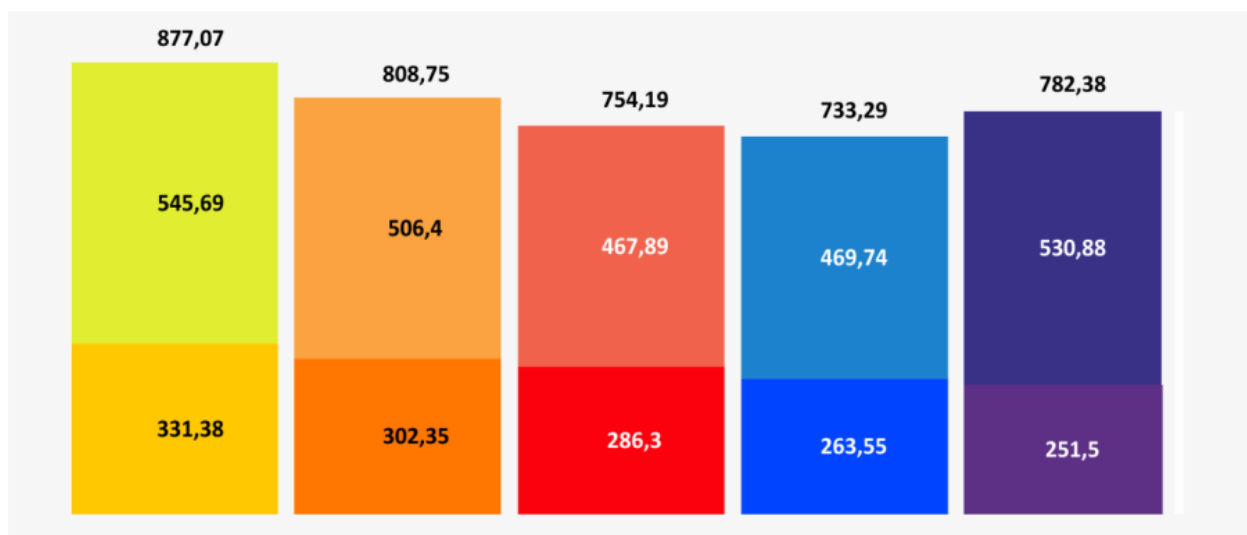


Рисунок 1.13 – Середня продуктивність колекторів

Дані про кількість виробленої енергії отримані за допомогою розрахунку, в програмі дозволяє змоделювати роботу сонячної системи за рік. У розрахунках використовуються усереднені дані по сонячному випромінюванню і погоді для міста Дніпропетровська. Розрахунки приведені до 1 м² апертурними площі кожного типу колектора.

Діаграма дозволяє оцінити максимальну ефективність при безперервній роботі сонячної системи під час всього року. На практиці такі умови практично неможливі і не завжди відображають реальну картину продуктивності сонячного колектора (рис. 1.14).

Для розрахунку реальної продуктивності скористаємося прикладом. Змодельуємо передбачуваний випадок застосування геліосистеми для потреб гарячого водопостачання в цілорічному режимі і підтримки системи опалення теплою підлогою з наступними параметрами:

– площа опалення - 200 м²;

– тепловтрати - сучасна споруда з високим рівнем теплоізоляції $50 \frac{Вт}{м^2}$

площі;

– місце розташування - Київ;

– ГВП - 200 л на добу;

– апертурна площа колекторів - 30 м²;

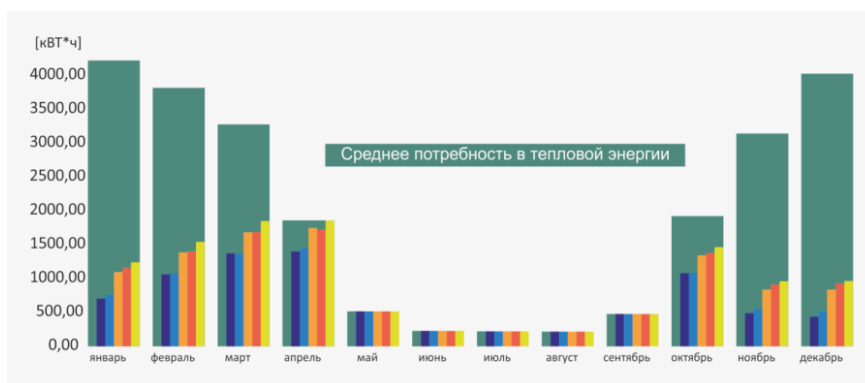


Рисунок 1.14 – Ефективність колекторів при безперервній роботі під час всього року

На графіку видно, що при використанні сонячного колектора для опалення більш важливим є низькі теплові втрати. При цьому хороші оптичні характеристики дають приріст вироблення тепла в міжсезоння, коли середня температура повітря вище, але все ще необхідно опалення (рис. 1.15).

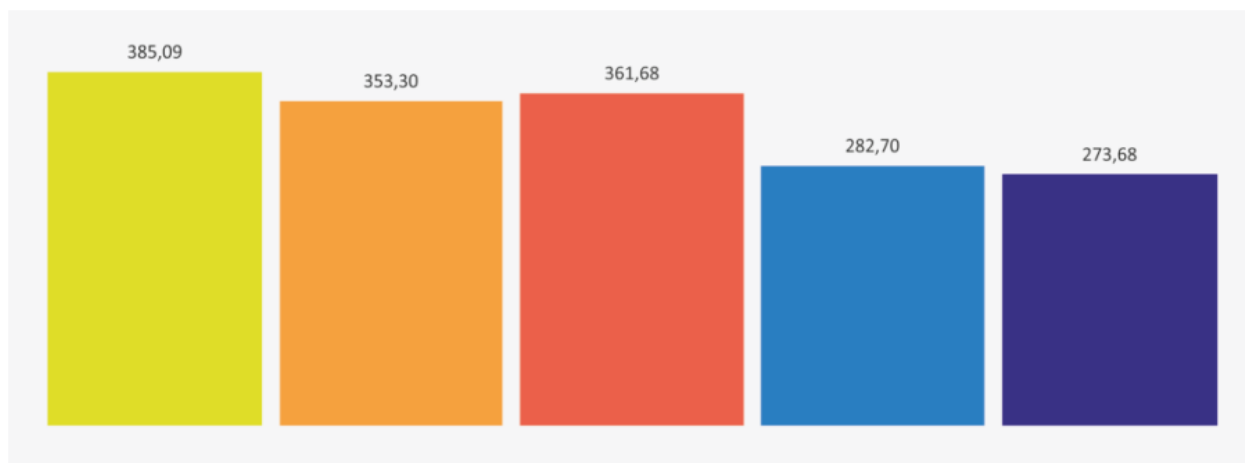


Рисунок 1.15 – Реальна продуктивність геліосистеми за рік

У підсумку отримуємо реальну продуктивність геліосистеми за рік.

Вартість сонячних колекторів може значно варіюватися і залежить від безлічі факторів: якість збірки, матеріал абсорбера і корпусу, товщина і спосіб укладання ізоляції, товщина скла і т.д. Щоб оцінити вартість отриманої теплової енергії від сонячних колекторів задамося середньою вартістю одного метра квадратного кожного типу сонячного колектора. Так само взявши за основу термін експлуатації 25 років і умови експлуатації описані в прикладі, маємо очікувати значення вартості отриманого $1 \text{ кВт} \cdot \text{ч}$ енергії (рис. 1.16).

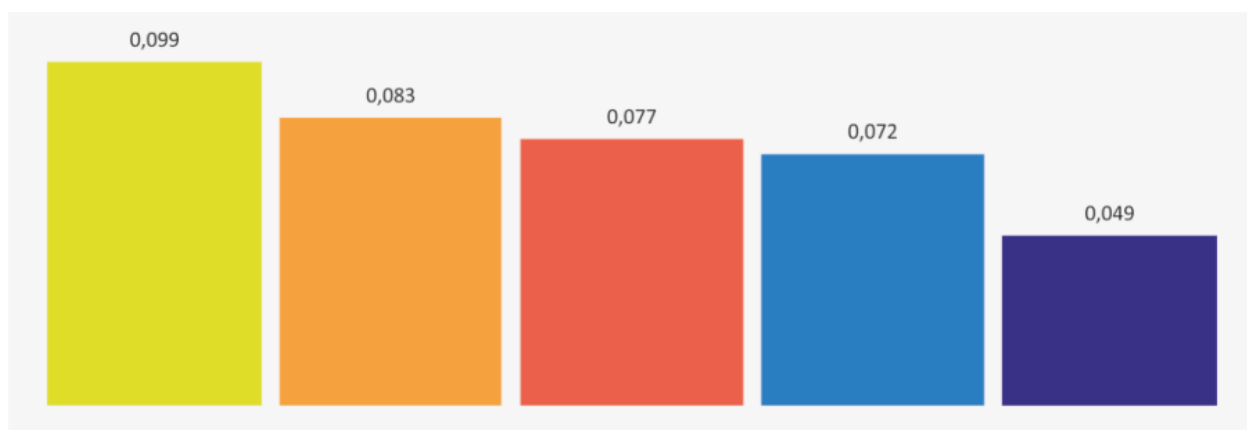


Рисунок 1.16 – Вартість отриманої теплової енергії від сонячних колекторів

Як бачимо з графіка, тепло отримане від прямого вакуумного колектора з пір'яним абсорбером є найбільш дорогим. А тепло отримане від плоского сонячного колектора найдешевше, відповідно плоскі колектори мають мінімальний термін окупності.

Однак ціна сонячного колектора не завжди є основним фактором. Дорожчі колектори можуть мати більший термін служби і низькі експлуатаційні витрати, пов'язані з можливими поломками. У зв'язку з цим, можна розглядати установку як дорогої брендової техніки, так і бюджетних варіантів при певному рівні початкових капіталовкладень.

2 ЕФЕКТИВНІСТЬ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ

2.1 Економічні характеристики

Основна проблема широкого використання сонячних установок пов'язана з їх недостатньою економічною ефективністю в порівнянні з традиційними системами тепlopостачання. Вартість теплової енергії в установках з сонячними колекторами вище, ніж в установках з традиційними паливами. Термін окупності сонячної теплової установки $T_{ок}$ можна визначити за формулою:

$$T_{ок} = \frac{C}{EЦ_m - I_{ек}}, \quad (2.1)$$

де C – питома вартість сонячної установки, $\frac{грн}{м^2}$;

E – річна кількість енергії, яку виробляє сонячна установка, $\frac{кВт \cdot ч}{м^2 \cdot год}$;

$Ц_m$ – вартість енергії традиційного джерела, $\frac{грн}{кВт \cdot ч}$;

$I_{ек}$ – витрати експлуатації, $\frac{грн}{м^2 \cdot год}$.

Економічний ефект установки сонячних колекторів в зонах централізованого тепло забезпечення може бути визначений як дохід від продаж енергії в період всього терміну служби установки з вирахуванням витрат експлуатації:

$$Eф = (T_{сл} - T_{ок})(EЦ_m - I_{ек})S, \quad (2.2)$$

де S – площа колекторів, m^2 ;

$T_{сл}$ – термін служби установки.

У таблиці 2 представлена вартість систем сонячного теплопостачання. Дані показують, що вітчизняні розробки в 2,5-3 рази дешевше закордонних.

Низька ціна вітчизняних систем пояснюється тим, що вони виконані з дешевих матеріалів, прості за конструкцією і орієнтовані на внутрішній ринок.

Таблиця 2.1 – Вартість систем сонячного тепло забезпечення

Найменування	Основні параметри €	Питома вартість, $\frac{\text{€}}{m^2}$	
		Власні	Зарубіжні
Сонячні колектори	Площа сонце-приймальної панелі 0,8-1,6 m^2	100-250	290-500
Системи гарячого водопостачання	На 1 m^2 встановлених колекторів	200-500	500-1000
Системи опалення і гарячого водопостачання	На 1 m^2 встановлених колекторів	600-1200	1500-2000

Питомий економічний ефект $(\frac{E\phi}{S})$ в зоні централізованого теплопостачання, в залежності від терміну служби колекторів, становить від 200 до 800 $\frac{\text{€рн}}{m^2}$.

Набагато більший економічний ефект мають установки теплопостачання з сонячними колекторами в регіонах, віддалених від централізованих

енергомереж. Ці установки призначені для роботи в автономному режимі на індивідуальних споживачів, де потреби в тепловій енергії досить значні. У той же час вартість традиційних палив набагато вище їх вартості в зонах централізованого тепlopостачання через транспортних витрат і втрат палива при транспортуванні, тобто вартість палива в регіоні Π_{mp} включається регіональний фактор r_p :

$$\Pi_{mp} = r_p \cdot \Pi_m, \quad (2.3)$$

де $r_p > 1$ і для різних регіонів може змінювати свою величину. У той же час питома вартість установки C майже не змінюється в порівнянні з Π_{mp} . Тому при заміні Π_m на Π_{mp} в формулах

$$T_{ок} = \frac{C}{E\Pi_m - I_{ек}}, \quad (2.4)$$

де C – питома вартість сонячної установки, $\frac{грн}{м^2}$;

E – річна кількість енергії, яку виробляє сонячна установка, $\frac{кВт \cdot ч}{м^2 \cdot год}$;

Π_m – вартість енергії традиційного джерела, $\frac{грн}{кВт \cdot ч}$;

$I_{ек}$ – витрати експлуатації, $\frac{грн}{м^2 \cdot год}$.

розраховується термін окупності автономних установок в зонах, віддалених від централізованих мереж, зменшується в r_p раз, а економічний ефект зростає пропорційно r_p .

В сьогоdnішніх умовах України, коли ціни на енергоносії постійно зростають і мають нерівномірність по регіонах через умови транспортування,

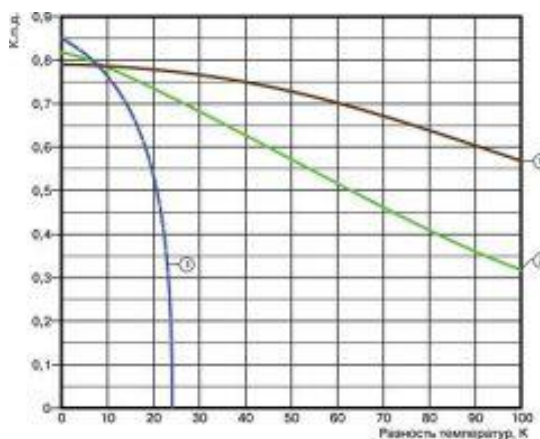
вирішення питання про економічну доцільність використання сонячних колекторів сильно залежить від місцевих соціально-економічних, географічних і кліматичних умов.

2.2 Коефіцієнт корисної дії

Наведемо формули для розрахунку частини від потужності падаючого сонячного випромінювання, яку колектор здатний перетворити в нагрів теплоносія (рис. 2.1).

Потужність падаючого сонячного випромінювання позначимо G , корисна потужність сонячного колектора Q , теплові втрати сонячного водонагрівача P .

$$Q = G - P \quad (2.5)$$



(1 – вакуумний сонячний колектор; 2 – плоский сонячний колектор; 3 – відкрита світлопоглинаюча поверхня)

Рисунок 2.1 – Стандартний графік корисної потужності, де

2.3 Система сонячного опалення

Виконаємо розрахунок по середньомісячним показникам для кожного місяця з середньомісячною температурою зовнішнього повітря $t_n^{mic} < 8$ °С. Площа поверхні і кількість секцій сонячного колектора визначаються по даним останнього місяця опалювального періоду. Азимут сонячного колектора $\alpha = 0^\circ$, кут нахилу до горизонту $\beta = \varphi + 15^\circ$, де φ – географічна широта району будівлі.

Середньомісячна теплова потужність системи опалення, Вт:

$$Q_{co}^{mic} = Q_{co}^{max} \cdot \frac{t_e - t_n^{mic}}{t_e - t_n^{\delta}}, \quad (2.6)$$

де Q_{co}^{max} – максимальна розрахункова потужність, Вт, яка визначається при температурі зовнішнього повітря.

Місячна витрата теплоти на опалення, Дж/міс:

$$E_{co}^{mic} = 24 \cdot 3600 \cdot n \cdot Q_{co}^{mic}, \quad (2.7)$$

де n – кількість днів в місяці.

Середньомісячні добові надходження сонячної енергії на поверхню сонячного колектора, Дж/(м²·доб):

$$e_{co}^{доб} = KE, \quad (2.8)$$

де E – середньомісячні добові надходження сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Дж/(м²·доб),

K – відношення кількостей сонячної радіації, які надходять на похилу і горизонтальну поверхню.

Коефіцієнт розраховується за формулою:

$$K = \left(1 - \frac{E_{\delta}}{E}\right) K_n + \frac{1 + \cos \beta}{2} \cdot \frac{E_{\delta}}{E} + \frac{1 - \cos \beta}{2} \rho, \quad (2.9)$$

де E_{δ} – середньомісячні добові надходження дифузної (розсіяної) сонячної радіації на горизонтальну поверхню, Дж/(м²·доб);

ρ – коефіцієнт відображення від поверхні Землі, за відсутності сніжного покриву $\rho = 0.2$, за наявності сніжного покриву $\rho = 0.7$;

K_n – коефіцієнт перерахунку прямого випромінювання з горизонтальної на похилу поверхню:

$$K_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \sin \omega_{зк} + \frac{\pi}{180} \omega_{зк} \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \omega_3 \sin \varphi \sin \delta}, \quad (2.10)$$

де ω_3 , $\omega_{зк}$ – часовий кут заходу Сонця на горизонтальній та похилій поверхні відповідно, град,

$$\begin{aligned} \omega_3 &= \arccos(-tg \varphi tg \delta), \\ \omega_{зк} &= \min \left\{ \omega_3, \arccos[-tg(\varphi - \beta) tg \delta] \right\}, \end{aligned} \quad (2.11)$$

де δ – середньомісячний кут відхилення Сонця, град,

$$\delta = \frac{1}{n} \sum_{m=n1}^{n2} 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + m}{365} \right), \quad (2.12)$$

де $n1$, $n2$ – порядковий номер початкового і кінцевого дня заданого місяця в році (рахуючи з 1-го січня).

Місячне питоме тепловиробництво сонячного колектора, Дж/(м²·міс):

$$e_k^{mic} = \eta_o \eta_{am} \Phi e_k^{dob} n, \quad (2.13)$$

де η_o – оптичний ККД сонячного колектора;

η_{am} – ККД акумулятора теплоти; Φ – середньомісячна степінь використання сонячної енергії:

$$\Phi = 1 - a_1 P + a_2 P^2, \quad (2.14)$$

де a_1 , a_2 – коефіцієнти, які залежать від характеристик теплоізоляції сонячного колектора;

$$P = \frac{t_{xk} - t_n^{mic}}{K_y}, \quad (2.15)$$

де K_y – коефіцієнт ясності атмосфери;

t_{xk} – температура теплоносія на вході в сонячний колектор;

$$t_{xk} = t_{xo} + 5^\circ C, \quad (2.16)$$

де t_{xo} – температура теплоносія в зворотній лінії системи опалення.

Площа поверхні сонячного колектора F_k , м² (по даним останнього місяця опалювального періоду):

$$F_k = \frac{E_{co}^{mic}}{e_k^{mic}}, \quad (2.17)$$

Місячне тепловиробництво сонячного колектора, Дж/міс:

$$E_{\kappa}^{mic} = e_{\kappa}^{mic} F_{\kappa}, \quad (2.18)$$

Місячна степінь заміщення палива (частина сонячної енергії в покритті витрат теплоти на опалення):

$$f^{mic} = \begin{cases} E_{\kappa}^{mic} / E_{co}^{mic}, & E_{\kappa}^{mic} < E_{co}^{mic} \\ 1, & E_{\kappa}^{mic} \geq E_{co}^{mic} \end{cases}, \quad (2.19)$$

Рокова степінь заміщення палива:

$$f^{pich} = \frac{\sum \min(E_{\kappa}^{mic}, E_{co}^{mic})}{\sum E_{co}^{mic}}, \quad (2.20)$$

сумування проводиться по всім місяцям опалювального періоду.

$$B = \frac{f^{pich} E_{co}^{pich}}{E_n^p \eta_{mgy}}, \quad (2.21)$$

де E_{co}^{pich} – річна витрата теплоти на опалення, Дж/рік;

E_n^p – нижня робоча теплота згорання палива, Дж/м³ або Дж/кг;

η_{mgy} – ККД теплогенеруючої установки.

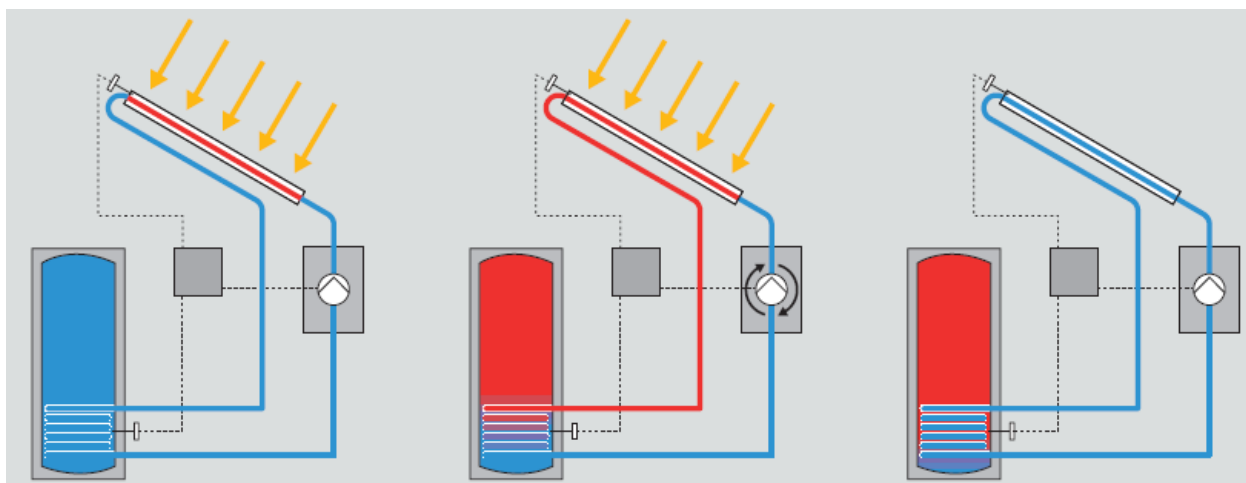
3 РЕГУЛЯТОР СОНЯЧНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Функції регулятора сонячної системи

Сонячні системи теплопостачання управляються регуляторами. Вимоги, які повинен виконувати регулятор, можуть бути самими різними - це залежить від типу сонячної системи і виконуваних функцій (рис. 3.1).

При регулюванні по різниці температур проводиться вимірювання двох температур, а потім визначається різниця між ними. У більшості сонячних систем регулятор порівнює температуру колектора та ємнісного водонагрівача між собою - для цього він використовує дані вимірювань датчиків температури, встановлених на колекторі і водонагрівачі. Насос геліоконтура включається, коли різниця температур між колектором і водонагрівачем перевищує задане значення (різниця температур включення). Теплоносій переносить теплоту з колектора в ємнісний водонагрівач. Якщо друге значення, менша різниця температур буде нижче встановленого значення, насос геліоконтура вимикається (різниця температур вимкнення). Інтервал між різницею температур включення і виключення називається гістерезисом. Різниця температур включення насоса геліоконтура повинна вибиратися таким чином, щоб транспортування теплоти від колектора до водонагрівача виправдовувало себе, тобто, щоб різниця температур між теплоносієм і водою у водонагрівачі була досить великою. Крім того, при перенесенні теплоти від колектора насос не повинен негайно вимкнутися, як тільки холодний теплоносій з водонагрівача досягне датчика температури колектора. У звичайних сонячних системах з вбудованими теплообмінниками у водонагрівачі різниця включення між температурою колектора і температурою водонагрівача становить 8 К, а вимикання - 4 К, якщо температура теплоносія виміряна точно (рис 3.2).

Певна неточність вимірювань є допустимою. У дуже довгих трубопроводах (більш 30 м) обидва значення збільшуються на 1 К на кожні 10 м. У сонячних системах з зовнішніми теплообмінниками різниця температур включення і виключення для первинного і вторинного контуру розраховується на підставі довжини трубопроводу і вибраної різниці температур в теплообміннику.



1 – нагрів колектора

2 – нагрів ємнісного нагрівача

3 – акумулювання теплоти

Рисунок 3.1 – Принцип роботи регулятора

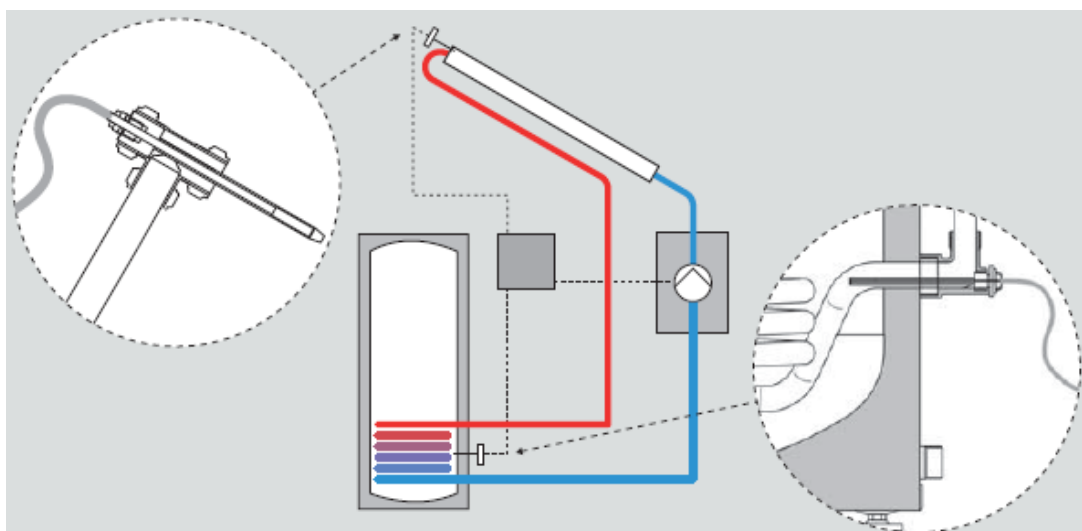


Рисунок 3.2 – Розміщення датчика температури колектора

Процес сонячного нагріву повинен бути обмежений установкою максимально допустимої температури. Це не замінює обмеження безпечної температури щоб уникнути пароутворення в місткості водонагрівачі.

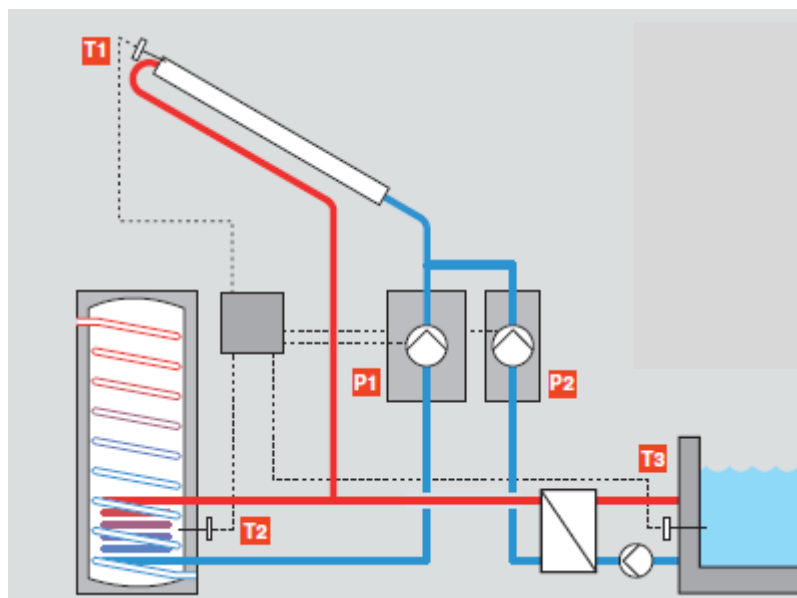
Оскільки температура в сонячній системі може бути набагато вище, ніж у звичайній системі опалення, датчик температури в колекторі повинен бути стійкий до впливу високих температур. Крім того, датчик повинен мати кабель, стійкий до впливу високих температур і погодних умов. Інші вимоги до датчиків температури не відрізняються від вимог до характеристик стандартних високоякісних датчиків систем опалення.

Найточніше вимір виконується тоді, коли температура вимірюється безпосередньо в середовищі теплоносія, тобто з використанням заглибних гільз. Для всіх водонагрівачів і колекторів Viessmann використовуються стандартні заглибні гільзи. У плоских колекторах Vitosol з меандрового абсорберами заглибні гільзи розташовані на тій стороні колектора, де трубка абсорбера припаяна до головного трубопроводу (в колекторах Viessmann на цій стороні встановлена табличка). Завдяки цьому датчик температури колектора здатний швидко визначити збільшення температури абсорбера.

3.2 Додаткові функції

У сонячних системах з декількома водонагрівачами або споживачами необхідно співвідносити різні виміри різниці температур між собою. При цьому можна вибирати різні стратегії регулювання в залежності від вимог. Регулювання по пріоритету При регулюванні за пріоритетом включення одного з водонагрівачів має пріоритет по завантаженню від геліоконтур. Якщо до сонячної системи підключено два споживача - наприклад, один ємнісний водонагрівач ГВС і плавальний басейн без підігріву котлом, - то в такий сонячній системі пріоритет по нагріванню від геліоконтур має система гарячого водопостачання. Тільки після того, як вода у водонагрівачі досягне необхідної температури, сонячна система починає нагрівати воду в

плавальному басейні (рис. 3.3). Регулятор налаштовується таким чином, щоб сонячна система нагрівала спочатку воду у водонагрівачі ГВС. При цьому треба зважати на те, що сонячна система буде працювати з меншим коефіцієнтом корисної дії, оскільки вона в першу чергу не нагріває більш холодну воду в басейні.

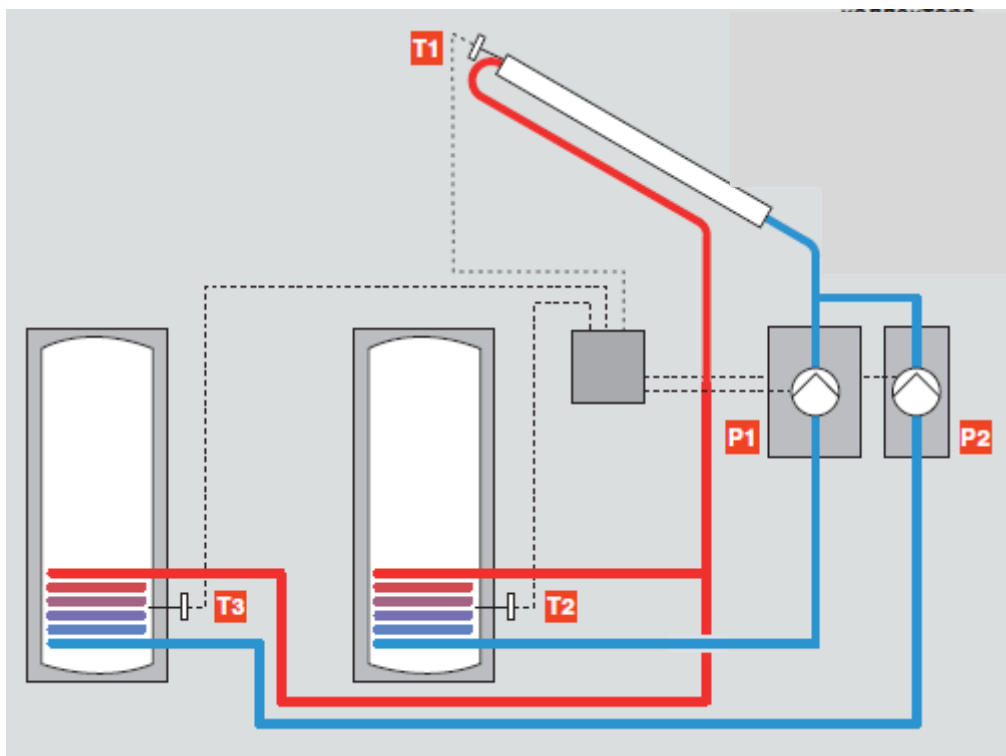


(T1 – датчик температури колектора; T2 – датчик температури водонагрівача; T3 – датчик температури басейна; P1 і P2 – циркуляційні насоси геліоконтур)

Рисунок 3.3 – Регулювання по пріоритету

Пріоритет для гарячого водопостачання: P1 працює тоді, коли T1 більше T2. P2 працює тоді, коли T2 досягає необхідного значення, а T1 більше T3. (Відповідно, повинна враховуватися необхідна різниця температур).

Якщо сонячна система повинна працювати максимально ефективно, її коефіцієнт корисної дії повинен постійно перебувати в діапазоні максимальних значень. Для установки з двома водонагрівачами, які підлягають підігріву протягом всього року, регулювання завжди має забезпечувати нагрівання водонагрівача, що має більш низьку температуру (рис. 3.4). Така концепція регулювання застосовується, наприклад, тоді, коли до сонячної системи підключені два споживача (дві квартири).



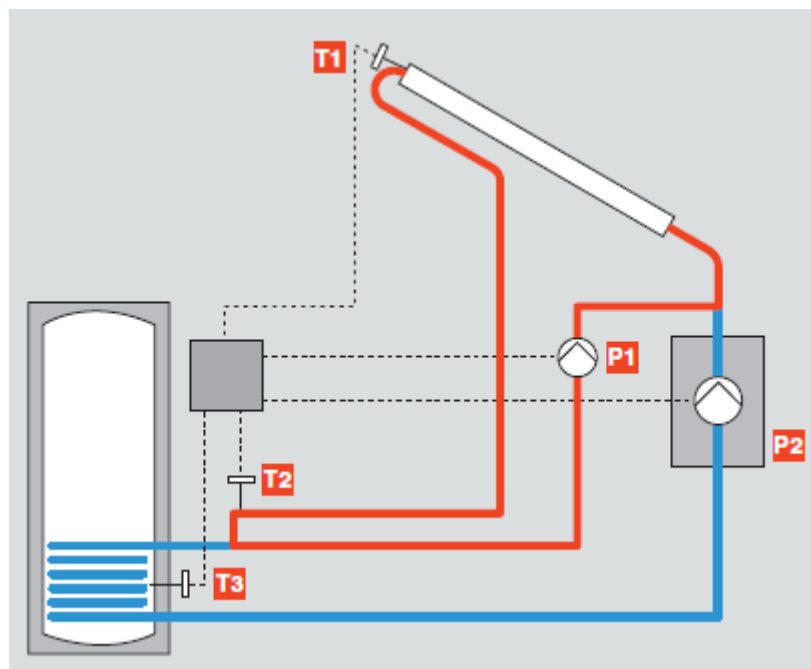
(T1 – датчик температури колектора; T2 і T3 – датчики температури водонагрівачів; P1 і P2 – циркуляційні насоси геліоконтура)

Рисунок 3.4 – Регулювання по ефективності

Регулювання по ефективності: P1 працює тоді, коли T1 більше T2, а T2 менше T3. P2 працює тоді, коли T1 більше T3, а T3 менше T2. (Відповідно, повинна враховуватися необхідна різниця температур).

Насос байпасного контуру може поліпшити пускові характеристики сонячної системи, наприклад, при дуже довгих підвідних трубопроводах або горизонтальній установці вакуумованих трубчастих колекторів на плоских дахах. Регулятор реєструє температуру колектора за допомогою датчика колектора. При перевищенні встановленої різниці температур по відношенню до температури датчика водонагрівача включається насос байпасного контуру. При цьому нагрітий сонячною енергією теплоносій нагріває спочатку тільки трубопроводи. Далі при перевищенні заданої різниці температур між датчиком байпасного контуру і датчиком температури водонагрівача включається насос геліоконтура, а насос байпасного контуру вимикається

(рис. 3.5). Таким чином можна уникнути охолодження водонагрівача (з вбудованим теплообмінником) в початковій стадії зарядки ємнісного водонагрівача.



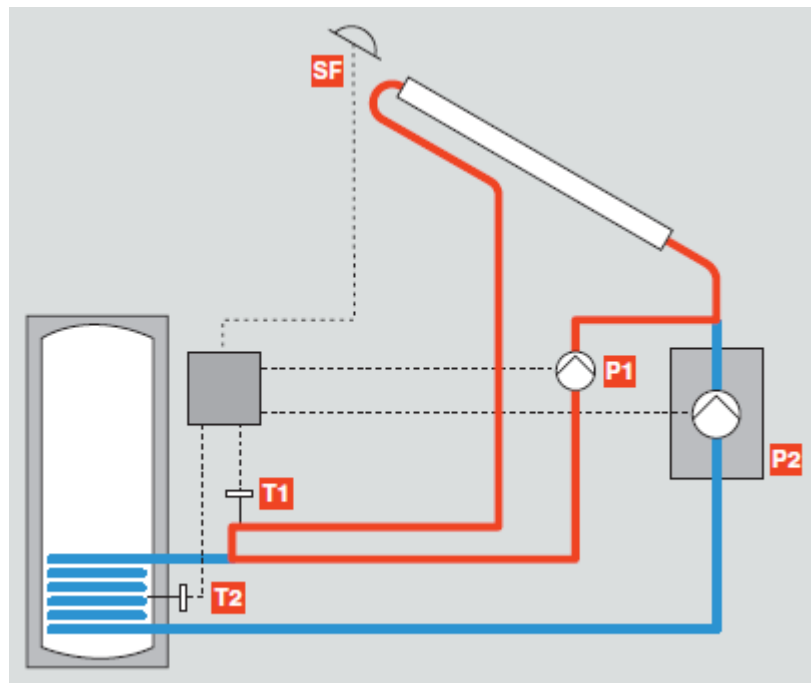
(T1 – датчик температури колектора; T2 – датчик температури байпасного контура; T3 – датчик температури водонагрівача; P1 – насос байпасного контура; P2 – циркуляційний насос геліоконтура)

Рисунок 3.5 – Регулювання за допомогою насоса байпасного контура

Регулювання за допомогою насоса байпасного контуру: P1 працює, коли T1 більше T3. P2 працює тільки тоді, коли T2 більше T3. (Відповідно, повинна враховуватися необхідна різниця температур).

З точки зору гідравліки концепція регулювання за допомогою датчика випромінювання схожа на регулювання за допомогою насоса байпасного контуру, тільки байпасний насос запускається не по різниці температур, а за допомогою датчика, що вимірює випромінювання. Регулятор отримує інформацію від датчика сонячного випромінювання. При перевищенні заданого порогового значення випромінювання включається насос байпасного контуру. У звичайних випадках це значення становить 200 Вт / м². Такий вид

байпасного включення особливо підходить тоді, коли безперервне точне вимірювання температури в колекторі неможливо, наприклад, через короткочасних часткових затенень (рис. 3.6).



(T1 – датчик температури байпасного контура; T2 – датчик температури водонагрівача; SF – датчик випромінювання; P1 – насос байпасного контура; P2 – циркуляційний насос геліоконтура)

Рисунок 3.6 – Регулювання за допомогою датчика випромінювання

Регулювання за допомогою датчика випромінювання: P1 працює, коли випромінювання перевищує мінімальне значення. P2 працює тільки тоді, коли T1 більше T2. (Відповідно, повинна враховуватися необхідна різниця температур).

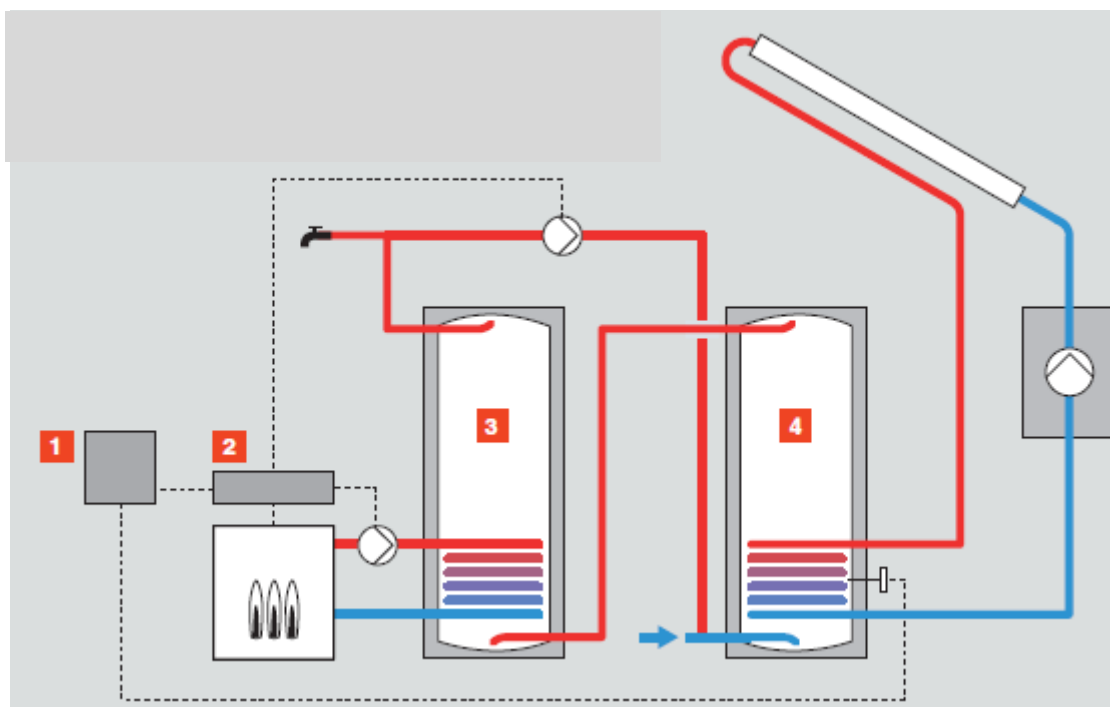
Для підвищення ефективності сонячної системи звичайний догрів бівалентного ємнісного водонагрівача системи ГВС можна затримати до тих пір, поки не припиниться нагрів за рахунок сонячного випромінювання (вимкнеться насос геліоконтура). Це може бути корисним в комбінації з регулятором котла Vitotronic. Viessmann поставляє відповідне програмне забезпечення, старі регулятори можна модернізувати. На регуляторі

звичайним способом виставляється температура підігріву для системи ГВП. Крім цього, встановлюється мінімальна температура. При активації функції придушення догрева і нагріванні водонагрівача від геліоконтур регулятор котла допускає зниження температури гарячої води до встановленого мінімального значення. Ємнісний водонагрівач обігривається котлом (під час роботи насоса геліоконтур) тільки тоді, коли температура в ньому нижче цього мінімального значення.

Для забезпечення гігієнічних вимог до гарячої води весь обсяг гарячої води раз в день нагрівається до температури $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Це стосується нижньої частини бівалентного ємнісного водонагрівача системи ГВС або ємнісного водонагрівача для попереднього нагріву. При такій термічній дезінфекції необхідна для неї теплота повинна подаватися через теплообмінник котла для нагрівання всього обсягу водонагрівача. Датчики температури повинні бути розташовані таким чином, щоб дійсно весь обсяг водонагрівача ГВС досяг необхідної температури.

Функція оптимізації термічної дезінфекції відключає останню, якщо гаряча вода в попередньому водонагрівачі або в нижній частині бівалентного водонагрівача протягом попередніх 24 годин вже була нагріта сонячною системою до $60\text{ }^{\circ}\text{C}$.

При термічній дезінфекції хороший результат дає комбінація регулятора сонячної системи з регулятором котла. Якщо температура датчика водонагрівача за минулі 24 години перевищувала значення $60\text{ }^{\circ}\text{C}$, догрів блокується (рис. 3.7).



(1 – Vitosolic; 2 – регулятор котла; 3 – Ємнісний водонагрівач системи ГВС; 4 – водонагрівач для попереднього нагріву)

Рисунок 3.7 – Регулювання термічної дезінфекції

Для недопущення стагнації або зменшення навантажень при стагнації можна активувати додаткові функції. Це доцільно тільки для сонячних систем з дуже високою часткою заміщення теплового навантаження або підтримкою системи опалення, в яких необхідно зважати на можливість стагнації.

Насос геліоконтур вимикається при досягненні максимальної температури ГВП в місткості водонагрівачі. Якщо активована функція охолодження і температура колектора зростає до встановленого максимального значення для колектора, насос включається до тих пір, поки температура колектора не знизиться на 5 К. При цьому температура ємнісного водонагрівача може продовжувати рости, але тільки до 95 ° С. Величина цього значення визначається максимально допустимою температурою накопичувача гарячої води.

Функція зворотного охолодження доцільна лише тоді, коли активоване охолодження колектора. При досягненні встановленої максимально допустимої температури водонагрівача насос геліоконтур вимикається, щоб

уникнути перегріву. Увечері насос продовжує працювати до тих пір, поки водонагрівач охолонув через колектор і трубопроводи до встановленої максимальної температури системи ГВП. Ця функція набагато більш ефективна для плоских колекторів, ніж для вакуумованих трубчастих.

Функція періодичного включення використовується в сонячних системах, в яких температуру абсорбера не можна визначити точно. Це відбувається, наприклад, при горизонтально встановлених вакуумованих трубчастих колекторах, в яких недостатня природна циркуляція теплоносія не дозволяє датчику температури колектора негайно реєструвати збільшення температури. Через певні проміжки часу насос геліоконтур включиться на 30 секунд, щоб забезпечити циркуляцію теплоносія від колектора до датчика температури. Функція періодичного включення не активна з 22:00 до 6:00.

ВИСНОВКИ

В атестаційній роботі проаналізовані вакуумні та плоскі сонячні колектори. З'ясовано переваги і недоліки зазначених типів.

Виконано порівняльну характеристику для деяких типів сонячних колекторів за такими критеріями: ефективність, середня продуктивність, вартість отриманої теплової енергії, реальна продуктивність за рік та ефективність при роботі на протязі всього року.

Розраховано енергоефективні системи опалення, де використовували у якості вихідних даних потужність системи опалення, розміри будівлі по плану та рокова витрата теплоти на опалення.

Досліджена економічна та продуктивна ефективність вище вказаних типів колекторів і зроблені висновки щодо використання того чи іншого типу колектора.

Виявлено, що для підвищення ефективності сонячних систем теплоперетворення необхідно використовувати регулятори. Основною їх функцією є запобігання від перегріву.

Регулятор Vitosolic 200 додатково пропонує різні термостатичні функції. Для цього додаткові датчики реєструють відповідні температури і при їх перевищенні чи зниженні включають циркуляційний насос. Так можна, наприклад, при певній температурі водонагрівача включати насос для нагріву плавального басейну.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Мхитарян М.М. Энергосберегающие технологии в жилищном и гражданском строительстве. – К.: Наукова думка, 2000. – 420 с.
2. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки. – М.: Энергоатом-издат, 1991. – 208 с.
3. Хайнрих Г., Найорк Х., Нестлер В. Теплонасосные установки для отопления и горячего водоснабжения. – М.: Стройиздат, 1985. – 351 с.
4. Рей Д., Макмайл Д. Тепловые насосы. – М.: Энергоиздат, 1982. – 224 с.
5. Справочник по проектированию и монтажу тепловых насосов. Проектная документация компании Buderus. – ВВТ: Thermotechnik, 2005. – 142 с.
6. СНиП 2.04.05-91*У. Отопление, вентиляция и кондиционирование. – К.: КиевЗНИИЭП, 1996. – 89 с.
7. Внутренние санитарно-технические устройства (справочник проектировщика). Ч. 1. Отопление / Богословский В.Н., Крупнов Б.А., Сканава А.Н. и др.; под ред. И.Г. Староверова и Ю.И. Шиллера. – М.: Стройиздат, 1990. – 344 с.
8. Большаков В.И., Данишевский В.В., Кушнеров Е.А. Теплотехническое моделирование вертикальных грунтовых коллекторов тепловых насосов методом конечных разностей // Строительство, материаловедение, машиностроение: Сб. научн. Трудов. – Днепропетровск: ПГАСиА. – 2010. – Вып.53. – С.85-99.
9. ДСТУ-Н Б В.2.5-43:2010. Інженерне обладнання будинків і споруд. Настанова з улаштування систем сонячного теплопостачання в будинках житлового і громадського призначення. – К.: Мінрегіонбуд України, 2010. – 32с.