

Теплові сонячні колектори

Класифікація та принцип роботи сонячних колекторів

Сонячний колектор – конструкція або пристрій для перетворення енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі у тепло. На відміну від сонячних батарей, які виробляють безпосередньо електрику, сонячний колектор здійснює нагрів матеріала-теплоносія. Колектори застосовують для підігріву води та підтримання опалення, існують різні їх типи, але всі вони засновані на простому принципі: темна поверхня «вбирає» сонячну енергію, потім це тепло передається теплоносію. Найпростіші колектори пасивної системи не вимагають насосів або іншого електрообладнання, бо гаряча рідина переміщується між колектором і баком за принципом конвекції (нагріта рідина завжди піднімається вгору), а завдяки застосуванню антифризу вони можуть використовуватися навіть в зимовий час.

Основний принцип роботи сонячного колектора полягає в наступному:

- сонце нагріває рідину в колекторі;
- нагріта рідина піднімається по колектору і трубі в бак-акумулятор;
- коли гаряча рідина надходить в теплообмінник, встановлений в бак з водою, тепло передається від теплообмінника воді;
- рідина в теплообміннику, охолоджуючись, переміщується донизу по спіралі і надходить з отвору в нижній частині бака назад в колектор;
- нагріта в баку вода акумулюється в верхній його частині і відбирається звідти через вихідний отвір;
- холодна вода з водопровідної мережі або резервуара надходить у нижню частину бака.

Поки на колектор світить сонце, рідина в трубах абсорбера нагрівається, переміщується в бак і таким чином постійно циркулює. Цей процес забезпечує нагрів води в баку всього за кілька годин при інтенсивному сонячному випромінюванні.

Таким чином, основними елементами сонячного колектора є:

- абсорбер;
- теплоносій;
- бак-акумулятор.

Абсорбер – це ключовий елемент сонячного колектора. У ньому відбувається процес перетворення сонячної енергії в теплову енергію і потім передача тепла теплоносію. Він складається з металевого листа, привареного до металевих труб. Кілька труб встановлюються вертикально і приварюються до двох труб більшого діаметру, розташованих горизонтально. Ці товсті труби для вхо-

ду і виходу рідини повинні бути розташовані паралельно один одному. А вхідний отвір для рідини (нижня частина абсорбера) і вихідний отвір (верхня частина абсорбера) повинні розташовуватися діагонально з різних сторін панелі.

Для виготовлення абсорбера застосовуються різні матеріали, такі, як мідь, алюміній, скло. Так само абсорбер може мати різну форму. Незмінним є те, що абсорбер знаходиться на освітленій сонячним випромінюванням частини сонячного колектора. Для максимального поглинання сонячного випромінювання на абсорбер наносять спеціальне поглинальне селективне покриття. Це покриття забезпечує максимально можливе поглинання сонячної енергії, що потрапляє на поглинач, та перешкоджає зворотному випромінюванню. Існують різні способи нанесення поглинального покриття на поверхню абсорбера:

- гальванічним способом (покриття типу «чорний хром»);
- шляхом напилення («сині шари»).

Поглиналина здатність позначається символом альфа (α), випромінююча здатність – символом епсилон (ϵ). Поглиналина здатність α зазвичай у різних покриттів приблизно однакова – рисунок 1.8 [6]. Відмінністю може бути менше випромінювання ϵ , а також стійкість до атмосферних явищ і старіння. Це впливає на термін служби колектора і втрати теплофізичних властивостей.

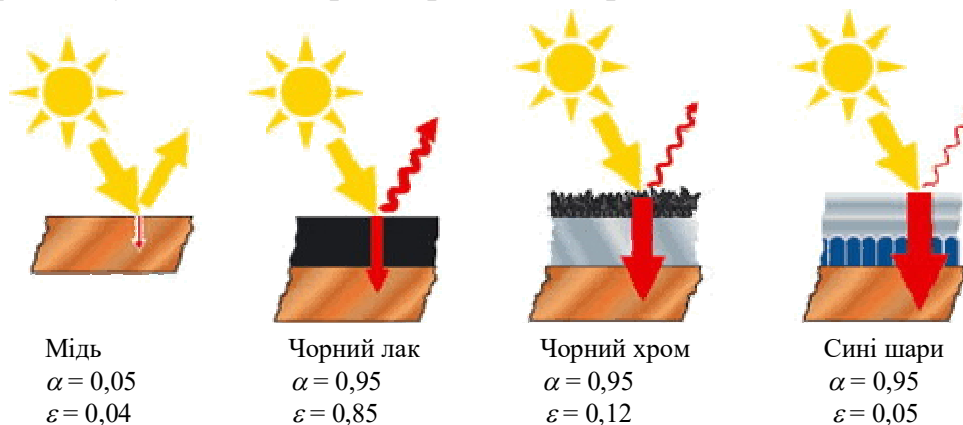


Рисунок 1.8 – Поглиналина і випромінююча здатність для різних типів покриттів абсорбера в процентах

У сонячних колекторах використовують абсорбери трьох типів:

- пір'яний;
- ціліснолистовий;
- циліндричний.

Теплоносій (вода, повітря, масло або антифриз), як вже було зазначено, нагрівається, циркулюючи через колектор, а потім передає теплову енергію в бак-акумулятор, що накопичує гарячу воду для споживача. Як відомо, у найпростішому варіанті циркуляція води відбувається природно через різницю температур в колекторі. Таке рішення дозволяє підвищити ефективність сонячної

установки, оскільки ККД сонячного колектора знижується з ростом температури теплоносія.

Сонячні колектори класифікуються за різними ознаками:

- за призначенням;
- за технічними рішеннями;
- за видом теплоносія;
- за терміном експлуатації;
- за температурою теплоносія
- за конструкцією, яка безпосередньо пов'язана з температурою теплоносія.

За призначенням вони поділяються на колектори для гарячого водопостачання та для опалення, за використаними технічними рішеннями – на одно-, дво- і багатоконтурні, за видом теплоносія розрізняють рідинні та повітряні колектори, за терміном експлуатації – сезонні та цілорічні.

За температурою теплоносія колектори поділять на:

- низькотемпературні (температура теплоносія в них не перевищує 100 °С);
- середньотемпературні (температура теплоносія в них від 30 до 165 °С);
- високотемпературні (температура теплоносія від 20 до 300 °С).

Головним принципом класифікації все ж таки є класифікація їх за конструкцією, а саме:

- плоскі колектори, які є низькотемпературними;
- вакуумні колектори (середньо та високотемпературні залежно від їх особливостей);
- фокусуючі сонячні колектори.

Сонячні колектори плоского типу

Плоский сонячний колектор – найбільш поширений тип сонячних колекторів, який застосовують в геліосистемах, для підігріву води і для підтримки опалення. Конструкція плоских сонячних колекторів використовує пряме або розсіяне сонячне випромінювання і не передбачає його концентрації. Перевагою плоского сонячного колектора є відносна простота конструкції, що дозволяє здешевити систему при досить високих показниках продуктивності і надійності. Недоліком можна назвати високі теплові втрати, які знижують показники виробництва теплової енергії при низькій температурі повітря.

Конструктивно він виконаний у вигляді прямокутної пластини (рис. 1.9). У теплоізолюваному корпусі колектора знаходиться основний елемент – абсорбер (поглинаюча пластина). До абсорберу припаяні трубки. Матеріал абсорбера і трубок може бути різним, як правило, застосовують метали з гарними теп-

лопровідними характеристиками, такі як мідь і алюміній. У плоских сонячних колекторах зазвичай використовують абсорбери двох типів – пір'яний і цілісно листовий.

У пір'яного абсорбера до окремих пластин прикріплена або приварена трубка. Трубки в таких абсорберах з'єднуються між собою у вигляді «арфи». Такий тип з'єднання ще називають колекторним. У цілісно листового абсорбера, система розподілу теплоносія буває у вигляді «меандру» або ж трубки з'єднані колекторним типом (рис. 1.10).

Зверху поглинаюча пластина закрита прозорою ізоляцією. Для цього застосовують загартоване скло з низьким вмістом оксидів заліза. Це сприяє більшому проникненню сонячної енергії на пластину.

Більшість плоских колекторів складається із п'яти основних елементів, до яких відносять:

- корпус, що містить усі елементи і захищає їх від атмосферних впливів;
- прозоре покриття з одного або більше шарів скла або пластмасової плівки;
- трубки або канали, виготовлені як одне ціле разом із поглинаючою пластиною або приєднані до неї, по яких проходить вода, повітря або інший теплоносій;
- поглинаюча пластина, зазвичай металева, з чорною поверхнею, хоча можна використовувати безліч інших матеріалів, особливо для повітрянагрівачів;
- ізоляція, яку необхідно передбачати на тіньовій і бічній сторонах колектора, щоб звести до мінімуму теплові втрати.

У ряді випадків ізоляцію можна виключати із пристроїв, призначених для невеликого підвищення температури, як наприклад при нагріванні води в плавальних басейнах.

Під впливом сонячного випромінювання на поверхні абсорбера сонячного колектора відбувається поглинання сонячної енергії, в результаті пластина абсорбера розігрівається, а теплоносій, що перекачується через трубки, відбирає отримане тепло через місця з'єднання пластини абсорбера з трубками. Селективне покриття, яке наноситься на пластину абсорбера, дозволяє поглинути максимально можливу кількість теплової сонячної енергії, при цьому назад ця енергія майже не випромінюється. Прозора ізоляція (гартоване скло з низьким вмістом заліза) і теплоізоляційний шар знижують втрати теплової енергії.

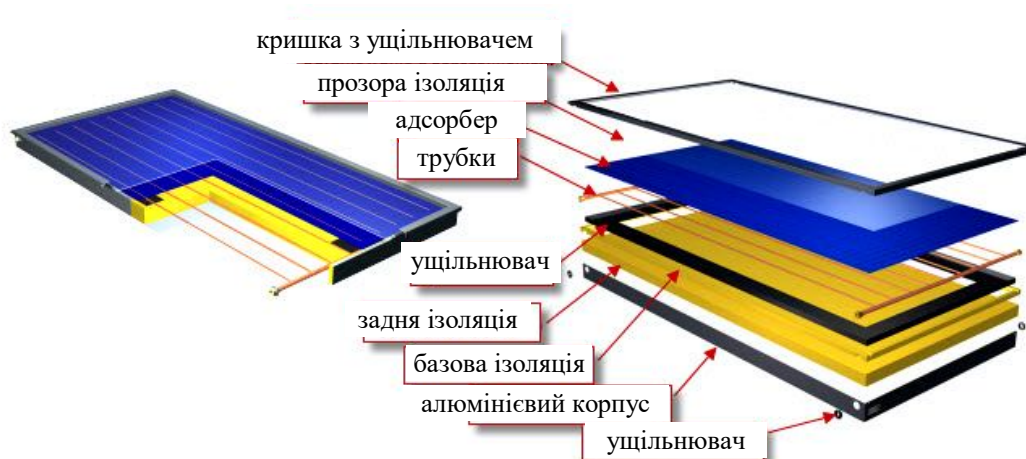


Рисунок 1.9 – Конструкція плоского сонячного колектора [7]

Залежно від необхідної потреби в гарячій воді та опаленні розраховується оптимальна площа геліосистеми. Плоскі сонячні колектори об'єднуються в групи і працюють в одній системі. Кількість нагрітої води і її температура за добу залежать від різних факторів таких як: висота сонця над горизонтом, ясність дня, температура повітря, температура холодної води в прямому трубопроводі, фактичної витрати гарячої води, конфігурація системи і та ін.

Сонячний вакуумний плоский колектор (рис. 1.11) має значно менші теплові втрати в навколишнє середовище, оскільки вакуум є ідеальним теплоізолятором. Однак досить складно зробити вакуум (розріджене повітря з тиском меншим атмосферного).

Як правило, в промисловості значення тиску не повинно перевищувати 300 мбар та утримуватись в сонячному колекторі впродовж експлуатації. У плоских колекторах проблематично домогтися герметичності, для утримання вакууму через великий обсяг і конструкції корпусу. Окрім того, існує проблема прогину скла. Для вирішення такої проблеми використовують додаткові опорні стійки, які призводять до додаткового затінення.

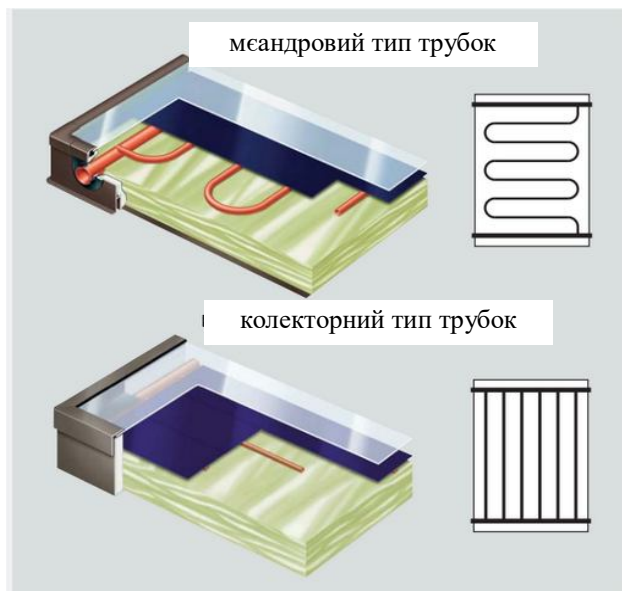


Рисунок 1.10 – Типи абсорбера



Рисунок 1.11 – Плоский вакуумний сонячний колектор

Вакуумні трубчасті сонячні колектори

Трубчаста форма у вигляді колби найбільш оптимальна для створення і утримання вакууму. Саме тому найбільшого поширення в побутовому секторі отримали вакуумні трубчасті колектори. Існує кілька типів трубчастих колекторів, що є різними за своїми конструктивними особливостями, внаслідок чого у них можуть бути різні експлуатаційні характеристики, цільове використання та ефективності.

Сонячні вакуумні трубчасті колектори можна класифікувати за двома основними конструктивними особливостями скляних трубок і теплового каналу, використовуваних як абсорбера сонячного колектора:

- за типом скляної трубки;
- за типом теплового каналу;

Розглянемо класифікацію за типом скляної трубки. Існує два основних типи конструкції скляної трубки:

- коаксіальна трубка (рис. 1.12);
- пір'яна трубка (рис. 1.13).

Коаксіальна трубка фактично є термосом та являє собою подвійну скляну колбу. В просторі між трубками відкачано повітря, тобто створено вакуум. На стінці внутрішньої трубки нанесено поглинальне покриття, тому передача тепла відбувається від самої скляної колби. Пір'яна трубка являє собою одностінну скляну колбу. Вакуум в даній трубці знаходиться в просторі теплового каналу, в да-



Рисунок 1.12 – Вакуумна коаксіальна колба

них трубках частина теплового каналу і абсорбера інтегрована всередині самої колби.

За типом теплового каналу сонячні вакуумні трубчасті колектори можна розділити на два типи:

- з тепловим каналом типу «Heat pipe»;
- з прямоточним тепловим каналом.

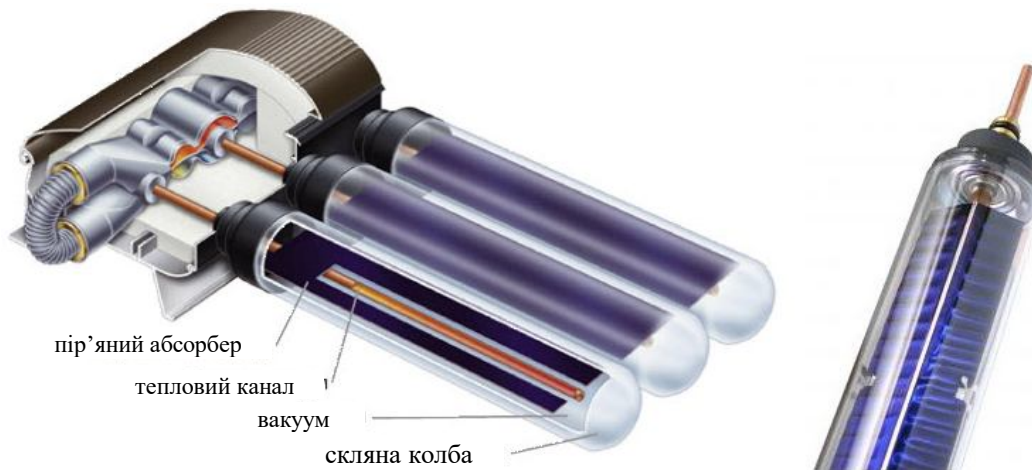


Рисунок 1.13 – Приклади пир'яних трубок

Сонячний вакуумний колектор з трубкою типу «Heat-pipe», тобто теплова труба, займає більшу частину ринку сонячних колекторів. Принцип роботи теплової трубки заснований на тому, що в закритих трубках з теплопровідного металу (міді або алюмінію) знаходиться рідина, що легко випаровується. Перенесення тепла відбувається за рахунок того, що нагріта під дією сонячного випромінювання рідина, випаровується на нижній частині трубки, поглинаючи при цьому теплоту випаровування і конденсується у верхній частині (теплотозбірник). Потім рідина знову перетікає вниз і процес повторюється. Теплоносій через поглинач відбирає тепло, що виділяється. Схема роботи теплової трубки в вакуумному сонячному колекторі зображена на рисунку 1.14. Маніфольд – це пристрій у вигляді металевого блоку, який виступає в якості теплозбірника.

У вакуумних трубчастих сонячних колекторах з прямоточним каналом,

теплоносій безпосередньо протікає і нагрівається в кожній з трубок колектора. До нього приєднані вакуумні трубки, які передають теплову енергію через кон-

денсатор, розташований в самому верху трубки.

Розглянемо більш докладно можливі конфігурації сонячних вакуумних колекторів.

Вакуумна коаксіальна трубка може поєднуватися з тепловим каналом типу «Heat-pipe». Даний сонячний вакуумний колектор є найбільш поширеним через свою низьку вартість і простоту заміни пошкоджених

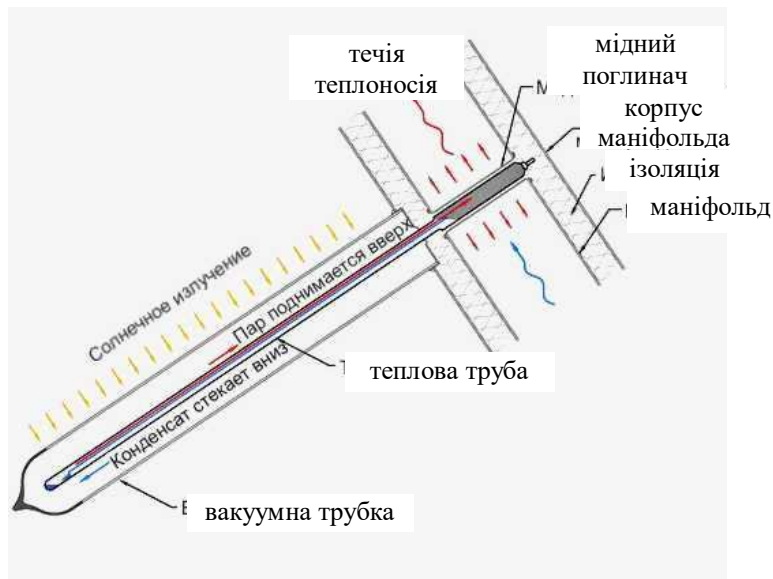


Рисунок 1.14 – Схема роботи теплової трубки в вакуумному сонячному колекторі

трубок (рис. 1.15).

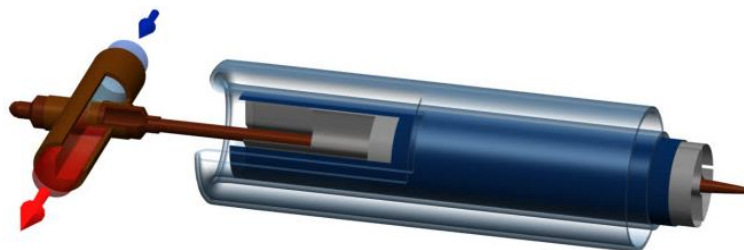


Рисунок 1.15 – Конструктивна особливість сонячного колектора з тепловою трубкою

У вакуумних трубчастих сонячних колекторах з прямоточним каналом (рис. 1.16), теплоносій безпосередньо протікає і нагрівається в кожній з трубок колектора. Різні типи теплових каналів можуть поєднуватися з різними типами вакуумних колб.

Ці колектори мають досить складний процес передачі тепла. Тепло передається кілька разів, від скла до алюмінієвих ребер, потім від алюмінію до самої теплової труби і тільки потім передається теплоносію геліосистеми.

Тому в поєднанні з круглою формою абсорбуючої поверхні ефективність сонячного колектора цього типу невисока. Показники максимального оптичного ККД η_{\square} колектора сягають 65 %.

Коаксіальна вакуумна трубка так само може бути використана для колектора з прямоточним тепловим каналом. Даний тип сонячного вакуумного колектора отримав назву колектор з *U*-образною трубкою – рисунок 1.17.

В даних типах колекторів, за рахунок зменшення кількості теплопередач (теплота від алюмінієвого шару передається відразу трубкам, в яких циркулює теплоносій геліосистеми), максимальний ККД може становити для деяких моделей до 76 %. Недоліком може бути те, що при певному характері ушкодження, заміни може потребувати весь сонячний колектор, а не тільки колба.



Рисунок 1.16 – Вакуумна коаксіальна трубка з прямоточним тепловим каналом; 1 – зовнішня скляна колба, 2 – високоселективне поглинаюче покриття, 3 – алюмінієва вставка, 4 – тепловий канал з теплоносій, 5 – вакуумний прошарок, 6 – внутрішня скляна колба

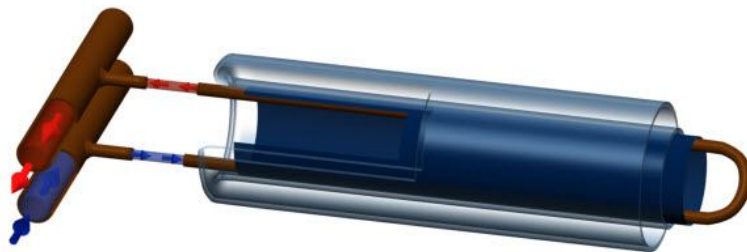


Рисунок 1.17 – Конструктивна особливість колектора з прямоточним тепловим каналом та *U*-образною трубкою

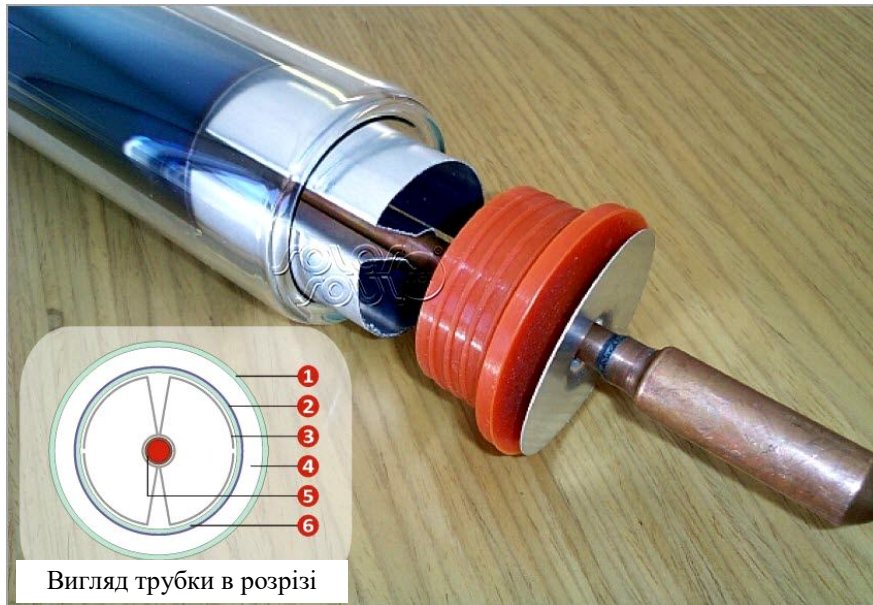


Рисунок 1.18 – Вакуумна коаксіальна трубка в поєднанні з тепловим каналом «Heat-pipe»

1 – зовнішня скляна колба, 2 – високоселективне поглинаюче покриття, 3 – алюмінієві ребра, 4 – вакуумний прошарок, 5 – тепловий канал з рідиною, яка легко випаровується, 6 – внутрішня скляна колба

Вакуумна коаксіальна трубка в поєднанні з тепловим каналом «Heat-pipe» зображена на рисунку 1.18.

Пір'яна трубка так само може поєднуватися з тепловим каналом «Heat-pipe» (рис. 1.19). Дані вакуумні трубчасті колектори мають більш високі оптичні характеристики, ніж колектори з коаксіальною трубкою. У деяких виробників значення максимального ККД досягають 77 %. Цьому сприяють деякі конструктивні особливості: плоский абсорбер з безпосередньою передачею теплоти до теплової трубки, а так само один шар скла, що значно зменшує відображення сонячного випромінювання. Так само зручним є процес заміни пошкоджених трубок, що не вимагає заміни всього колектора і зливання теплоносія всієї геліосистеми.

Найбільш ефективним поєднанням є пір'яна трубка з прямоточним тепловим каналом (рис. 1.20). Такий сонячний вакуумний колектор має максимальний ККД до 80 %. Але при заміні пошкоджених трубок потрібно зливати теплоносій всієї геліосистеми. Так само ці колектори мають досить високу ціну.

Схема циркуляції теплоносія в вакуумному колекторі з пір'яною трубкою і прямоточним тепловим каналом зображена на рисунку 1.21.



Рисунок 1.19 – Пір'яна трубка з тепловим каналом типу "Heat pipe":
 1 – скляна колба, 2 – вакуумний прошарок, 3 – мідний абсорбер з високоселективним покриттям, 4 – тепловий канал з рідиною, яка легко випаровується

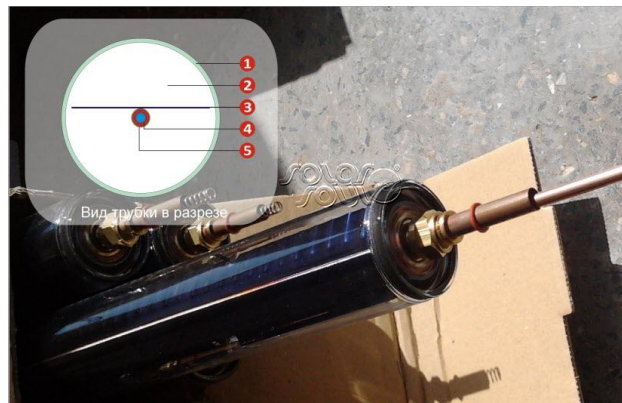


Рисунок 1.20 – Пір'яна трубка з прямоточним тепловим каналом
 1 – скляна колба, 2 – вакуумний прошарок, 3 – мідний абсорбер з високоселективним покриттям, 4 – внутрішній теплової канал з теплоносієм, 5 – зовнішній теплової канал з теплоносієм (що нагрівається).

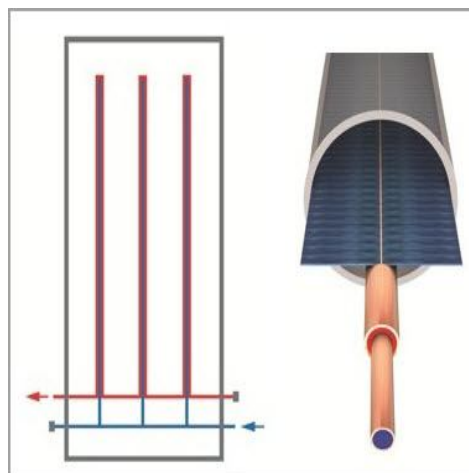


Рисунок 1.21 – Схема циркуляції теплоносія в вакуумному колекторі з пір'яною трубкою і прямоточним тепловим каналом

1.3 Фокусуючі сонячні колектори

У фокусуючих (концентруючих) сонячних колекторах застосовуються різні системи дзеркал або лінз для збільшення щільності потоків сонячного випромінювання, що падають на поглинальну поверхню плоских або трубчастих поглиначів (рис. 1.22). Крім параболічних дзеркал застосовуються плоскі або циліндричні дзеркала. Концентруючі сонячні колектори характеризуються малими габаритними розмірами. Вони повинні бути орієнтовані перпендикулярно до напрямку падіння сонячних променів, тому мусять бути оснащені пристроями, що управляють їх обертанням разом з рухом сонця (слідкуючі пристрої). Такі колектори можуть мати потужність від кількох десятків до кількох сотень ват і їх енергія може бути перетворена в теплову енергію, використану для підігріву води.

Найдешевша з концентруючих установок була отримана завдяки дослідженням науковців з німецького інституту Fraunhofer. Пристрій використовує у якості концентратора лінійне дзеркало Фрешнеля (Fresnel), а у якості теплоносія – воду, що при перегріванні випаровується і подається на турбіну. Відбиті від дзеркал промені падають на поглинач. Поглинач – це труба довжиною 100 м, яка наповнена водою та знаходиться на декілька метрів над полем дзеркал (рис. 1.20) [3].



Рисунок 1.22 – Вигляд (а) та схема (б) концентруючого сонячного колектора

Конструкція концентруючого геліоприймача представлена на рисунку 1.23 [1].

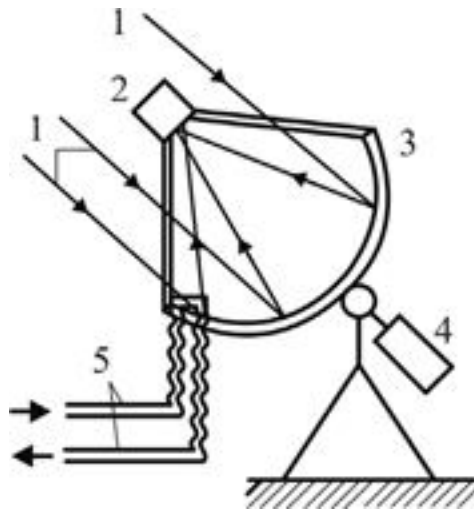


Рисунок 1.23 – Конструкція концентруючого геліоприймача (параболічного концентратора): 1 – сонячні промені; 2 – теплосприймаючий елемент (сонячний колектор); 3 – дзеркало; 4 – механізм приводу системи стеження; 5 – трубопроводи, що підводять і відводять теплоносій

Концентруючі геліоприймачі представляють собою сферичні або параболичні дзеркала, що виконані з полірованого металу, в фокус яких поміщають елемент, що сприймає тепло (сонячний котел), через який циркулює теплоносій (вода або незамерзаюча рідина). При використанні в якості теплоносія води в нічні години і в холодний період систему обов'язково спорожнюють, для запобігання її замерзання.

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

На рисунку 1.24 [1] представлена принципова схема рідинної комбінованої двухконтурної низькотемпературної системи сонячного опалення з параболическим концентратором і рідинним теплоаккумулятором. У контурі геліоприймача в якості теплоносія застосований антифриз, а в контурі системи опалення – вода.

Перевагою систем з концентруючими геліоприймачами є здатність вироблення теплоти з відносно високою температурою (до 100 ° С) 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, потребу в акумуляторах великого обсягу; великі енерговитрати на привід системи стеження за ходом Сонця, співмірні з вироблюваною енергією. Ці недоліки стримують широке за-

стосування активних низькотемпературних систем сонячного опалення з концентруючими геліоприймачами. Останнім часом найбільш часто для сонячних низькотемпературних систем опалення застосовують плоскі геліоприймачі.

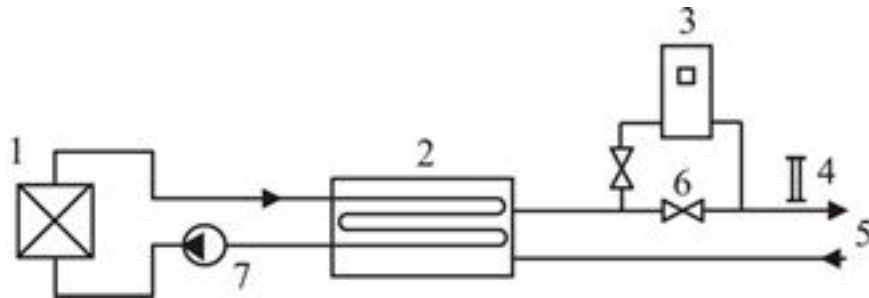


Рисунок 1.24 – Рідинна комбінована двоконтурна низькотемпературна система сонячного опалення з параболоциліндричним концентратором і рідинним теплоаккумулятором: 1 – параболоциліндричний концентратор; 2 – рідинний теплоаккумулятор; 3 – додаткове джерело тепла; 4 – термометр; 5 – контур системи опалення; 6 – регулюючий вентиль; 7 – циркуляційний насос

ЗАСТОСУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В СИСТЕМАХ ГАРЯЧОГО ВОДОПОСТАЧАННЯ І ОПАЛЕННЯ

Конструкція геліоколекторних установок

Поле колекторів, теплотраси з відповідним устаткуванням і теплообмінником (чи солярний накопичувач з теплообмінником) утворюють основу геліоколекторної установки (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Поле геліоколекторів на плоскому даху

Солярне устаткування по кількості контурів, що підключаються до колекторного поля, підрозділяють на одно-, двох- чи багато- контурне. Чим більше контурів, тим краще утилізує система енергію, отриману колекторами. Звичайно, вони є дорожчими і зазвичай їх доцільно використати у разі застосування більш ніж трьох колекторів. За способом забезпечення циркуляції в первинному контурі вони підрозділяються на:

- термосифонні (гравітаційні) системи, в яких теплоносій приводиться в рух на основі різниці питомих ваг гарячого і холодного теплоносія;
- системи з примусовою циркуляцією за допомогою насосу.

Термосифонна циркуляція застосовується в основному в одноконтурних системах. Колектори зі змієподібним абсорбером, тобто теплові ряди уніфікованих колекторів не годяться для термосифонних систем. Для таких систем використовуються колектори в комплекті з усім устаткуванням, включаючи бойлер і опорну конструкцію. Термосифонні установки досягають меншого енергетичного річного прибутку, ніж системи з примусовою циркуляцією, що пов'язано зі зниженою швидкістю циркуляції при малих потужностях.

СОНЯЧНІ ТЕЛОВІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Принцип роботи сонячних теплових електростанцій. Класифікація сонячних теплових електростанцій

Сонячна енергія може бути перетворена в електричну двома основними шляхами: термодинамічним і фотоелектричним.

При термодинамічному методі електричну енергію за рахунок використання сонячної енергії можна отримати використанням традиційних схем в теплових установках, в яких теплота від згоряння палива замінюється потоком концентрованого сонячного випромінювання. Принципова схема отримання електричної енергії в сонячній теплоелектростанції наведена на рисунку 3.1 [10].



Рисунок 3.1 – Принципова блок-схема сонячної теплоелектростанції

В основу роботи сонячних теплових електростанцій (СЕС) покладено принцип концентрації енергії сонячних променів на наповненому теплоносієм теплоприймачі, і перетворення її в теплову енергію. Температура теплоносія може становити від 200 °С до 1 000 °С та залежить від конструктивних особливостей СЕС. Теплова енергія, як і в звичайних ТЕС, перетворюється в електричну за допомогою газової або парової турбіни.

Розглянемо з фізичної точки зору сутність процесів перетворення, що відбуваються на термодинамічних СЕС.

Процес отримання електроенергії з сонячної енергії відбувається в два етапи. Перший етап – це фототермічне перетворення. Відбувається поглинання сонячного випромінювання в колекторі, а згодом нагрів теплоносія або робочого тіла. Він протікає безпосередньо в колекторі або в теплообміннику, передбаченому конструкцією СЕС. В якості теплоносія використовується водяна пара або пари органічних речовин (наприклад, фреон). Потім пара подається на парогенератор-турбіну (тепловий двигун), який приводиться в рух розігрітим робочим тілом. Подальший процес отримання електроенергії схожий з іншими тепловими електростанціями (ТЕЦ). На практиці використовують дві принципово різні схеми теплових СЕС.

Перша схема передбачає використання двоконтурного компонування. У першому контурі відбувається нагрів теплоносія в теплообміннику (колекторі), який потрапляє в акумулюючу систему. Теплоносій першого контуру в акумулюючому середовищі («буфер» в системі теплоприймач/нагрівач робочого тіла) виконує роль джерела тепла для другого (робочого) контуру, робоче тіло якого обертає турбіни теплового двигуна.

Друга схема теплової СЕС – одноконтурна. Контур теплоносія виконує функції робочого контуру. У сонячному теплоприймачі відбувається нагрів робочого тіла. Теплоносій частково потрапляє безпосередньо на вхід теплового двигуна, частково – в акумулятор (якщо передбачено конструкцією).

Всі існуючі термодинамічні СЕС для досягнення високих температур теплоносіїв використовують концентратори, які відображають сонячні випромінювання з великою дзеркальної поверхні на меншу поверхню колектора (приймача).

Основні елементи теплових СЕС (рис. 3.2 – [1]):

- концентратор;
- колектор;
- тепловий акумулятор (ТА) ;
- система передачі енергії;
- система стеження за сонцем (трекер).

За уловлювання та відображення сонячних променів відповідає сонячний концентратор, а за перетворення енергії сонця в теплову – колектор (приймач). У якості концентраторів на практиці раніше використовували різні оптичні елементи – дзеркала, світловоди, лінзи. В процесі експлуатації з'ясували, що при високому рівні потужності випромінювання, що концентрується, доцільно в ролі концентратора застосовувати тільки дзеркальні відбивачі. Основний параметр концентраторів сонячного випромінювання – коефіцієнт концентрації. Він відображає відношення середньої щільності сконцентрованого випроміню-

вання до щільності променевого потоку, який потрапляє на поверхню, що відбиває (за умови точного орієнтування на Сонце).

Акумулятори теплоти і система автоматичного спостереження за Сонцем – елементи теплової СЕС, що збільшують ефективність роботи всієї системи.

Концентратори так влаштовані, що можуть фокусувати виключно пряме сонячне випромінювання. Істотно знижує ефективність хмарна і туманна погода. Кращі показники ККД мають СЕС в місцевості з високим рівнем інсоляції. Прикладом такого регіону служать екваторіальні або пустельні райони. Щоб краще використовувати сонячне випромінювання, необхідно забезпечити орієнтацію сонячних концентраторів в напрямку Сонця. Для реалізації цього технологічного завдання на практиці концентратори оснащують спеціальними системами стеження – трекарами. Вони повертають відбивач концентратора згідно закладеному в контролері алгоритму. Системи стеження поділяють на одновісні і двовісні. Двовісні мають два приводи, один з них розгортає концентратор в горизонтальній площині, а другий – у вертикальній. Одноосьова система повертає концентратор тільки із заходу на схід.

Головний недолік, який притаманний усім сонячним установкам і СЕС – періодичність роботи, пов'язана з відсутністю сонячного випромінювання (через погоду, певний час дня, пору року). Конструктивно вирішити цю проблему допомагає установка додаткових концентраторів. Отримана рано вранці, або в години низького споживання електроенергії, енергія може накопичуватися в спеціальних акумуляторах. Запасена в ТА енергія використовується для отримання електроенергії при пікових навантаженнях і в години, коли припиняється надходження тепла від концентраторів. Можливість накопичувати та зберігати теплову енергію вночі або в сутінки – перевага теплової СЕС над електростанціями, на яких застосований фотоелектричний метод перетворення енергії.

Як показує досвід, доукомплектування теплових СЕС тепловими акумуляторами, заснованими на використанні розплавленої солі (речовина, що акумулює тепло), значно підвищує коефіцієнт встановленої потужності електростанції, тобто кількість електроенергії, яку виробила тепла СЕС за один рік. Наявність ТА також збільшує маневреність і надійність СЕС, поліпшує економічні показники.

Для поступового впровадження теплових СЕС, а також для усунення їх недоліку (залежність вироблення електроенергії від Сонця) впроваджують гібридизацію електростанції. Гібридизація електростанції – це використання для виробництва електрики на одній електростанції декількох джерел енергії (наприклад, енергії Сонця і вітру, Сонця і Землі і т. П.). Так, наприклад, в США

теплові СЕС інтегрують до складу інфраструктури існуючих ТЕЦ. Для виробництва електроенергії використовується одна турбіна-генератор. Нерівномірність вихідної потужності теплової СЕС компенсується спалюванням газу.

Завдяки тепловим СЕС друге життя отримали двигуни Стірлінга, розроблені в далекому 1816 році. На модульних СЕС його застосовують в якості приймача електроенергії в фокусі дзеркал (замість ємності з робочим тілом)

Існує два різних принципи концентрації сонячного випромінювання на теплових СЕС:

- застосування великої кількості геліостатів-концентраторів, які відображають сонячне випромінювання на центральну вежу з приймачем (баштовий тип СЕС – рис. 3.2);

- застосування значної кількості розосереджених на великій території концентраторів, на кожному з яких розташований свій колектор, так званий модульний тип СЕС.

СЕС баштового типу – це ціле «поле» концентраторів і один приймач сонячної енергії, який розташований нагорі вежі. Висота вежі може досягати 150 метрів. На її верхній позначці встановлений резервуар, виготовлений з жароміцного металу, з теплоносієм. Нагрітий теплоносій через систему насосів (і можливо через ТА) потрапляє на турбіни. Тобто станції баштового типу, як вже було сказано, складаються з п'яти основних елементів: оптичної системи, автоматичної системи управління дзеркалами і станцією в цілому, парогенератора, башти і системи перетворення енергії, яка включає теплообмінники, акумулятори енергії і турбогенератори. Принципова схема сонячної електростанції баштового типу показана на рисунку 3.2,б.

У основу роботи баштової СЕС покладений принцип концентрації сонячної енергії, що падає на дзеркала, зібраної з великих площ за допомогою плоских дзеркальних геліостатів. Таким чином, СЕС з центральним приймачем сонячного випромінювання є вежею з геліоприймачем і розташованими на площині геліостатами. Висококонцентроване сонячне випромінювання отримують за допомогою параболічних поверхонь. До них відносяться дзеркальні поверхні, що функціонують на основі парабол обертання (параболосферичні) або на основі парабол руху (параболоциліндричні). Звичайно у такій електростанції використовується пряме сонячне випромінювання і геліостати мають систему слідкування за Сонцем, при цьому кожний з геліостатів орієнтується в просторі індивідуально.

Температура, яку можна отримати на вершині башти з допомогою дзеркальних концентраторів, складає від 300 до 1 500 °С. В одному модулі можна

отримати потужність, яка не перевищує 200 МВт, що пов'язано зі зниженням ефективності перенесення енергії від найбільш віддалених концентраторів на вершину башти.

Практика експлуатації СЕС типу башти показала їх технічну доцільність і працездатність. Проте реальна ціна СЕС цього типу із-за їх високої матеріаломісткості (металоконструкції, бетон, дзеркала) виявилася високою. Діючі СЕС типу вежі є експериментальними полігонами по впровадженню сонячних технологій. Основним недоліком таких установок є значна площа, яку вони займають. Так, для розміщення баштової електростанції потужністю 100 МВт необхідна площа 200 га. Сонячні енергетичні установки (СЕУ) башт – це установки промислової енергетики з високою вихідною потужністю. Баштові СЕС добре себе зарекомендували виключно в ролі великих, з'єднаних з електромережею електростанції потужністю 30–200 МВт.

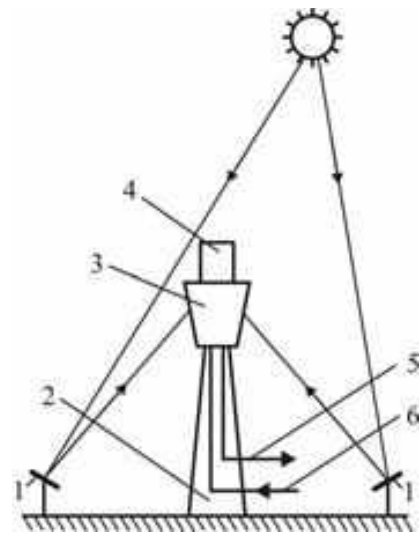
СЕС модульного типу складається з окремих модулів, об'єднаних в одну систему електростанції. Кожен модуль включає в себе параболічний (або циліндричний) концентратор і теплоприймач, який розташовується у фокусі концентратора. Зовні модуль нагадує супутникову антену. Системи тарілчастого виду завдяки модульній конструкції застосовуються і як автономні установки, і як група модулів загальною потужністю до декількох десятків мегават.

Також СЕС модульного типу поділяють на СЕС з роздільними модульними параболічними концентраторами (рис. 3.3) та СЕС з параболічними концентраторами та з тепловими приймачами у фокусі параболоїда (рис. 3.4).

Теплові сонячні електростанції завдяки гібридизації, впровадженню нових матеріалів, удосконаленню технологій та можливості акумулювати тепло стають стійким і надійним джерелом електроенергії.

Для розміщення теплових ТЕС найкраще підходять екваторіальні посушливі і пустельні території. Україна хоч і не може похвалитися подібними зонами, зате в нашій країні діє зелений тариф на електроенергію, який стимулює як внутрішніх, так і зовнішніх інвесторів вкладати гроші в розвиток цієї галузі. Перспективною для будівництва теплових СЕС є Херсонська область, оскільки володіє одним з кращих показників річної інсоляції в країні.

Структурні схеми вежі СЕС і СЕС з високою концентрацією сонячної енергії включають усі типові елементи термодинамічного циклу перетворення енергії, і усі правила технічної експлуатації теплової частини енергоустановки не відрізняються від правил експлуатації теплових електростанцій. Особливу увагу слід приділити питанням експлуатації дзеркального геліополя, трекерів системи геліостатов, сонячних веж. Надалі і будуть розглянуті ці питання.



1 – геліостати; 2 – башта; 3 – сонячний котел; 4 – теплоаккумулятор;
5 – трубопровід «гострої» пари;
6 – трубопровід живильної води

а)

б)

Рисунок 3.2 – Термодинамічні СЕС баштового типу:
а – зовнішній вигляд; б – схема термодинамічної СЕС баштового типу [1]



Рисунок 3.3 – СЕС з роздільними модульними параболічними концентраторами



Рисунок 3.4 – Дзеркальні параболічні СЕС з двигуном Стірлінга

Розрахунок сонячного колектору



Можливість використання сонячної енергії на землі залежить від географічної широти φ , пори року та сонячного сіяння [1,2].

Річне надходження сумарної сонячної радіації в реальних умовах хмарності становить 1050-1400 кВт·год./м² при загальному збільшенні від $\varphi = 52^\circ$ до $\varphi = 43^\circ$ північних широт, в яких розташована Україна [2]. За розрахунками нанесені на карту України дані по розподілу її території за інтенсивністю надходження сонячної інсоляції [4] (для прикладу дивись додаток Б для січня і додаток В для липня місяця) [2].

Оптимальні кути нахилу СК визначаються періодом роботи. Звичайно при цілорічному використанні плоского СК його розташовують під кутом β

до горизонту, рівним географічній широті даної місцевості φ ($\beta = \varphi$).

Якщо СК використовують тільки влітку, то кут його установки до горизонту зменшують на 15° ($\beta = \varphi - 15^\circ$), якщо СК використовують тільки зимою то кут установки збільшують на 15° ($\beta = \varphi + 15^\circ$) [1, 3].

При проектуванні систем перетворення сонячної енергії необхідно знати не тільки повну радіацію H_h , але і її складові: пряму B_h , і дифузну (розсіяну) радіацію D_h

$$H_h = B_h + D_h, \quad (1)$$

де H_h , B_h і D_h - середньомісячна добова радіація на горизонтальну поверхню Землі: повна, пряма і дифузна відповідно.

Повну радіацію, отриману горизонтальною поверхнею, називають ще *інсоляцією*.

Середньомісячне добове значення повної радіації на похилу поверхню СК для кожного місяця знаходять за виразом [1,3]

$$I_c = B_h \cdot R_B + D_h \cdot R_d + H_h \cdot R_r, \quad (2)$$

де B_h , D_h і H_h - пряма, дифузна і повна радіація на горизонтальну поверхню, (кДж/м²·добу);

R_B - коефіцієнт нахилу СК, значення якого залежить від географічної широти φ і кута нахилу β поверхні СК до горизонту, значення якого розраховується або береться із таблиці [3];

R_d - кутовий коефіцієнти дифузної радіації, який визначають за формулою

$$R_d = \frac{1 + \cos \beta}{2}; \quad (3)$$

R_r - кутовий коефіцієнт прямої і дифузної радіації, який визначають за формулою

$$R_r = \frac{\rho_s (1 - \cos \beta)}{2}, \quad (4)$$

де β - кут нахилу СК до горизонту;

ρ_s - коефіцієнт відбиття поверхні Землі, який залежить від виду покриття [3] і називається *альбедо* [1].

Коефіцієнт нахилу R_B залежить від географічної широти φ , кута нахилу β , нахилу Сонця і кутового сонячного часу для середини місяця.

Його значення можна взяти із таблиці 1 [3].

Таблиця 1 – Коефіцієнти відбиття поверхні Землі ρ_s

| Характер покриття поверхні | ρ_s |
|--------------------------------------|----------|
| лід та сніг | 0,7 |
| пісок | 0,4 |
| трава | 0,3 |
| бетон | 0,2 |
| асфальт, темна поверхня землі і води | 0,1 |

Підставивши (3) і (4) в (2) з урахуванням (1) отримаємо вираз для середньомісячного добового значення повної радіації на похилу поверхню СК

$$I_c = (H_h - D_h)R_B + D_h \frac{1 + \cos \beta}{2} + H_h \cdot \rho_s \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (5)$$

де R_B - значення коефіцієнту нахилу СК із табл. таблицю 2 [3].

Для знаходження складових D_h і B_h повної радіації H_h необхідно знайти коефіцієнт чистоти небесної півсфери за формулою [3]

$$K_T = \frac{H_h}{H_o}, \quad (6)$$

де H_h - повна радіація на горизонтальну поверхню Землі (сонячні карти або рисунок 3);

H_o - позаатмосферна добова інсоляція для середніх чисел кожного місяця, визначається із рисунка 4 [3].

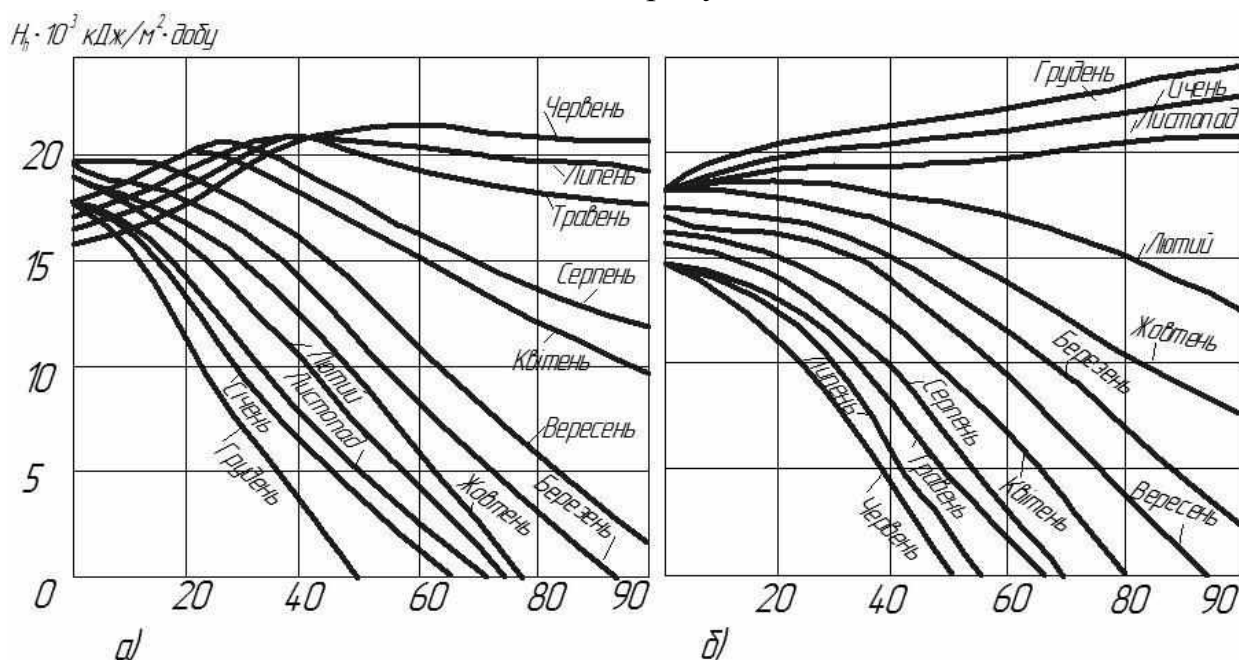


Рисунок 3 – Повна добова радіація поверхні для середніх чисел

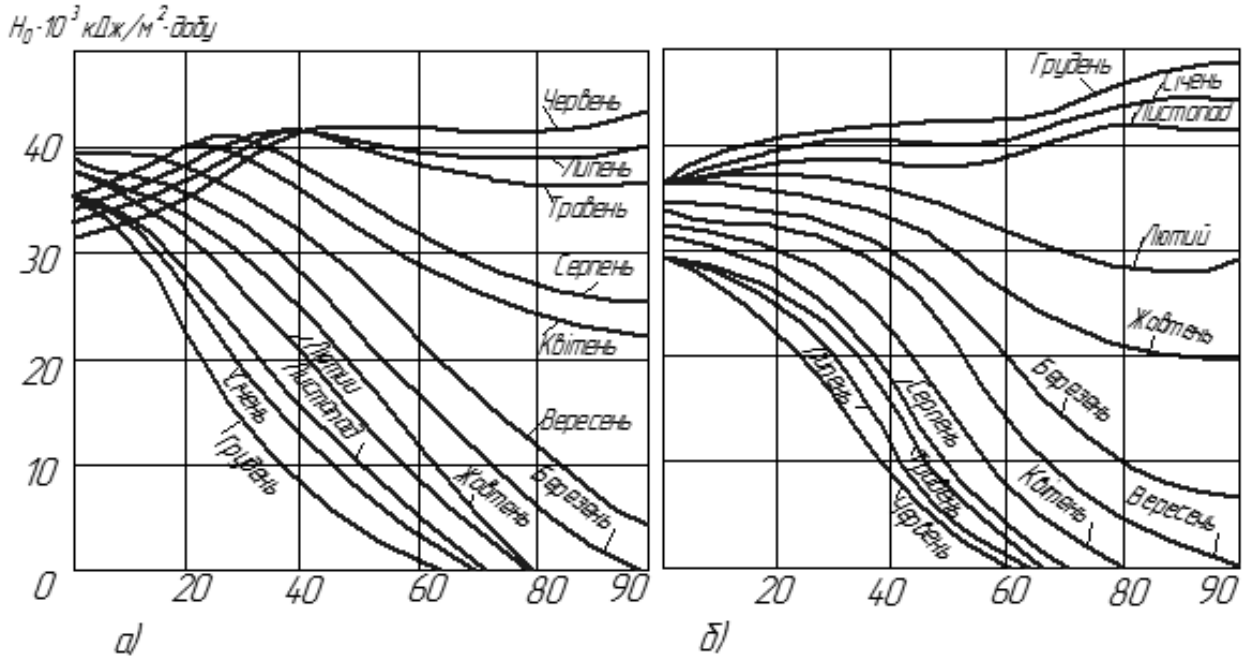
кожного місяця для південної широти а) і північної широти б)

Потім із рисунка 5 [3] знаходять частку

$$\frac{D_h}{H_h} = f(K_T),$$

звідки знаходять дифузну радіацію D_h , а потім і пряму радіацію

$$B_h = H_h - D_h \quad (7)$$



а) північна широта, б) південна широта.

Рисунок 4 – Позаатмосферна добова інсоляція поверхні для середніх чисел кожного місяця

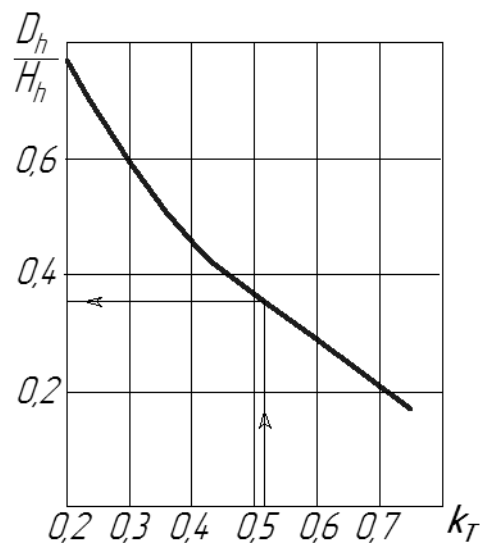


Рисунок 5 – Залежність $D_h / H_h = f(k_T)$

Повну середньомісячну добову радіацію на похилу поверхню СК для

кожного місяця знаходять, підставивши знайдені значення величин у вираз (5).

Потік променистої енергії $Q_{нов}$, Вт, поверхнею приймача, що поглинається, складає

$$Q_{нов} = \tau_{нов} \alpha A I \quad (8)$$

де $\tau_{нов}$ – коефіцієнт пропускання сонячного випромінювання прозорим покриттям, приймається рівним 0,9 для одинарного скляного покриття, 0,8 – для подвійного скляного покриття, 0,81 – для селективного скла;

α – коефіцієнт поглинання приймальною поверхнею колектора сонячного випромінювання, приймається рівним 0,9 для одинарного скляного покриття, 0,9 – для подвійного скляного покриття, 0,81 – для селективного скла;

A – площа освітлюваної поверхні колектора, м²;

I – опроміненість поверхні сонячного колектора, Вт/м².

Таблиця 2 – Коефіцієнти нахилу R_B сонячного колектору

| Місяць року | Широта $\varphi=40^\circ$ | | Широта $\varphi=50^\circ$ | |
|-------------|---------------------------|------------------|---------------------------|------------------|
| | $\beta=40^\circ$ | $\beta=60^\circ$ | $\beta=50^\circ$ | $\beta=70^\circ$ |
| Січень | 2,28 | 2,56 | 3,56 | 3,94 |
| Лютий | 1,80 | 1,90 | 2,49 | 2,62 |
| Березень | 1,36 | 1,32 | 1,65 | 1,62 |
| Квітень | 1,05 | 0,90 | 1,16 | 1,00 |
| Травень | 0,88 | 0,66 | 0,90 | 0,64 |
| Червень | 0,79 | 0,60 | 0,80 | 0,56 |
| Липень | 0,82 | 0,64 | 0,84 | 0,62 |
| Серпень | 0,96 | 0,78 | 1,02 | 0,83 |
| Вересень | 1,24 | 1,12 | 1,44 | 1,32 |
| Жовтень | 1,62 | 1,64 | 2,10 | 2,14 |
| Листопад | 2,08 | 2,24 | 3,16 | 3,32 |
| Грудень | 2,48 | 2,80 | 4,04 | 4,52 |

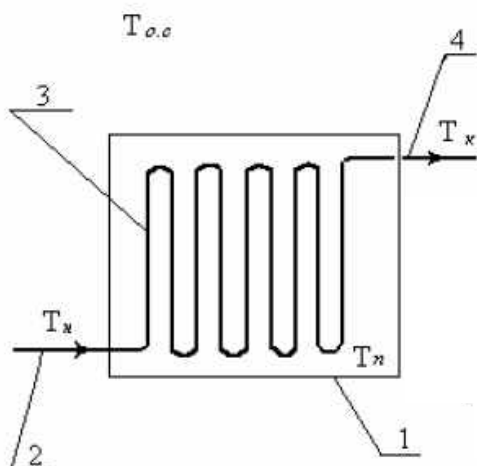
В процесі поглинання енергії, температура поверхні приймача підвищується і стає істотно вищим за температуру довколишнього повітря. Це наводить до виникнення зворотного теплового потоку в довкілля, який можна визначити

$$Q_{ном} = A(T_n - T_{o.c.})/R_n \quad (9)$$

де T_n – температура приймальної поверхні колектора, К;

$T_{o.c.}$ – температура довколишнього повітря, К;

R_n – термічний опір приймальної поверхні колектора, для типових колекторів можна прийняти рівним $0,13 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ для одинарного скла, $0,22 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ – для двошарового скла, $0,4 \text{ м}^2 \text{ К/Вт}$ – для селективного скла.



1 – корпус колектора; 2 – вхід води в колектор; 3 – трубки; 4 – вихід води з колектору.

Рисунок 6 – Схема для визначення теплового балансу сонячного колектору

Рівняння сонячного колектора тоді можна представити

$$Q_{ск} = A [\tau_{пов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n].$$

Проте не вся енергія, що отримується колектором, передається воді, а лише її частина, що характеризується коефіцієнтом переходу k_f сонячної енергії, що показує долю теплового потоку $Q_{ск}$, що передається рідині, приймається рівним 0,85

$$Q_{жс} = k_f Q_{ск}.$$

Коефіцієнт теплопередачі к залежить від швидкості вітру, кількості прозорих покриттів, відстані між ними, а також між внутрішнім склом і панеллю, від умов у повітряному проміжку колектора, ступеню чорноти поглинальної панелі в довгохвильовій частині спектра. При відсутності прозорі ізоляції швидкість вітру є визначальним фактором втрат. Вакуумування зазору приводить до різкого скорочення конвекційних втрат, а нанесення на поверхню панелей покриттів, які мають низьку ступінь чорноти в довгохвильовій частині спектра, суттєво зменшує втрати

випромінюванням.

Кількість тепла, потрібного для нагріву рідини на певну різницю температур $Q_{ж}$, Вт можна записати у вигляді

$$Q_{ж} = L\rho c(T_k - T_n), \quad (10)$$

де T_k – кінцева температура води, К;

T_n – початкова температура води, К;

ρ – щільність води, рівна 1000 кг/м^3 ;

c – теплоємність води, рівна 4200 Дж/кг К ;

L – об'ємна витрата води, $\text{м}^3/\text{с}$.

Рівняння теплового балансу колектора можна записати у вигляді

$$k_f A(\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n) = L\rho c(T_k - T_n). \quad (11)$$

З рівняння балансу сонячного колектора визначаються всі основні характеристики, наприклад площа СК

$$A = L\rho c(T_k - T_n) / (k_f (\tau_{нов} \alpha I - (T_n - T_{o.c.}) / R_n)) \quad (12)$$

У системах гарячого водопостачання теплоносій у колекторах повинен бути нагрітий до 50°C . Цей температурний рівень достатньо ефективно забезпечується застосуванням на теплосприймаючій поверхні панелі чорної фарби. Для опалення необхідна температура від 60 до 100°C . При температурах, вищих 60°C , у теплових втратах колектора помітну частку складає випромінювання з його теплосприймаючої поверхні. Суттєве зменшення цих втрат досягається при застосуванні поглинаючих покриттів теплосприймаючої поверхні панелі, які мають селективні оптичні властивості щодо поглинальної здатності відносно сонячного випромінювання $\alpha_s > 0,9$ і ступінь чорноти в діапазоні довжин хвиль власного теплового випромінювання $\varepsilon < 0,2$.

Сьогодні отримано різновиди типів селективних покриттів. За допомогою методу електрохімічного осадження металів отримані покриття «чорний нікель» і «чорний хром». Їх оптичні характеристики наведені в таблиці 3.

Таблиця 3 – Оптичні характеристики покриття «чорний нікель»

| Матеріал підкладки | α_s | ε |
|----------------------|------------|---------------|
| Мідь | 0,94-0,96 | 0,1-0,12 |
| Латунь | 0,94-0,95 | 0,08-0,1 |
| Нержавіюча сталь | 0,93-0,95 | 0,12-0,15 |
| Низьколегована сталь | 0,93-0,95 | 0,15-0,19 |
| Алюміній | 0,93-0,95 | 0,12-0,14 |

| | | |
|-------------------|----------|-----------|
| Металізоване скло | 0,9-0,92 | 0,11-0,13 |
|-------------------|----------|-----------|

Покриття «чорний хром» і «чорний нікель» мають однаково високі оптичні характеристики. З технологічної точки зору «чорний нікель» є більш перспективним.

Коефіцієнт ефективності закордонних колекторів лежить у діапазоні 0,93-0,99, що свідчить про високі теплотехнічні якості поглинальних панелей. Середня площа поверхні колекторів США складає 15-25 кг/м², а в Європі — 20-30 кг/м², що пов'язане з більшим використанням сталі. У закордонних колекторах загальний обсяг каналів для теплоносія невеликий, що забезпечує низьку теплову інерцію колектора і мінімальні втрати теплоти в нічні години. Теплова ізоляція застосовується в 40-50% модифікацій з пінополіізоціанурату і у 30% — зі скловати в гідроізоляційній оболонці.

Застосування високоякісних матеріалів забезпечує закордонним колекторам високі теплотехнічні характеристики. Українські колектори розроблені в останні роки за своїми теплотехнічними, середніми поверхневими щільностями (кг/м²), габаритними площами не поступаються закордонним.

Конструктивне вдосконалення плоских СК проводиться у двох напрямках:

- пошуку нових неметалевих конструктивних матеріалів;
- удосконалення оптико-теплових характеристик найбільш відповідального вузла — абсорберів та світлопроникного елемента.

Як теплоносії у системах сонячного теплопостачання використовується вода.

Вода як теплоносії має хороші теплофізичні якості і недефіцитна, однак її суттєвим недоліком є відносно висока температура замерзання. Це утруднює експлуатацію систем при низьких температурах. Тому при експлуатації установок сонячного теплопостачання взимку рекомендується використовувати 60% розчин етиленгліколю або водно-сольові розчини з рецептурою (за масою %):

Калій вуглекислий, 1,5-водний — 51,6

Натрій фосфорнокислий, 12-водний — 4,3

Натрій кремнекислий, 9-водний — 2,6

Натрій тетраборнокислий, 10-водний — 2,0

Флуоресцеїн — 0,01

Вода до 100.

Фосфат, силікат та тетраборат натрію застосовуються для захисту

матеріалів колектора від корозії. Для індикації витоків теплоносія введений флуоресцеїн. Ці розчини дають високу ефективність при використанні в алюмінієвих колекторах. Для сталевих колекторів можна рекомендувати більш прості ететики: 29,9%-ий водний розчин CaCl_2 або ТОСОЛ.

1.4 Контрольні питання

- 1) Що собою являє плоский сонячний колектор?
- 2) Назвіть види енергоносіїв у СК?
- 3) Назвіть переваги і недоліки використання води в якості енергоносія в СК?
- 4) Як вибирається кут нахилу СК?
- 5) Що таке інсоляція і альbedo?
- 6) Від чого залежить величина коефіцієнту відбиття сонячної радіації?
- 7) Що називають прямою і дифузною (розсіяною) радіацію?
- 8) Як знайти коефіцієнт чистоти небесної півсфери?
- 9) Якими факторами визначається теплоенергетична ефективність СК?
- 10) За рахунок чого можливо підвищення ефективності роботи СК?
- 11) Якими параметрами характеризується робота сонячного колектора?
- 12) Як визначається витрата води в сонячному колекторі?
- 13) Як визначається температура води на виході з сонячного колектора?
- 14) Як визначається опроміненість поверхні сонячного колектора?
- 15) Як визначається необхідна проектна теплова потужність сонячного колектора?
- 16) Як впливає витрата води на температуру води на виході з сонячного колектора?
- 17) Як визначається необхідна площа сонячного колектора?
- 18) Назвіть СК, що випускаються промисловістю України і їх конструктивні особливості.