

Львівський національний університет ветеринарної
медицини та біотехнологій імені С.З. Гжицького

Тимошик А.М., Ціж Б.Р.,
Варивода Ю.Ю.

Використання енергії Сонця

Навчальний посібник для студентів
вищих навчальних закладів очної та заочної форм
навчання технічних і технологічних спеціальностей

Львів 2021

УДК 620.9(075.8)
ББК в652.46я73-1
Т417

Рецензенти:

І.З. Щур, доктор технічних наук, професор, Національний університет «Львівська політехніка»

Ю.Л. Білонога, доктор технічних наук, професор, Львівський національний університет ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького

Тимошик А.М., Ціж Б.Р., Варивода Ю.Ю.

Використання енергії Сонця: Навчальний посібник. – Львів: В-во ЛНУВМБ ім. С.З. Гжицького, 2021. – 78 с., 29 іл.

В даному навчальному посібнику викладено основні відомості про стан використання енергії Сонця на даному етапі розвитку людства, описано будову і принцип дії найпоширеніших сонячних установок, зокрема сонячних нагрівальних систем та фотоелектричних перетворювачів.

Посібник розрахований на студентів вищих закладів освіти технічних і технологічних спеціальностей.

Лл. 29. Бібліогр: 18 назв.

Рекомендовано методичною комісією факультету харчових технологій та біотехнологій ЛНУВМБ імені С.З. Гжицького для студентів стаціонарної та заочної форм навчання.

Протокол № 3 від 28.02.2021 р.

Вступ

Надра Сонця мають температуру, достатню для постійного синтезу водню з гелію, тобто для термоядерної реакції, яка є джерелом колосального енергетичного потоку, що випускає Сонце у вигляді електромагнітних хвиль та елементарних частинок. Для спектру електромагнітного випромінювання Сонця характерним є ультрафіолетове (~ 7 % від загальної сонячної радіації), видиме та інфрачервоне (теплове) (біля 46 %) випромінювання. Енергетична віддача Сонця рівнозначна перетворенню в енергію речовини масою $4,2 \times 10^6$ тон щосекунди.

Кількість сонячної енергії, що досягає нашої планети за рік, в 50 разів перевищує енергію, яку можна було б отримати зі всіх відомих світових енергозапасів, і в 300 тис. разів перевищує щорічне споживання енергії людством. До того ж на поверхню Землі потрапляє менше 50 % всього енергетичного потоку, решта сонячної енергії поглинається, відбивається і розсіюється атмосферою та хмарами.

Сучасну світову енергетичну потребу можна було б забезпечити за рахунок сонячної енергії, щорічно отриманої за допомогою геліюустановок площею 20 тис. км², що становить всього 4 % земної поверхні. Сьогодні світовий енергетичний ринок оцінюється одним трильйоном доларів США, що вдвічі перевищує автомобільний. Однак енергетичні потреби людства продовжують зростати, і це спонукає до будівництва і введення в дію нових енергогенеруючих потужностей. Так, за прогнозами Світової Енергетичної Ради (WEC) упродовж наступних 25 років у світі буде введено в дію більше енергетичних об'єктів, ніж протягом усього минулого століття.

Бурхливий розвиток енергетики у ХХ столітті породив низку проблем, пов'язаних із виснаженням природних ресурсів і забрудненням навколишнього середовища. Тому

на наукових, промислових, економічних, екологічних та інших світових форумах найвищого рівня вирішено активізувати роботи щодо розширення використання відновлюваних джерел енергії: сонячної, геотермальної, вітрової, припливної тощо.

В пропонованому навчальному посібнику викладено основні відомості про стан використання енергії Сонця на даному етапі розвитку людства, описано будову і принцип дії найпоширеніших сонячних установок, зокрема сонячних нагрівальних систем та фотоелектричних перетворювачів.

В першому розділі детально проаналізовано нагрівальні сонячні системи, зокрема сфери застосування, переваги і техніко-економічні особливості сонячних установок. Описано активні та пасивні сонячні теплові системи, особливості їх роботи та комп'ютерне управління геліосистемами. Дана характеристика найпоширеніших плоских колекторів, їх комплектації, розміщення та кріплення, а також підбору і розрахунку елементів геліосистем. Представлені розрахунки ефективності типових сонячних колекторів та геліосистем в цілому.

В другому розділі дана характеристика фотоелектричних перетворювачів енергії. Описана конструкція і принцип дії типових фотоелементів, сонячних батарей та сонячних фотоелектричних систем. Проаналізовано проблеми освоєння фотоелектричних установок, а також стан і перспективи використання сонячних фотоелектричних панелей.

В додатках представлені вихідні дані для вибору і виготовлення сонячних колекторів. Подані контрольні запитання і завдання для самостійної роботи. Додано список використаних джерел та літератури з даної тематики.

Розділ 1. Нагрівальні сонячні системи

1.1. Сфери застосування і переваги сонячних установок

Сонячна енергія може бути перетворена в теплову, механічну і електричну енергію, використана в хімічних і біологічних процесах. **Сонячні установки** знаходять застосування в системах опалювання і охолодження житлових і громадських будівель, в технологічних процесах, що протікають при низьких, середніх і високих температурах. Вони використовуються для отримання гарячої води, опріснення морської або мінералізованої води, для сушіння матеріалів та сільськогосподарських продуктів і т.п. Сонячна енергія може, наприклад, безпосередньо перетворюватися в механічну (двигун Стірлінга). Якщо у фокусі параболічного дзеркала діаметром 1,5 м встановити динамічний перетворювач, що працює за циклом Стірлінга, одержаної потужності (1 кВт) досить, щоб піднімати з глибини 20 метрів 2 м³ води.

1.1.1. Переваги сонячної енергетики

Сонячна енергетика має багато **переваг** перед іншими видами джерел енергії, зокрема:

- загальнодоступність і невичерпність джерела;
- можливість ефективного використання, як прямого, так і розсіяного сонячного випромінювання;
- можливість створення установок різної потужності;
- великий строк служби установок (до 50 років);
- початкові затрати значно менші, ніж приєднання віддалених населених пунктів до систем тепло- і електропостачання, а експлуатаційні затрати з урахуванням строку служби нижчі ніж для електростанцій інших типів;
- елементи сонячних установок виконують роль вишуканого будівельного матеріалу, що покращує архітектуру будівель, забезпечує їх водозахист, тепло- і звукоізоляцію.

З технічної та еколого-економічної точок зору переваги сонячних енергосистем полягають ще й у відсутності необхідності використання будь-яких видів палива, а також у відсутності рухомих елементів, які шумлять та зношуються. Не має також необхідності у проведенні трудомісткого технічного обслуговування для підтримання їх працездатного стану.

1.1.2. Сфери застосування сонячної енергії

Сонячна енергія широко використовується як для нагрівання води, так і для виробництва електроенергії. Нижче приведені різноманітні приклади такого використання.

1. **Нагрівання поверхні**, яка поглинає сонячні промені з подальшим розподілом тепла, в т.ч. фокусування сонячного випромінювання на ємкість з водою і подальше використання нагрітої води для опалення чи в парових електрогенераторах.

2. **Термоповітряні електростанції**, які перетворюють сонячну енергію в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор.

3. **«Сонячні вітрила»**, які в космічному просторі перетворюють енергію сонячних променів в кінетичну енергію руху.

4. **Сонячні аеростатні електростанції**, в яких усередині балона аеростата відбувається генерація водяної пари за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, покритої селективно-поглинаючим покриттям.

5. **Фокусуючі колектори** – концентруючі пристрої, які складаються з віддзеркалюючих поверхонь сферичної чи параболічної форми, що збирають і фокусують сонячні промені у фокальну площину або фокальну пляму, де температура суттєво підвищується. Цю сконцентровану сонячну енергію потім подають на різні приймачі (поглиначі) для використання, в результаті чого температура теплоно-

сія досягає 400 – 650 °С. Проте експлуатація такої системи ускладнюється необхідністю точного регулювання систем, які слідкують за Сонцем. Сонячні колектори можуть застосовуватися для приготування їжі (рис. 1.1). Температура



Рис.1.1. Фокусуюча нагрівальна установка

в фокусі колектора досягає 150 °С. Такі кухонні прилади можуть широко використовуватись в країнах, що розташовані на низьких географічних широтах. Вартість матеріалів необхідних для виробництва «сонячної кухні» складає \$3 – \$7.

6. Сонячна енергія застосовується в **хімічній промисловості**, наприклад, в технології отримання неокисленого цинку у сонячній башті. Для цього оксид цинку у присутності деревного вугілля нагрівають концентруючими дзеркалами до температури 1200 °С на вершині сонячної башти, і в результаті отримують чистий цинк. Далі цинк герметично упаковують і транспортують до місць виробництва електроенергії, де його поміщають у воду, і в результаті хімічної реакції отримують водень і оксид цинку. Оксид цинку можна ще раз помістити в сонячну башту і отримати чистий цинк. Технологія пройшла випробування в сонячній башті канадського інституту Institute for the Energies and Applied Research.

7. **Сонячні елементи** (фотоелементи), які представляють собою електричні пристрої, що здатні перетворюва-

ти частину сонячного випромінювання в електричну енергію. Сонячні фотоелектричні станції використовуються для освітлення, живлення водопідіймальних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, в домашніх господарствах, побутових приладах (калькуляторах, годинниках, радіоприймачах та ін.), в низькоенергетичноспоживних пристроях різного призначення (лічильниках, сенсорах, детекторах, перетворювачах) тощо.

В магазинах електротоварів можна придбати освітлювальні прилади на сонячних батареях, що використовують електроенергію, яку вони накопичують впродовж світлової частини доби. Фотоелементи служать основним джерелом живлення для супутників на навколоземній орбіті. З 1970-х років у віддалених районах фотоелементи живлять автономні енергоустановки. З 1980-х років виробники серійних побутових товарів почали вбудовувати фотоелементи в різноманітні пристрої: від годинників і калькуляторів до музичної апаратури.

Фотоелементи виробляють електроенергію, яка використовується для бортового живлення транспортних засобів, або для електродвигунів що їх живлять (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Безпілотний літак на сонячних батареях

В Італії, Японії та інших країнах фотоелементи встановлюють на дахах залізничних потягів. Вони забезпе-

чують електроенергію для кондиціонерів, освітлення і аварійних систем.

Потік сонячної енергії на поверхні Землі сильно залежить від географічної широти і клімату. У різних місцевостях середня кількість сонячних днів в році суттєво відрізняється, що вимагає індивідуального підходу до вибору обладнання.

1.2. Сонячні теплові системи

Перетворення сонячної енергії в теплову забезпечується за рахунок здатності атомів речовини поглинати електромагнітне випромінювання. При цьому енергія електромагнітного випромінювання перетворюється в кінетичну енергію руху атомів і молекул речовини, тобто в теплову енергію сонячних елементів (колекторів).

Оскільки енергія сонячного випромінювання розподілена по великій площі поверхні (має низьку густину), то для прямого використання сонячної енергії використовується **збираючий пристрій (плоский колектор)**. Колектор складається з чорної плити, покритої склом і термоізолюваною знизу. У проміжку між плитою і склом розміщують мідні трубки, покриті чорною фарбою чи лаком для найефективнішого поглинання сонячних променів. В цих трубках циркулює **теплоносій**, який служить для передачі тепла від колектора до бака-акумулятора з водою.

Окремі елементи з'єднані послідовно чи паралельно, разом з допоміжним обладнанням, становлять **сонячну теплову систему**.

На відміну від напівпровідникових сонячних батарей, **сонячні колектори** виготовляються з доступних матеріалів: сталі, міді, алюмінію та інших, тобто без застосування відносно дорогих **кремнієвих фотоелементів**. Це дозволяє суттєво знизити вартість устаткування, і отримати дешевшу енергію.

1.2.1. Активні та пасивні сонячні елементи

Найбільшого розповсюдження набуло використання сонячного випромінювання для нагрівання води в системах опалення і гарячого водопостачання будинків. За способом перетворення сонячного випромінювання у теплоту, що застосовується у побуті і на виробництві, сонячні системи поділяються на активні і пасивні.

В **активних теплових системах** здійснюється примусова циркуляція нагрітої рідини (теплоносія), за допомогою насосів (рис. 1.3а). Активні системи зі штучною циркуляцією зручні, оскільки для їх створення можна використовувати існуючі водонагрівальні системи, під'єднуючи до них приймачі сонячного випромінювання і насос. Вадю цих систем є залежність від електроенергії, без якої вони не будуть працювати.

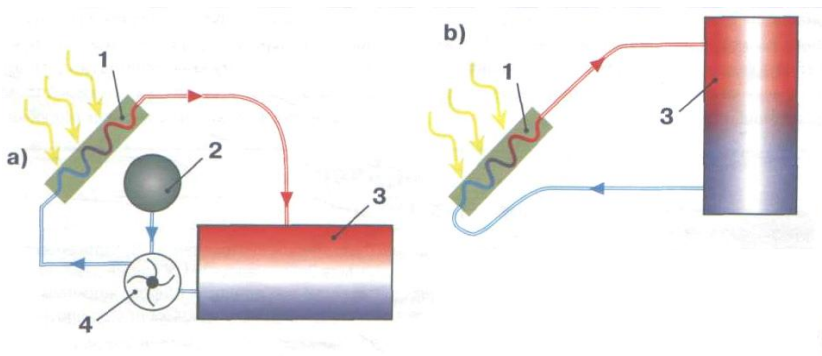


Рис. 1.3. Активна (а) і пасивна (б) системи нагрівання води: 1 – приймач сонячного випромінювання, 2 – регулятор, 3 – ізольований накопичувач, 4 – насос

Пасивні нагрівальні системи (термосифонні) характеризуються природною циркуляцією теплоносія, яка зумовлена перепадом температури і тиску, тобто природною конвекцією – це системи, в яких енергія Сонця перетворюється на тепло безпосередньо в місці її споживання (рис. 1.3б).

У **герметичній** (активній) системі подачу гарячої води можна здійснювати вище від рівня бака-акумулятора, оскільки тиск у системі підтримується тиском у водопровідній магістралі або живильним насосом. У **негерметичних** (термосифонних, пасивних) системах гаряча вода подається споживачу самопливом, тому споживач повинен розміщуватися нижче накопичувача нагрітої води, тобто бака-акумулятора. Якщо потрібна вода під тиском (наприклад, для душу), то перепад висоти повинен бути достатньо великим, щоб забезпечити необхідний напір.

Сонячні водонагрівачі в регіонах з холодним кліматом повинні мати запобіжні засоби захисту сонячного колектора від замерзання: теплоізоляційне покриття, пристрій для зливу води.

В цьому плані характерними є **пасивні сонячні будівлі**, які проектуються з максимальним врахуванням місцевих кліматичних умов, із застосуванням відповідних технологій і матеріалів для обігріву, охолодження і освітлення будівлі за рахунок найефективнішого використання енергії Сонця. У пасивній сонячній будівлі сама конструкція виконує роль збирача сонячної радіації. Сонячне проміння, падаючи на стіни, вікна, дах та інші поверхні, поглинається ними і перетворюється у теплову енергію. До матеріалів, які поглинають і зберігають тепло, відносяться бетонні плити підлоги, кам'яні стіни та інші будівельні конструкції. Вони є основними елементами в будинках, що пасивно використовують сонячну енергію. Існують також системи, де передбачені спеціальні елементи для накопичення тепла, вмонтовані в конструкцію будівлі (наприклад, ящики з камінням або заповнені водою баки).

При проектуванні можна створити багато різних схем пасивних будівель. Пріоритетами при їх створенні є вдале розташування будинку; велика кількість вікон, зорієнтованих на південь, щоб пропускати більше сонячного світла в зимовий час (і навпаки, невелика кількість вікон

на схід або захід, щоб обмежити надходження небажаного сонячного світла в літній час); правильний розрахунок теплового навантаження на внутрішні приміщення, щоб уникнути небажаних коливань температури і зберегти тепло в нічний час; якісна ізоляція будівлі та ін.

Все вище перераховане: розташування, ізоляція, орієнтація вікон, теплове навантаження на приміщення та інші фактори повинні коректно враховуватись при створенні нагрівальних сонячних систем. Для зменшення коливань внутрішньої температури ізоляція повинна бути поміщена із зовнішньої сторони будівлі. Проте в місцях з швидким внутрішнім обігрівом доцільніша внутрішня ізоляція. Таким чином, при двосторонній ізоляції дизайн будівлі буде оптимальним для будь-якого мікроклімату. Варто відзначити і той факт, що правильний баланс між тепловим навантаженням на приміщення та ізоляцією веде не тільки до заощадження енергії, але також і до економії будівельних матеріалів.

Пасивне використання сонячного світла забезпечує приблизно 15 % потреби обігріву приміщень в стандартній будівлі і є важливим фактором енергозбереження. Системи сонячного теплопостачання практично не вимагають експлуатаційних витрат та ремонту і потребують затрат лише на їх побудову і поточне підтримання елементів системи в справності.

На сьогодні найактуальнішим в Україні є отримання теплової енергії для обігріву помешкань та гарячого водопостачання. Під **«сонячними будинками»** зазвичай розуміють комбінацію сонячного теплопостачання, фотоелектрики, пасивного нагрівання й природного освітлення. Цей підхід можна використати в усіх типах будинків і в будь-яких кліматичних умовах. В умовах північного клімату домінує потреба в опаленні, а при теплому кліматі важливішим є охолодження. Добре сконструйований «сонячний

будинок» може бути практично незалежним від зовнішніх впливів.

1.2.2. Особливості роботи сонячних нагрівальних систем

Нагрівальні сонячні системи поділяються на одноконтурні (прямі) і двоконтурні (непрямі). В **одноконтурних системах** циркулює вода, яка нагрівається безпосередньо в колекторі і поступає у ванну, кухню і т.д. Ця модель відома як розімкнена (або пряма) система.

Особливістю **двоконтурної системи** є використання бака-акумулятора і теплообмінника в якому циркулює незамерзаючий теплоносій – антифриз (зазвичай з вмістом поліпропіленгліколю). Такий теплоносій потрібний для того, щоб сонячна система теплопостачання могла використовуватися цілий рік. Спочатку антифриз, наприклад тосол, нагрівається в колекторі, а потім він нагріває воду через теплообмінник. **Теплообмінником** зазвичай служить система трубок, поміщених у водяний бак, в якому тепло, накопичене колектором, передається воді. Тобто нагрівання води здійснюється за рахунок тепловіддачі від трубок теплообмінника, по яких рухається нагрітий в сонячному колекторі теплоносій.

Розрізняють декілька видів нагрівальних колекторів, в залежності від температури теплоносія:

- **низькотемпературні колектори**, які виробляють низькопотенційне тепло (температура теплоносія нижча ніж 50 °С). Використовуються вони для підігріву води в басейнах та в інших випадках, коли потрібна не дуже гаряча вода;
- **середньотемпературні колектори**, які виробляють високо- і середньопотенційне тепло (температура теплоносія вища ніж 50 °С, в середньому 60 – 80 °С). Це заклені плоскі колектори, в яких теплопередача здійснюється за допомогою рідини, або колектори-концентратори, в яких тепло

концентрується. Представником останніх є колектор трубчастий, що вакуується;

– **високотемпературні колектори**, які виготовляють у вигляді параболічних тарілок і використовують в основному на електрогенеруючих підприємствах для виробництва електроенергії.

1.2.3. Конструкції та особливості роботи геліосистем

На сьогоднішній день розроблені варіанти **сонячних водонагрівачів з колекторами і акумуляторами**. Під час нагрівання вода в колекторі розширюється, підіймається догори по колектору і через трубу надходить у верхню частину бака-акумулятора. У результаті прохолодніша вода біля днища бака витісняється і витікає по трубі в нижню частину колектора де нагрівається сонячним промінням і знову підіймається в бак. Поки світить Сонце, вода постійно циркулюватиме по цьому контуру, все більше нагріваючись.

Трубопроводи, що з'єднують колектор з баком-акумулятором, повинні мати добру теплоізоляцію що дає змогу підтримувати температурний напір між поступаючою (гарячою) і зворотною (охолодженою) водою, щоб не порушувати термосифонний ефект. Здебільшого бак розташовують поруч з колектором для того, щоб звести до мінімуму довжину труб і мати якнайменше характерних місцевих гідравлічних опорів.

Розділювач (дефлектор) всередині колектора забезпечує термосифонну циркуляцію, в результаті якої нагріта вода із колекторного відсіку надходить в термоізований акумуляторний відсік, а холодна вода з dna цього відсіку надходить в колектор. Для забезпечення постійного навантаження на гаряче водопостачання в системі необхідно передбачити встановлення додаткового нагрівача. Роль нагрівача полягає в усуненні різниці температури во-

ди, що надходить із сонячного підігрівача і температури води, що задається споживачем. Якщо сонячний водонагрівач повністю забезпечує потрібну температуру, то додатковий підігрівач не вмикається.

Типовий комплект геліосистеми містить бак-акумулятор, який служить для накопичення та зберігання тепла, електронагрівач, датчик рівня і температури води, магнісвий стержень та вентиляційний патрубок. Баки можуть мати ємність від 80 до 1000 літрів. Використовуються, як правило, двоконтурні баки, у стінках яких є отвори для подачі холодної та відведення гарячої води.

Інколи використовуються одноконтурні баки з вбудованим нагрівником, чи комбіновані, такі що одночасно працюють і на опалення і на гаряче водопостачання. В такому випадку не потрібно ставити два баки на гарячу воду і на опалення окремо (рис. 1.4а,в). Відтак полегшується сам монтаж, зменшується кількість запірно-регулювальної апаратури, насосного обладнання, теплові втрати.

Така система не є повністю незалежною, – для роботи автоматики і насосів, що керують циркуляцією рідини теплообмінника і гарячої води в самій системі водопостачання необхідне постійне джерело електроенергії. Але, за наявності додаткової геліосистеми отримання і акумуляції електроенергії, можна забезпечити і постійне постачання електроенергії.

Нагрітий в колекторі теплоносієм протікаючи по нижньому змійовику бойлера віддає тепло воді (рис. 1.5). Так, бойлер спеціальної конструкції працює акумулятором тепла. В сонячних системах використовується **двоконтурний бойлер**. Це такий бойлер який може одночасно нагрівати воду від двох джерел енергії. Його під'єднують до сонячної системи і газового котла (рис. 1.4б, 1.5). Коли недостатньо сонячного випромінювання і вода в бойлері не може

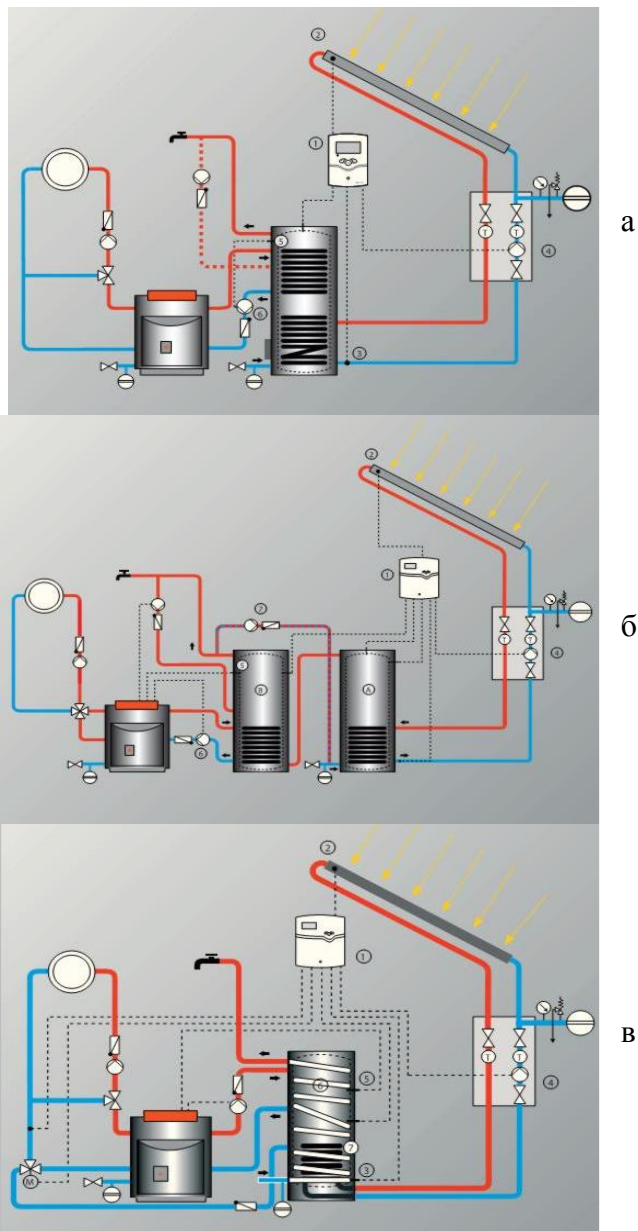


Рис.1.4. Схемні варіанти з'єднань бака-акумулятора

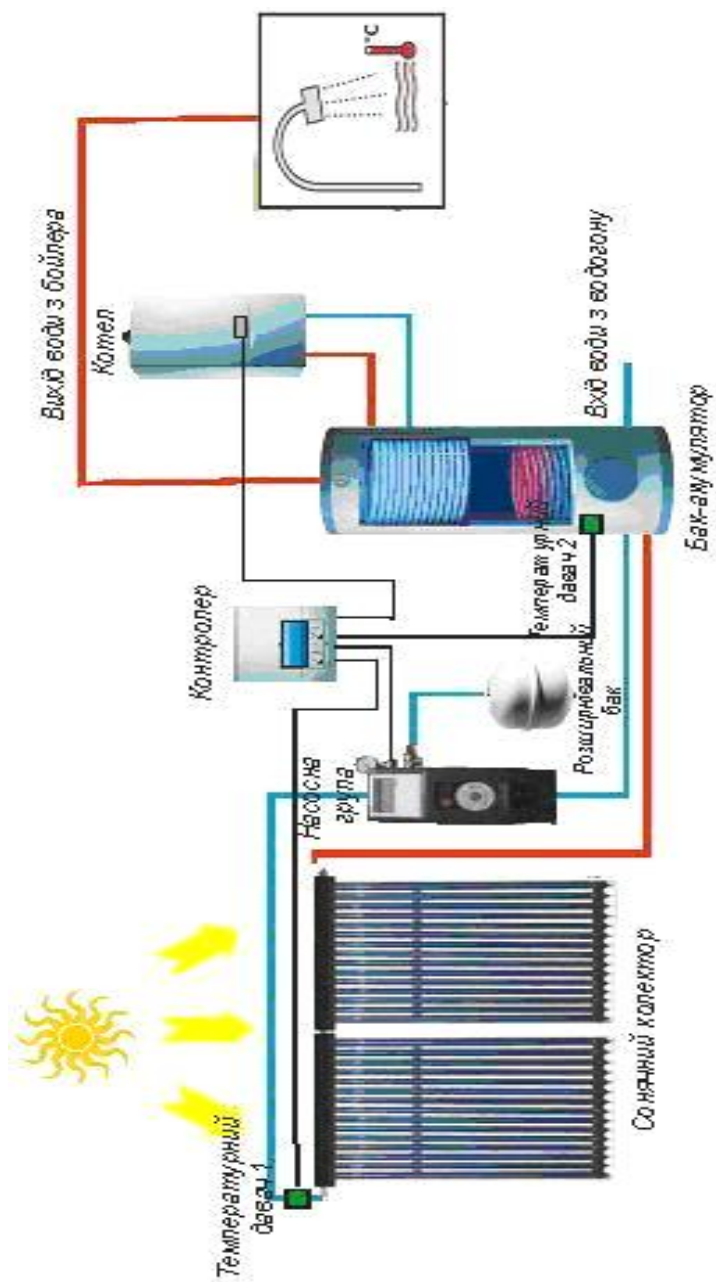


Рис.1.5. Типова схема активної геолісистеми

нагрітись до потрібної температури, тоді вмикається котел і догріває воду через верхній змішувач до заданої температури. Влітку котел вмикається рідко або взагалі не вмикається. Взимку, особливо в похмуру погоду, сонячна система просто не здатна підняти температуру води до 60 °С, але реально нагріє її до 30 – 40 °С, а котел, чи вбудований в бойлер ТЕН, догріє воду до потрібної температури.

Насосна група служить для циркуляції теплоносія в колекторному контурі. Насос керується термостатом і вмикається, як тільки температура сонячного колектора стане вищою ніж в бойлері. Потужність насосної групи залежить від довжини трубчатих магістралей, кількості колекторів та розміру бака-акумулятора, і в середньому складає 50 Вт. Швидкість потоку, необхідна для роботи більшості сонячних систем, не перевищує 2 л/хв, тому достатньо циркуляційного насоса малої потужності. Потужніші циркуляційні насоси потрібні лише у випадку об'єднання декількох геліоколекторів в один контур, чи у випадку, коли геліонасос повинен компенсувати втрати напору теплоносія.

1.2.4. Комп'ютерне управління геліосистемою

Для контролю за станом геліосистеми та процесом нагріву від сонячних колекторів служить **мікропроцесорний контролер**, який отримує інформацію від **теплових сенсорів** (температурних давачів). Перший сенсор контролює температуру на виході з колекторів, другий – температуру води в бойлері. Відповідно до отриманих даних контролер виконує наступні операції: вибирає режим роботи насосної групи, регулюючи швидкість протоку теплоносія, вмикає-вимикає котел, захищає обладнання від перегріву. Таким чином, використання контролера покращує роботу системи, забезпечуючи оптимальну циркуляцію теплоносія як в ясний сонячний день так і в ранковий та вечірній час і в похмурі періоди. Управління геліосистемою здійснюєть-

ся за допомогою мікрокомп'ютера (мікропроцесора) (рис. 1.6).

Цей пристрій здійснює діагностику системи і контроль основних показників. Мікрокомп'ютер автоматично керує наповненням бака водою до заданого рівня (для цього в комплект входить електроклапан), вмикає електропідігрів води (якщо використання води значне, а погода дощова

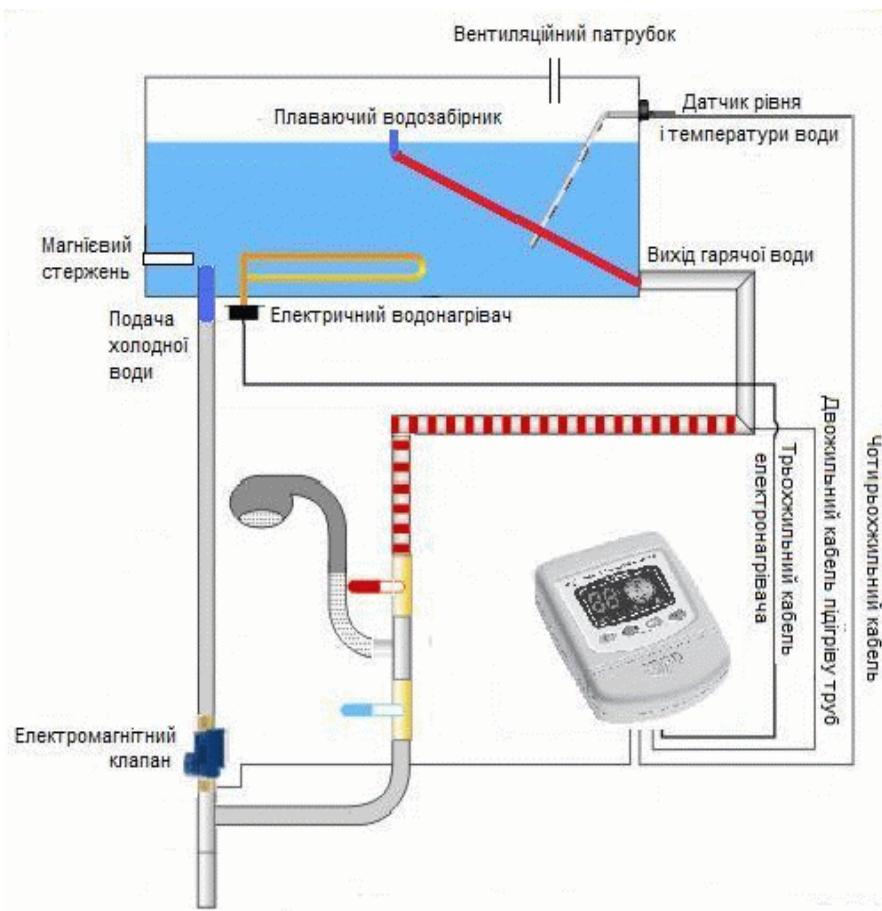


Рис.1.6. Схема комп'ютерного управління водонагрівальною геосистемою

чи похмура і користувач задав необхідну температуру води, зазвичай від 40 до 80 °С), і також в зимовий час вмикає обігрів трубопроводів, що підводять воду до установки, щоб уникнути її замерзання.

На панелі пристрою управління відображається температура і рівень води в баці, а також індикація режимів роботи (ввімкнений електроклапан, тобто йде наповнення бака холодною водою; ввімкнений внутрішній електропідігрів води в баці; ввімкнений обігрів трубопроводів). Можна разом з тим вмикати та вимикати пристрій вручну. Завдяки використанню **плаваючого водозабірника** в баці, гаряча вода відбирається постійно з верхнього шару.

Розширювальний бачок служить для вирівнювання тиску в системі. При надмірному нагріванні теплоносія збільшується об'єм рідини в колекторному контурі. Для того щоб не зривати клапан, надмірна кількість рідини потрапляє в розширювальний бачок.

1.3. Особливості конструкції і принцип дії плоских колекторів

Сонячні колектори за конструктивним рішенням поділяються на плоскі та фокусуєчі.

Плоскі колектори – найпоширеніший вид сонячних колекторів, що застосовуються в побутових водонагрівальних та опалювальних системах і найчастіше використовуються поряд із традиційними видами теплозабезпечення. В індивідуальному та масовому житловому будівництві в умовах України доцільним є використання плоских колекторів різних модифікацій з рідинним теплоносієм завдяки їх економічності, простоті виготовлення та експлуатації, а також доступності в ціні.

Плоскі колектори дозволяють збирати як пряме, так і розсіяне випромінення, а відтак працювати як у сонячну, так і хмарну погоду. У таких колекторах вода може нагрі-

ватися до 95 °С. Основним елементом колектора є **приймач** (поглинаюча поверхня) (рис. 1.7), у якому відбувається нагрівання рідини за рахунок сонячного випромінювання. Промені Сонця, проникаючи крізь скло колектора (проходить близько 80 – 85 % сонячної радіації) потрапляють на чорне дно колектора (**абсорбера**) і в значній мірі поглинаються ним. Скло може бути прозорим або матовим. У плоских колекторах зазвичай використовується матове скло з низьким вмістом заліза (воно пропускає значну частину сонячного світла).

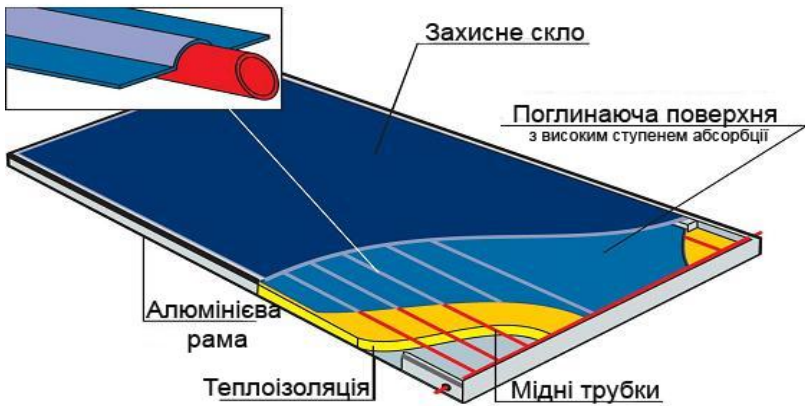


Рис.1.7. Герметичний сонячний водонагрівач – плоский колектор

Нагрітий **абсорбер** починає випромінювати інфрачервоне проміння, яке майже не проникає крізь матове скло назовні, а знизу витoku тепла запобігає шар теплоізолюючого матеріалу. Акумуляоване тепло передається теплоносію – повітряю або рідиною, що циркулює по трубках. Оскільки більшість чорних поверхонь все ж відбиває близько 10 % падаючої радіації, деякі пластини-поглиначі обробляються спеціальним селективним покриттям – **геліолаком** з тонкого шару аморфного напівпровідника, нане-

сеного на металеву основу, який краще утримує поглинуте сонячне тепло і служить довше, ніж звичайна чорна фарба. Селективні покриття відрізняються високою поглинаючою здатністю і низьким коефіцієнтом випромінювання в довгохвильовій інфрачервоній області.

Поглинаючі пластини зазвичай виготовлені з металу, що добре проводить тепло (наприклад міді або алюмінію). Мідь краще проводить тепло і менше схильна до корозії, ніж алюміній. Пластина-поглинач повинна мати високу теплопровідність, щоб з мінімальними втратами передавати воді накопичену енергію (тепло). Сучасні колектори поглинають до 97 % сонячної енергії, а коефіцієнт відбивання у них зменшений до 10 – 14 %, і навіть до 3 – 7 % у дорожчих моделях.

Трубки колектора повинні розташовуватися паралельно одна одній, причому на кожній є вхідний і випускний отвори. Можливе змієподібне розташування трубок, що усуває можливість протікання через сполучні отвори і забезпечує рівномірний потік рідини. Однак, при спусканні рідини для уникнення замерзання, можуть виникнути труднощі, оскільки в зігнутих трубках може місцями залишатися вода. Діаметр трубок колектора приблизно рівний 3 см, відстань між трубками – 20 см, товщина чорної металеві пластини на якій кріпляться трубки – до 3 мм.

1.4. Оцінка ефективності використання геліосистем

Активна система будинку складається з колекторів, насосного блоку, розширювального бака, регулятора, бака-акумулятора і цілого ряду іншого допоміжного устаткування для забезпечення безперебійної роботи в будь-який час року (рис. 1.5, 1.8, 1.9).

Сонячний колектор не може виробляти корисну теплову енергію самостійно, якщо вся система не працює



Рис.1.8. Фрагмент водонагрівної системи будинку

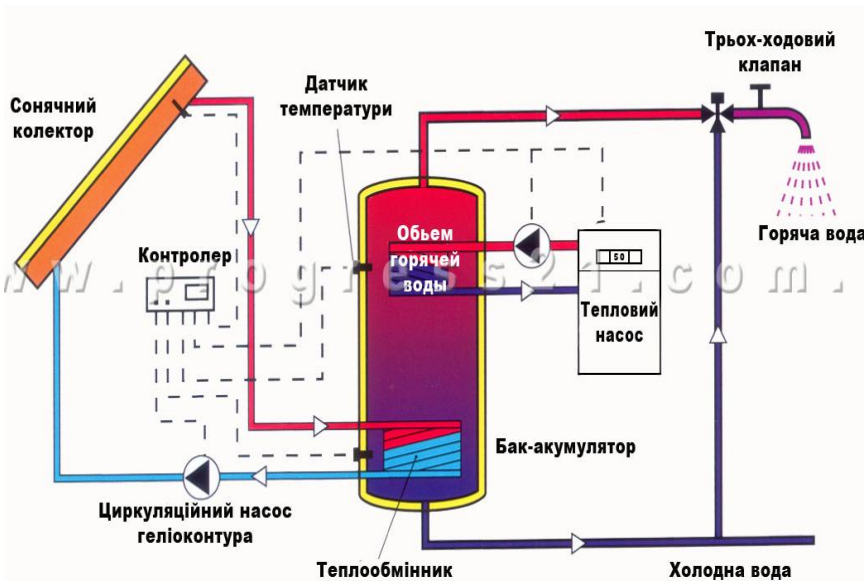


Рис.1.9. Типова схема активної геліосистеми

злагоджено. Існують різні варіанти геліосистем. Теплова енергія, яку вони можуть виробити у визначений день обмежена, і залежить від багатьох факторів: конфігурації системи та її конструктивних особливостей, ступеня ясності дня, температури холодної води, об'єму бака, температури навколишнього повітря та ін.

Через те, що сонячна енергія, яка надходить на земну поверхню нестабільна в часі, колектори майже завжди під'єднуються до акумулятора теплової енергії (бака з водою чи спеціальною рідиною, що накопичує теплову енергію). У середньому в літню пору один квадратний метр теплового колектора дозволяє нагріти об'єм води в 50 літрів до 55 °С при її вхідній температурі 10 – 15 °С.

Усереднені дані сонячності для півночі України наступні: середня кількість сонячних днів за рік – 100, кількість хмарних днів (в такі дні на земну поверхню падає на 40 – 50 % менше сонячної енергії) – 200, а дні, що залишились – дощові, або снігові. При цьому в сонячні дні до поверхні Землі доходить приблизно 1000 Вт·год теплової сонячної енергії на 1 м², а в хмарні дні – 500 – 600 Вт·год. На основі цих даних розрахуємо середню кількість сонячного тепла, що надходить на 1 м² земної поверхні північної України за 1 годину:

$$Q_{\text{ср.дн.}} = [(100 \cdot 1 \text{ кВт}) + (200 \cdot 0,5 \text{ кВт})] / (100 + 200) = 0,67 \text{ кВт}\cdot\text{год.}$$

Середньорічна кількість сумарної сонячної радіації, що поступає на 1 м² поверхні, на території України знаходиться в межах від 1000 кВт·год в північній частині України до 1400 кВт·год в Криму (див. Додаток Б). Тривалість сонячних годин (не сонячної радіації, а прямого сонячного випромінювання) впродовж року в північно-західній частині України складає 1600 – 1700 годин за рік. У лісостеповій зоні вона зростає до 1900 – 2000 годин за рік. У степовій зоні, на морських узбережжях досягає 2300 – 2400

годин за рік. Максимальне сонячне освітлення у Кримських горах – 2453 години за рік (Карабі-Яйла).

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні рівний 1235 кВт·год / м², що відповідає енергоємності приблизно 100 літрів дизельного палива або 100 м³ природного газу. Це достатньо високий показник, зокрема, набагато вищий ніж, наприклад, в Німеччині (1000 кВт·год), чи в Польщі (1080 кВт·год). Отже, ми маємо значний потенціал для ефективнішого використання теплоенергетичного обладнання на території України.

Термін «ефективне використання» означає, що геліоустановка працюватиме з віддачею 60 % і більше, а це 9 місяців в південних областях України (з березня до листопада), і 7 місяців в північних областях (з квітня до жовтня). Взимку ефективність роботи зменшується, але не зникає зовсім. Отже, і в умовах нашого клімату, сонячні системи працюють цілий рік, правда, із змінною ефективністю.

Сучасні **сонячні системи гарячого водопостачання** здатні на 60 – 80 % забезпечити потребу в гарячій воді на широті Києва, а в Криму – і на всі 100 %. Використання таких геліосистем робить нас енергетично незалежним від підвищення цін на газ і електроенергію.

Визначимо скільки тепла ми зможемо отримати за рік від Сонця з 1 м² поверхні сонячного колектора. Коефіцієнт поглинання сонячної енергії для сонячних колекторів знаходиться на рівні 90 %, це означає, що з 0,67 кВт·год. тепла ми реально використаємо 0,6 кВт·год. Світловий день за який ми зможемо максимально використати сонячну радіацію в середньому за рік приймемо 4 години (в розрахунку на максимальний світловий потік). Тобто за день поглинеться:

$$4 \times 0,6 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 2,4 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Це теплова енергія, отримана з 1 м² в середньому за 1 добу. Тоді за рік отримаємо:

$$300 \times 2,4 \text{ кВт} \cdot \text{год} = 720 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Тобто за рік теоретично ми зможемо отримати з 1 м^2 поверхні сонячного колектора $720 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ теплової енергії. Якщо врахувати, що 1 м^3 природного газу має теплотворну здатність $9 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, а вартість 1 м^3 газу складає приблизно 1 грн, то, використовуючи сонячний колектор площею 1 м^2 можна заощадити за рік 80 грн (розрахунок здійснено за середніми значеннями на 1 м^2 площі колектора). При збільшенні площі та при певних конкретних умовах цифри можуть бути набагато більшими. Економічність геліосистем вища, ніж одинарних колекторів, так як замість циркуляційного насоса та бака-акумулятора для одного-двох сонячних колекторів використовується один бак-акумулятор та один циркуляційний насос на 30 – 50 геліоколекторів. Сонячні водонагрівачі витримують гідростатичний тиск, володіють антикорозійною стійкістю та можуть встановлюватися рядами паралельно, за рахунок чого вони застосовуються як для побутових проєктів, так і для значно масштабніших.

Питання про можливість опалення всього будинку за рахунок сонячного колектора потребує визначення площі, яку повинен мати колектор для компенсації всіх тепловтрат будинку. Необхідно також враховувати, що сам колектор не забезпечить опалення будинку, його потрібно комбінувати з тепловим акумулятором та іншим джерелом тепла, так як вночі колектор не працює. Опалення будинку площею 100 м^2 з тепловтратами приблизно $18 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ (стіни з цегли з повітряним прошарком та зовнішнім шаром облицювальної цегли) за добу становить $432 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ тепловтрат. Площа колектора для таких тепловтрат буде становити 180 м^2 , тобто більша за площу самого будинку. Але колектор цілком придатний для гарячого водопостачання. Якщо наявний бойлер ємкістю 200 л ($0,2 \text{ м}^3$) то, нагріваючи цю воду на протязі 3 годин необхідно $3,8 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ тепла підвести до бойлера. Цю потужність цілком забезпе-

чить сонячний колектор площею трохи більшою за 1 м^2 . Економія на гарячій воді буде приблизно 120 грн/рік, а в подальшому можливо збільшити площу колектора та частково компенсувати витрати на опалення. У сонячні зимові дні використання теплових колекторів також економічно доцільно, тому що, навіть у цьому випадку з одного квадратного метра освітленої поверхні можна щодня одержувати 5 – 10 літрів води, нагрітої до $55\text{ }^\circ\text{C}$.

На Україну припадає 100 – 200 сонячних днів в році, в залежності від регіону. Підрахуємо, яку кількість теплоти зможе заощадити геліосистема. Якщо прийняти мінімум: 100 сонячних днів по вісім годин кожний, 200 похмурих днів по п'ять годин кожний (взимку світловий день коротший), та 65 днів з опадами, по п'ять годин кожний (рис.1.10), то всередньому за рік геліосистема виробить таку кількість теплоти:

$$Q = 600(8 \text{ год} \cdot 100 \text{ дн.}) + 300(5 \text{ год} \cdot 200 \text{ дн.}) + 100(4 \text{ год} \cdot 65 \text{ дн.}) = 926000 \text{ Вт} \cdot \text{год.}$$

На протязі року мінімальна геліосистема – 1 колектор ($1,8 \text{ м}^2$ геліополя) і бак-акумулятор на 150 літрів – в середньому зможе виробити 1732 кВт·год теплової енергії. Цього достатньо, щоб забезпечити гарячою водою ($55\text{ }^\circ\text{C}$) сім'ю з 2 осіб.

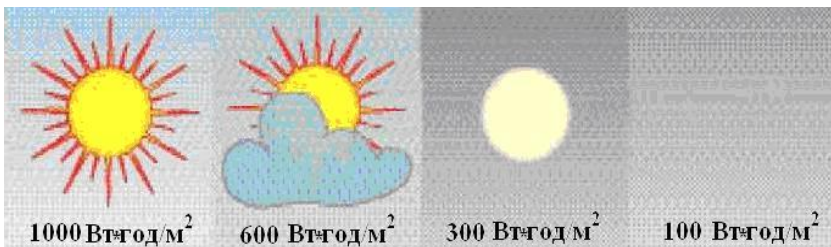


Рис. 1.10. Орієнтовна градація інтенсивності сонячного випромінювання

Ввечері випромінювання складає 100 Вт на 1 м^2 геліополя, що дозволяє підтримувати температуру в бойлері з мінімальними тепловтратами.

Після року використання геліосистеми з таким мінімальним набором параметрів можна зробити висновок, що газу спалюється менше орієнтовно на 10 – 12 %, зменшується кількість циклів ввімкнення-вимкнення котла, що збільшує його ресурс експлуатації, менше працює циркуляційний насос. Приблизний термін окупності геліосистеми складає 10 – 12 років.

Для системи більших розмірів (3 колектори, 300 літровий бак), що монтується в приватній садибі, в якій проживає 4 – 6 осіб, економія становить 18 – 20 %, а термін окупності 6 – 7 років.

Якщо система налічує 8 і більше колекторів та 500 літровий бак, а на території є басейн (особливо відкритий) або сонячна система крім підігріву води працює ще й на підтримку опалення, то економія газу орієнтовно складе 23 – 25 %, а термін окупності – 4 роки. Отже бачимо що, чим більша потреба в гарячій воді та опалені, тим менший термін окупності.

1.5. Комплектація, розміщення та кріплення колекторів

Сонячні колектори можуть бути суміщеними з конструкцією даху, стіни, огороженням балкона, сонцезахисними навісами тощо. Проектування «сонячного будинку» підпорядковане принципу максимального отримання сонячної енергії, її ефективної акумуляції та раціонального використання.

Площа сучасного колектора найчастіше складає 2,5 м², вага – від 30 до 60 кг. Зазвичай колектор встановлюють на даху будинку, під кутом 40 – 50 градусів, або вмонтовують у дах, де він одночасно служить і як покриття. Найкраще місце для встановлення – південні схили даху. Матеріал і конструкція даху будинку не мають суттєвого значення. Сучасні набори кріпильної і встановлюючої

арматури дозволяють швидко і просто встановити апаратуру і не порушити зовнішній вигляд будівлі. Відомо три основних способи розміщення сонячних колекторів (рис.1.11).



Рис.1.11. Основні способи розміщення колекторів

Перший спосіб полягає в розташуванні сонячних колекторів на існуючих зовнішніх конструкціях будинку (дахи, стіни, тераси, балкони, лоджії).

Другий спосіб полягає у влаштуванні сонячних колекторів на прибудові до будинку, наприклад, на ганку чи гаражі.

Третій спосіб полягає у будівництві споруд для розташування сонячних колекторів окремо від будинку. Це може бути допоміжна будова (хлів, гараж, стодола або спеціально збудована опора для сонячних колекторів).

Використання існуючих будівельних конструкцій може бути причиною неефективного використання геліосистеми, оскільки, орієнтація і кут нахилу колекторів можуть бути неоптимальними.

Головним недоліком окремої конструкції є висока вартість її будівництва, особливо, коли вона призначена винятково для влаштування колектора. Загальний ККД системи з окремо влаштованими колекторами є меншим, ніж у системі, де колектор влаштований на даху, або прикріп-

лений до стіни, через те, що у трубопроводах або повітропроводах, що поєднують сонячний колектор і будинок, відбуватимуться втрати тепла. Тому колектор потрібно розташовувати як можна ближче до будинку.

Перевагою окремо влаштуваного колектора є те, що його розміри можуть бути набагато більшими ніж колектора, що встановлений на будинку. Окремо влаштована конструкція дає можливість створити колектор, який «слідкує» за Сонцем, тобто змінює свою орієнтацію і кут нахилу. Цю конструкцію можна повертати вручну або автоматично за рухом Сонця.

Кут нахилу – це кут між горизонталлю і площиною колектора (рис.1.12). При встановленні на похилому даху кут нахилу задається нахилом покрівлі. Найбільша кількість енергії сприймається панеллю колектора при розташуванні його площини під прямим кутом до напрямку **інсоляції** (падіння сонячних променів). Оскільки кут інсоляції залежить від часу доби і пори року, орієнтацію площини колектора слід виконувати відповідно до висоти Сонця в період надходження найбільшої кількості сонячної енергії. На практиці ідеальними для нашої широти є кути нахилу від 30 до 45 градусів.

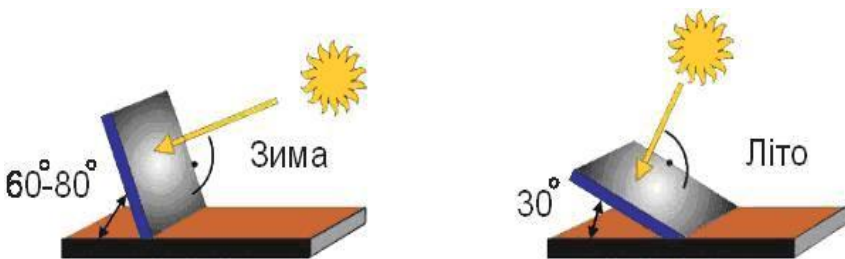


Рис.1. 12. Оптимальний кут нахилу колектора в різні пори року

Азимут описує відхилення нормалі до площини колектора від напрямку на південь; якщо площина колектора

орієнтована на південь, то азимут прямує до нуля. Для нашої широти прийнятні відхилення від напрямку на південь до 45 градусів, при цьому слід мінімізувати вплив тіней сусідніх будівель, дерев, ліній електропередач тощо.

Підтримуюча конструкція для сонячних колекторів забезпечує правильний кут нахилу, азимут, а також необхідну жорсткість конструкції. Комбінація підтримуючої конструкції з сонячними модулями повинна витримувати пориви вітру та інші несприятливі впливи навколишнього середовища.

Можливі наступні **варіанти монтажу колектора**:

- похилий (на даху з будь-яким кутом нахилу ската);
- горизонтальний (на плоскому даху);
- вільно стоячий сонячний колектор з опорною підтримуючою конструкцією.

Потенційним способом зниження вартості колекторів є їх інтеграція в стіни або дахи будівель, а також створення колекторів, які можна буде формувати з готових збірних компонентів.

Сонячні колектори слід розташовувати з південної сторони будівлі. Якщо немає можливості такого розташування то проводиться розрахунок відповідно до розташування на південь і множить на коефіцієнт відхилення. В результаті отримуємо збільшену площу геліополя. Розташовувати системи, без значного зниження ефективності роботи, допускається з відхиленням від півдня (азимутом) не більше 60 градусів.

Можливий також каскадний варіант монтажу системи, при якому за браком площі даху одна частина колекторів розташовується на південній частині, а друга – на західній чи східній. При цьому забезпечується рівномірний розподіл ваги системи по всій конструкції даху.

Монтаж колекторів проводиться, як правило, під тим кутом який має наявний дах. Тобто вони монтуються паралельно покрівлі, а якщо необхідно то з деякими коректуваннями кута нахилу. Оптимальний кут нахилу колекто-

ра відносно земної поверхні рівний широті місцевості і для України складає приблизно 45 градусів. При такому розташуванні геліосистема однаково ефективно працює і зимою і літом. Якщо кут нахилу збільшувати до 80 градусів, то це буде підвищувати ефективність системи у зимовий період (рис. 1.12, 1.13). Кількість енергії, яку сприйме трубка колектора, залежить від кута падіння сонячних променів. Оптимальним є прямий кут падіння. Якщо сонячне світло буде падати на скляну поверхню під кутом менше ніж 30 градусів, то значна його кількість буде відбиватися. Взимку Сонце опускається в зеніті в порівнянні з літньою порою (рис. 1.13), і кут падіння сонячних променів зменшується. Ось чому важливо розміщувати колектор з кутом нахилу не меншим за 80 градусів якщо ми хочемо підвищення ефективності роботи системи в зимовий період.

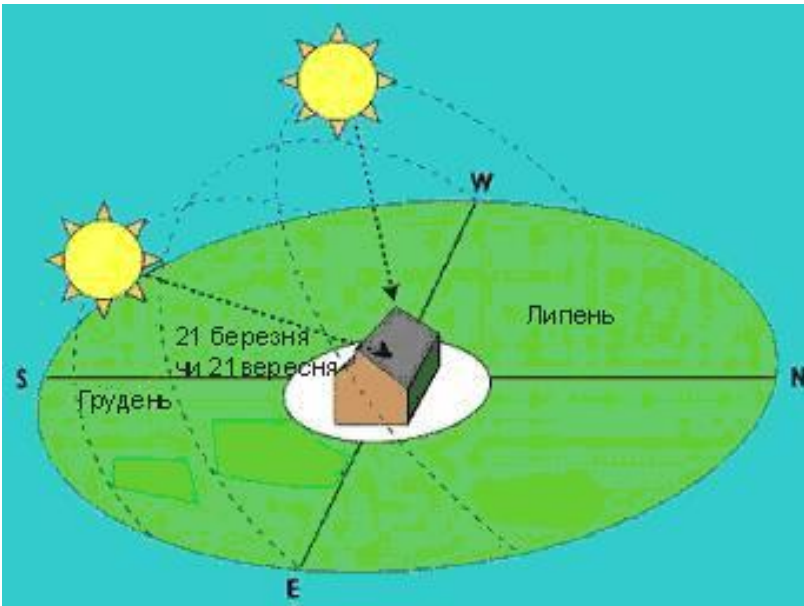


Рис.1.13. Розташування Сонця в залежності від пори року

1.6. Особливості підбору і розрахунку елементів геліосистеми

Для сонячних колекторів з селективним абсорбером існують **стандартні правила підбору** параметрів:

1. Нормативне споживання гарячої води складає в середньому 50 літрів в добу на особу.

2. 1 м² колектора може нагрівати до 80 літрів води на протязі дня.

3. Бойлер повинен вмщати 50 – 70 літрів води на 1 м² колектора або 80 літрів на людину.

Якщо дотримуватись цих правил, типовий сонячний колектор зможе забезпечити 60 – 70 % річного споживання гарячої води.

Потреби в гарячій воді визначають за рівнянням:

$$Q = m \cdot t \cdot C,$$

де Q – кількість тепла на потреби гарячого водопостачання, Вт; m – кількість гарячої води необхідна споживачеві, м³/год; t – різниця температур гарячої та холодної води, °С; C – теплоємність води, рівна 1,163 Вт·год/м³·град.

Приклад 1. Маємо житловий будинок в якому проживає 5 осіб і в якому є пральна машина що споживає теплу воду. Орієнтовно середній розхід теплої води з температурою 55 °С – 40 л на людину. При цьому температуру вхідної води необхідно збільшити на 40 °С:

$$t = t_2 - t_1 = 55 \text{ °С} - 15 \text{ °С} = 40 \text{ °С},$$

де t_1 – температур води що поступає з водогону в домашню систему, t_2 – температура споживання води.

Загальний розхід теплої води в добу становитиме:

$$m = L \cdot R + n \cdot S = 5 \cdot 40 + 1 \cdot 20 = 220 \text{ літрів},$$

де L – кількість осіб в будинку, R – середній розхід теплої води на особу; n – кількість другорядних споживачів.

чів теплої води (пралка, посудомийка, насос для миття автомашини тощо), S – розхід води на другорядних споживачів.

Необхідна кількість тепла на добу буде рівною:

$$Q = 220 \cdot 40 \cdot 1,163 = 10,234 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}.$$

При перерахунку на 365 днів, щорічне навантаження котла для потреб в приготуванні гарячої води складатиме 3735,41 кВт·год/рік. Для того щоб компенсувати таку кількість енергії, можна використати сонячну систему з 300-літровим бойлером та колектором загальною площею геліополя 4,31 м²:

$$S = (Q_1 + Q_2) / Q_3, \text{ тобто}$$

$$S = (3735,41 + 460) \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{рік} / 926,5 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 = 4,31 \text{ м}^2,$$

де, Q_1 – навантаження котла за рік, Q_2 – втрати тепла циркуляційною лінією, Q_3 – кількість тепла з 1 м² колектора.

Приклад 2. В сонячному колекторі довжина циркуляційної лінії становить 15 метрів; час роботи циркуляційного насоса за таймером – 8 годин; втрати тепла в циркуляційній лінії – 10 Вт/м погонний; втрати тепла від рушнікосушки, встановленої в системі ГВП – 60 Вт·год. Розрахувати загальні втрати тепла.

$$Q = 15 \text{ м} \times 8 \text{ г} \times 10 \text{ Вт} / \text{м п.} + 60 \text{ Вт} \cdot \text{год} = 1,26 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{день}.$$

При перерахунку на 365 днів, втрати тепла в циркуляційній лінії складуть 460 кВт·год/рік.

1.7. Оцінка ефективності сонячного колектора

Чим більше сонячної енергії поглине геліоколектор, і чим менше він її втратить, тим ефективніше буде працювати система. Тому усі принципи конструювання сонячних колекторів зводяться до забезпечення максимального поглинання сонячної енергії і мінімальних теплових втрат. Максимальне поглинання сонячної енергії здійснюється у

відкритих колекторах (без скла), а мінімальні теплові втрати спостерігаються у вакуумних колекторах. На практиці сучасний ефективний плоский геліоколектор працює із середнім ККД рівним 50 %. Значення ККД сонячного колектора нестабільне і може визначатися тільки для конкретних умов експлуатації у визначений момент часу. Чим нижча температура, до якої потрібно нагріти теплоносії, тим вищий ККД геліоколектора.

Так як на території України, в значній мірі, сонячне випромінювання складається з розсіяного (на 40 – 60 % в середньому за рік), то доцільніше використовувати сонячні колектори з високоселективним покриттям поглинаючої панелі. Застосування ефективнішого поглинаючого покриття (високоселективного) у хмарну погоду може збільшити ефективність сонячних колекторів на 45 %.

Геліоколектор практично ніколи не працює з максимальним ККД тому, що в цьому випадку температура, до якої потрібно нагріти теплоносії, повинна бути не вище температури навколишнього повітря. ККД сонячного колектора (без урахування нелінійностей), за яким можна визначити різницю в ефективності будь-яких колекторів, у кожен конкретний момент визначають за формулами:

$$n = n_0 - K \cdot T / E, \quad n_0 = a \cdot t \cdot F_r,$$

де n – ККД колектора, n_0 – початковий ККД, a – коефіцієнт поглинання поглинаючого покриття, t – коефіцієнт транспорентності (прозорості) прозорої ізоляції, наприклад, скла, F_r – коефіцієнт ефективності поглинаючої панелі, K – добуток загального коефіцієнта теплових втрат колектора і коефіцієнта ефективності поглинаючої панелі при нульовій швидкості вітру, $Вт / (м^2 \cdot \text{град})$, T – різниця між середньою температурою теплоносія в колекторі та температурою навколишнього середовища, $^{\circ}\text{C}$, E – потужність сонячного випромінювання, $Вт/м^2$.

Використовуючи енергію Сонця, геліосистеми заощаджують до 75 % традиційного палива, яке необхідне для нагрівання гарячої води, і до 50 % палива необхідного для цілей опалення. Помилка в розрахунках чи конструюванні може призвести до того, що система не буде виробляти бажану кількість теплової енергії чи взагалі швидко вийде з ладу. Схеми втрат, які мають місце в плоскому колекторі, представлені на рисунках 1.14 – 1.17.

На рис. 1.16 зображено баланс втрат сонячної енергії в геліоколекторі площею 1 м^2 (умовне вироблення теплової енергії для нагрівання води в сонячний день геліосистемою, що складається з 1 м^2 ефективного геліоколектора і бака з гарячою водою на 80 – 100 л.).

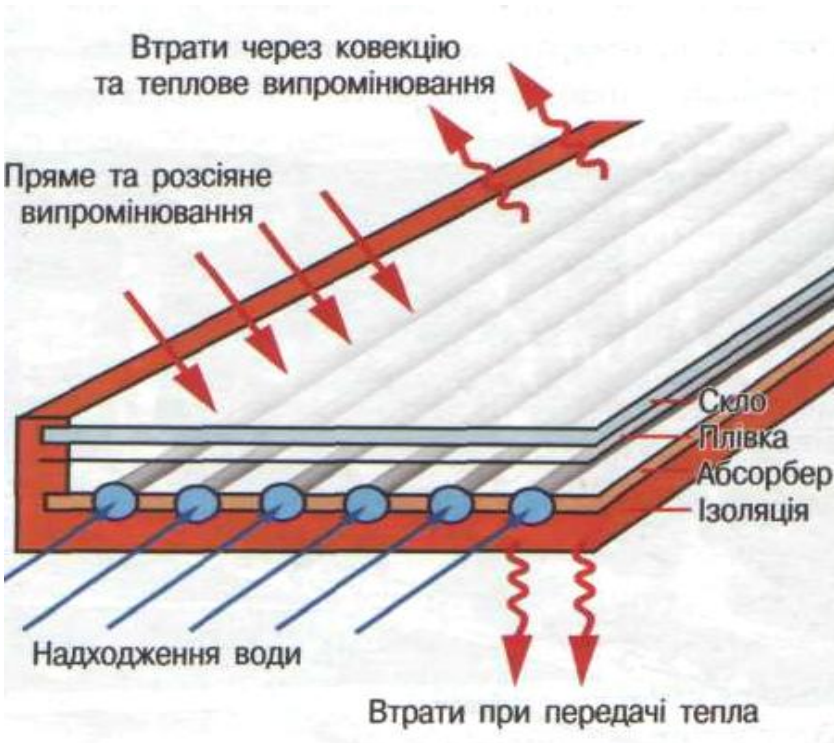


Рис.1.14. Схема плоского колектора із вказанням втрат

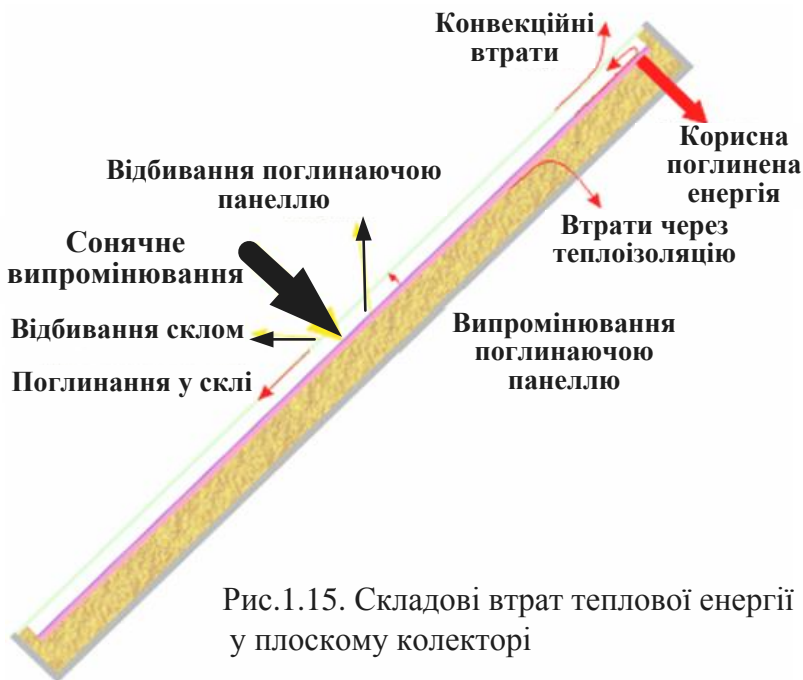


Рис.1.15. Складові втрат теплової енергії у плоскому колекторі



Рис.1.16. Баланс втрат енергії в геліосистемі

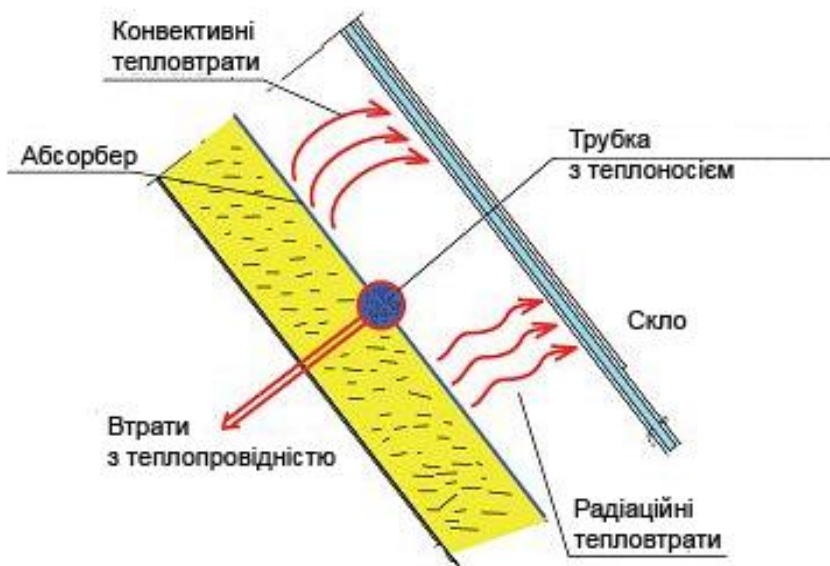
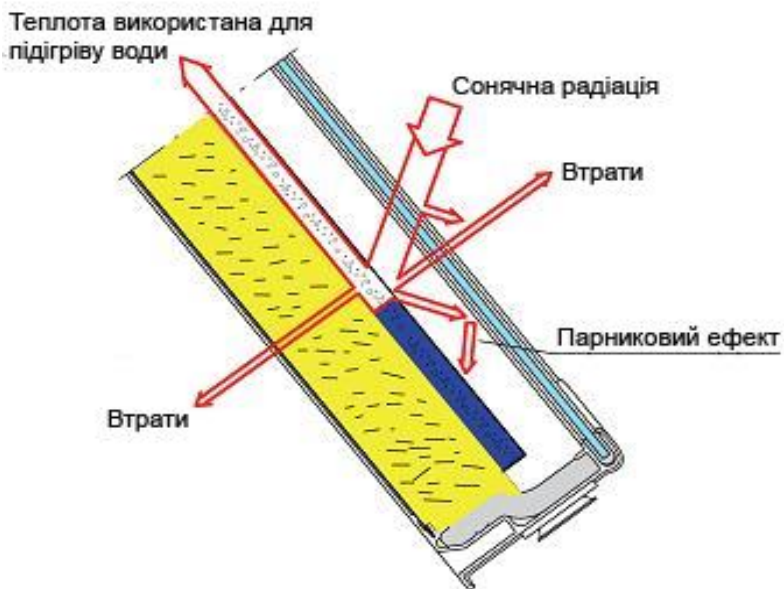


Рис.1.17. Теплота підігріву і втрати в плоскому колекторі

Для характеристики сонячного випромінювання і взаємодії його з речовиною використовуються наступні основні величини:

- **потік випромінювання** – енергія, що випромінюється електромагнітними хвилями за одну секунду через одиницю поверхні [$\text{Дж/с} = \text{Вт}$];

- **щільність потоку випромінювання** (енергетична освітленість) – відношення потоку випромінювання до площі поверхні, що опромінюється [Вт/м^2];

Для оцінки ефективності поглинаючих покриттів застосовуються наступні показники:

- **коефіцієнт поглинання (абсорбації)** – представляє собою відношення поглиненої енергії до падаючої на цю поверхню в тому ж спектральному інтервалі. Для поглинаючих поверхонь колекторів його значення знаходиться в межах 0,8 – 0,98.

- **коефіцієнт випромінювання (емісії)** – відношення випромінюваної енергії до поглиненої, набуває значення у межах 0,95 – 0,02 для різних типів покриттів;

- **коефіцієнт селективності**, застосовується для порівняння характеристик різних видів поглинаючих поверхонь. Чим вище значення цього коефіцієнта, тим кращими характеристиками володіє поглинаюча поверхня.

Сучасні високоселективні покриття мають дуже високі значення коефіцієнта селективності, значно підвищуючи тим самим ККД сонячних колекторів. Лише колектори оснащені покриттями такого типу можуть ефективно працювати в холодний період року внаслідок набагато меншої залежності ККД від різниці температур.

1.8. Вакуумні трубчасті сонячні колектори

Вакуумні колектори використовуються там, де потрібна вода вищої температури. Кількість трубок змінюють в залежності від потреби у гарячій воді. У них для теплоі-

золяції між скляними трубками, замість повітря створюють вакуум. Завдяки цьому знижуються втрати теплоти, а також захищається поглинач і тепловідвідні трубки від несприятливих зовнішніх дій. Геліосистеми з використанням високоефективних вакуумних сонячних трубок здатні працювати цілий рік на відміну від звичайних плоских геліоколекторів.

Вакуумна тепла трубка виготовляється зі спеціального зміцненого боросилікатного скла. Зовнішня труба такого колектора є прозорою, а внутрішня – покрита високоякісним селективним покриттям, яке забезпечує максимальне поглинання сонячного тепла при мінімальному рівні рефлексії, тобто мінімальному рівні відбиття сонячних променів назад у атмосферу. Для уникнення теплових втрат між зовнішньою та внутрішньою трубками передбачено вакуум. З метою підтримання вакууму, застосовують барієвий газопоглинач, який попередньо у виробничих умовах підлягає впливу високих температур. Через це нижній край вакуумного термосу покривається шаром чистого барію, який поглинає молекули CO, CO₂, N₂, O₂, H₂O та H₂, що можуть виділятися з труби в процесі зберігання та експлуатації. Цей шар є добрим візуальним детектором стану вакууму в трубі геліоколектора. Коли вакуум порушується, барієвий шар зі сріблястого робиться білим. Такий індикаторний механізм дає можливість легко визначити, чи ціла труба в вакуумному сонячному колекторі, а чи має тріщину. Абсорбування сонячного тепла проходить у мідній трубці, яка розташована всередині вакуумної труби (рис. 1.18).

Передача тепла від мідної трубки до головного теплопроводу сонячного колектора відбувається наступним чином. Мідна труба є порожнистою і містить всередині неорганічну, нетоксичну рідину. При нагріванні ця рідина закипає і починає випаровуватися. Це відбувається навіть при мінусових температурах, оскільки в трубці створено

вакуум. Нагріта пара піднімається до верхнього наконечника (конденсатора) теплової трубки, де передає тепло теплоносію (антифризу), що циркулює в трубці теплопровода. Потім пара конденсується, стікає вниз і процес починається знову.

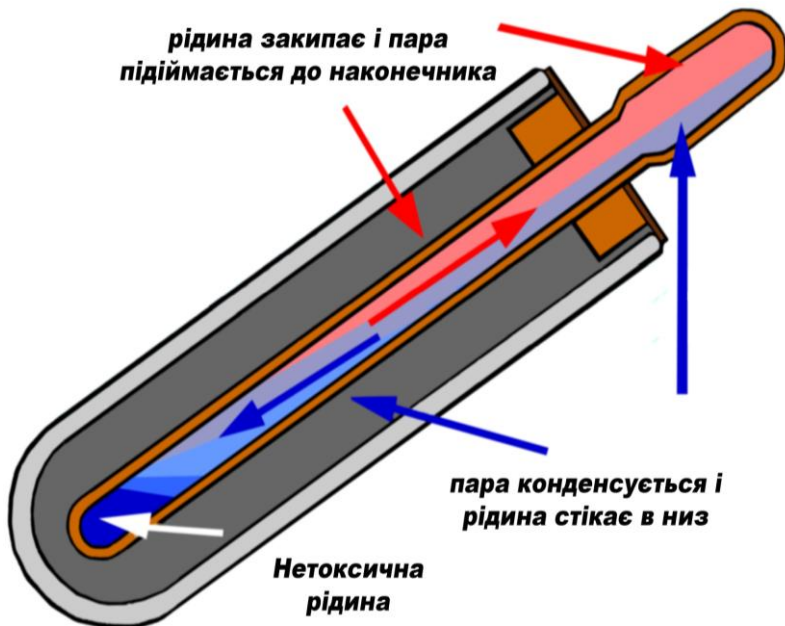


Рис.1.18. Вакуумна трубка сонячного колектора

Сонячний водонагрівач з вакуумними трубами показує задовільні результати навіть у хмарні дні, тому що труби сонячного колектора здатні поглинати енергію інфрачервоних променів, які проходять через хмари. Завдяки ізоляційним властивостям вакууму вплив вітру та низьких температур на роботу вакуумних трубчатих геліоколекторів нівелюється у порівнянні з плоскими геліоколекторами.

Збір тепла відбувається за рахунок нагрівання внутрішньої стінки сонячної вакуумної трубки, а нагрівання

внутрішньої стінки трубки забезпечується нанесенням на неї багат шарового високоселективного покриття, що поглинає до 98 % сонячної енергії. Внутрішня частина труби може нагріватися до 230 °С. Вакуум запобігає зворотньому випромінюванню тепла, підвищуючи ККД. Вакуумний колектор комплектується 10 – 30 вакуумними трубками, що розташовуються паралельно одна одній. При використанні вакуумного сонячного колектора необхідно враховувати, що одна вакуумна трубка нагріває 10 л води.

Як правило, колектори комплектуються модулем з 10 – 15 – 20 вакуумних трубок. В залежності від довжини трубопроводу, кількості і типу модулів сонячних колекторів, а також типу бойлера розраховується кількість рідини теплообмінника (розчину антифризу – пропіленгліколю). Ємкість розширювального баку має бути приблизно рівною кількості рідини теплообмінника, залитого в систему.

1.9. Комплектація та експлуатація типових геліосистем

З врахуванням даних наведених у попередніх підрозділах представляємо **монтажний комплект типової геліосистеми:**

- трубопровід визначеної довжини;
- бойлер об'ємом 240 – 360 л;
- бівалентний (двоконтурний) бойлер-накопичувач води (у випадку використання резервного джерела нагріву – газового чи твердопаливного котла) або одноконтурний бойлер при застосуванні виключно сонячної енергії;
- 2 модулі плоских сонячних колекторів (загальною площею 4,6 м², або 2 модулі вакуумного сонячного колектора на 15 трубок (мінімально – один модуль на 20 вакуумних трубок);
- насосна станція;

– блок керування з датчиками температури (один датчик встановлюється на виході колектора, у верхній його точці, другий – в бойлері);

– комплект для видалення повітря в системі циркуляції теплоносія (один, або два – в залежності від типу насосної станції);

– близько 16 – 20 літрів теплоносія;

– розширювальний бак на 20 л для компенсації теплового розширення теплоносія;

– ручний насос для заповнення теплоносієм.

Більшість європейських постачальників, представлених на ринку термообладнання України пропонують так звані «**пакетні пропозиції**», до складу яких входить вищеперераховане обладнання за виключенням трубок для магістралі трубопроводу теплоносія.

Типова геліосистема із таким мінімальним монтажним набором дозволяє зекономити до 20 % газу і володіє іншими перевагами, описаними в п.1.4 с. 28. Приблизний термін окупності таких систем – 6 – 7 років.

Теплова сонячна нагрівальна система для невеликого будинку може складатися з 2 – 4 колекторів і бака-акумулятора від 300 до 700 літрів. Мінімальна площа для встановлення бака-акумулятора – 360 см², причому його конфігурація може бути різною, зокрема виготовленою спеціально для вузьких приміщень.

Розрахунок сонячної установки для сім'ї із 4-х осіб

Нехай температура вхідної холодної води рівна $t_{\text{вх}} = 10$ °С, а необхідна температура гарячої води – $t_{\text{вих}} = 45$ °С.

1. Враховуючи, що питома теплоємність води рівна $C = 1,16 \cdot 10^{-3}$ кВт·год/кг·град., а потреба однієї особи в гарячій воді становить 50 л / день, визначаємо витрату теплоти за один день (див. п. 1.6):

$$Q = m \cdot C \cdot (t_{\text{вих}} - t_{\text{вх}}) = 4 \cdot 50 \cdot 1,16 \cdot 10^{-3} \cdot (45 - 10) = 8,12 \text{ (кВт} \cdot \text{год/день)}.$$

2. Для даного випадку площа абсорбера визначається наступним чином:

$$A = Q / Q_s \cdot \eta,$$

де Q_s – середнє значення доступної сонячної енергії (для літнього періоду – 3,5 кВт·год / м² в день); $\eta = 0,5$ – середній ККД сонячної установки. З врахуванням цих даних отримаємо:

$$A = 8,12 / 3,5 \cdot 0,5 = 4,64 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Отримана площа – це робоча поверхня абсорберів. Робоча площа середнього колектора найчастіше рівна 1,76 м². З цього випливає, що для даних потреб необхідно 3 колектори на літній період.

Для зимового періоду значення Q_s зменшується: $Q_s = 2,5$ кВт·год / м² в день і, відповідно, збільшується площа абсорбера:

$$A = 8,12 / 2,5 \cdot 0,5 = 6,5 \text{ (м}^2\text{)}.$$

Таким чином для гарячого водопостачання сім'ї з 4 осіб для літнього періоду потрібно 3 колектори, а для зимового – 4.

Розділ 2. Фотоелектричні перетворювачі сонячної енергії

2.1. Загальні поняття про роботу фотоелементів

Сонячні елементи (фотоелементи) представляють собою фотоелектричні пристрої, які здатні перетворювати частину сонячного випромінювання (електромагнітного) в електричну енергію. Кілька об'єднаних разом фотоелементів (фотоелектричних перетворювачів) утворюють **сонячну батарею**, яка здатна генерувати електричну напругу і струм для практичного використання.

В основі роботи сонячного елемента, тобто в основі прямого перетворення світлової енергії в електричну лежить **явище фотоелефекту**. Принцип дії сучасних фотоелементів базується на функціонуванні **напівпровідникового n - p -переходу** (гетеропереходу). Нагадаємо, що n - p -перехід (електронно-дірковий перехід) – це, як правило, дво- або багатощарова тонкоплівкова напівпровідникова структура, в якій відбувається просторова зміна типу провідності від електронної n до діркової p , тобто в області з n -провідністю існує надлишок валентних електронів, а в області з p -провідністю – їх нестача. На межі розділу даних областей існує зона запираючого шару з певним потенціальним бар'єром (різницею потенціалів). Ця зона протидіє своїми електричними полями переходу надлишкових електронів з шару n у шар p , в якому даних електронів не вистачає (місця з відсутніми електронами називають дірками) (рис. 2.1 – 2.3).

При поглинанні фотона в області, яка прилягає до n - p -переходу, утворюється пара носіїв заряду: електрон і дірка. Під дією електричного поля переходу (запираючого шару) відбувається розділення фотогенерованих різномісцевих зарядів без подальшої рекомбінації. Як наслідок порушується рівновага густини зарядів, тобто створюється

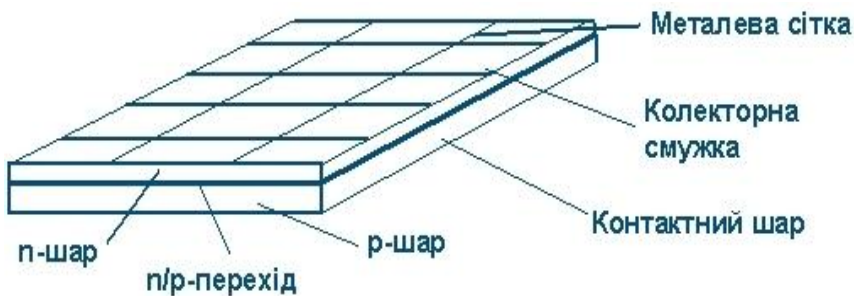


Рис. 2.1. Схема кремнієвого елемента

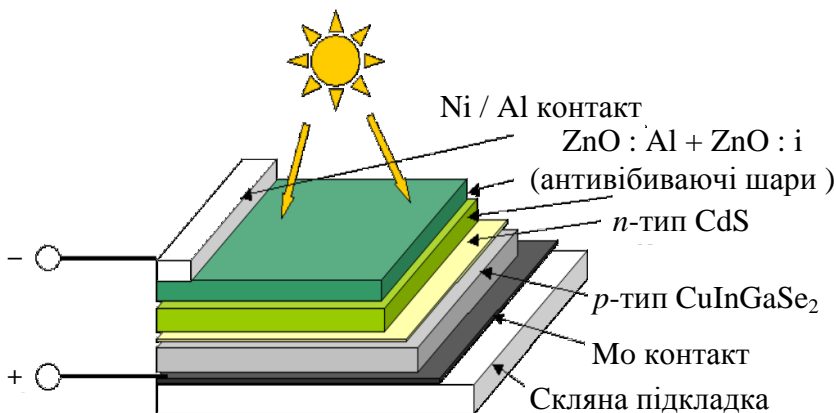


Рис. 2.2. Типова структура тонкоплівкового сонячного елемента на основі гетеропереходу $n\text{-CdS} / p\text{-CuInGaSe}_2$

різниця потенціалів і при під'єднанні даного елемента до зовнішнього навантаження у колі протікатиме струм.

Найчастіше сонячні елементи виготовляють на основі кремнію (кремнієвих структур). Сонячне світло (фотони), опромінюючи такі структури, викликає порушення рівноваги $n\text{-}p$ -переходу і спричиняє генерування в системі фотоелектрорушійної сили. В результаті цього утворюється

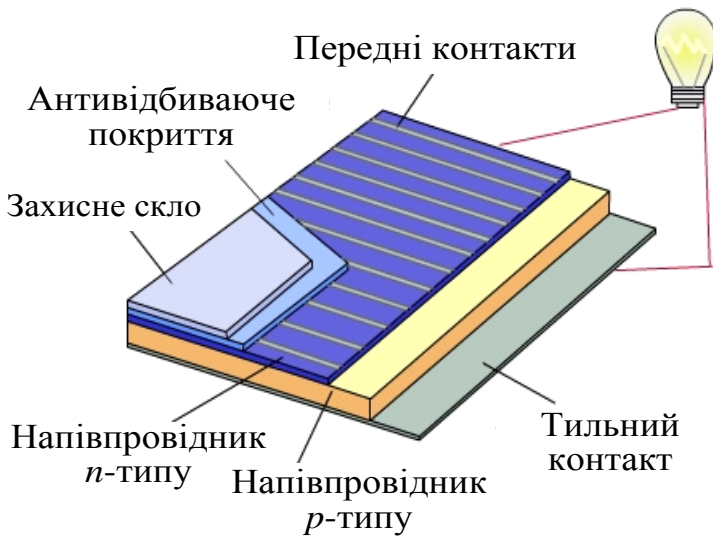


Рис. 2.3. Принцип роботи сонячної батареї

різниця потенціалів між двома областями, як правило, близько 0,5 В. Сила фотогенерованого електричного струму в сонячному елементі пропорційна кількості захоплених поверхнею фотоелемента фотонів. Цей показник, у свою чергу, також буде залежати від багатьох чинників – інтенсивності світлового випромінювання, площі фотоелемента, часу експлуатації, ККД пристрою, що залежить від температури (при її підвищенні електропровідність фотоелемента значно падає) та ін. Будову найпростішого **кремнієвого фотоелемента** показано на рис. 2.1. Найближчими до сонячних фотоелементів електронними пристроями є транзистори, світлодіоди, твердотільні лазери та інші елементи і вузли електронної техніки.

Виходячи з особливостей будови і функціонування **сонячних батарей** можна стверджувати, що на даному етапі розвитку техніки вони не здатні генерувати значні потужності (займаючи при цьому малі площі для своєї роботи), не можуть працювати в безперервному режимі (че-

рез природні зміни дня і ночі), потребують додаткових пристроїв (стабілізаторів, акумуляторів) для підтримування необхідних і постійних значень (стабілізації) основних параметрів – сили струму і напруги. Але на роль додаткового джерела електроенергії вони придатні. Особливо в тих місцях, де потрібні невеликі потужності і немає можливості під'єднатися до електромережі. При об'єднанні роботи сонячного елемента і електричного акумулятора, виходить повністю автономна система електропостачання, яку можна використовувати в регіонах з високою освітленістю і потребами в малих електричних потужностях.

Ефективність сучасних фотоелементів досить низька – в середньому 10 – 15 %. І хоча на сьогоднішній день досягнуто рекордної ефективності 43 % (Університет Південного Уельсу), однак цей рекорд встановлено в лабораторних умовах, при яких світло перед попаданням на сонячну батарею фокусується спеціальними лінзами. Крім того собівартість таких батарей суттєво перевищує значення, які дозволили б виготовляти їх в промислових масштабах. Рекордні значення ККД реальних промислових сонячних батарей складають приблизно 25 %.

Сонячні елементи відрізняються між собою передусім тим, яку частку сонячного випромінювання вони можуть перетворити на електричну енергію. Зрозуміло, ефективність роботи елементів буде залежати від того, на якій географічній широті вони перебувають, а також під яким кутом на них падають сонячні промені. Але при всіх вказаних застереженнях виробництво електроенергії за рахунок використання сонячних батарей є одним із найвигідніших і найбезпечніших способів.

Стандартними умовами для паспортизації сонячних батарей в усьому світі вважається освітленість 1000 Вт/м^2 при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$ джерела АМ 1,5, спектральний діапазон якого наближений до сонячного спектру на географічній широті 45 градусів.

Вартість сонячних батарей швидко зменшується (у 1970 р. 1 кВт·год електроенергії, виробленої з їхньою допомогою коштувала \$ 60, у 1980 р. – \$ 1, а у 2010 р. – \$ 0,2...0,3). Завдяки цьому попит на сонячні батареї щорічно зростає на 30 %, а обсяг їхнього продажу (за потужністю) перевищує 5 ГВт. В табл. 1 представлені найбільші в світі виробники фотоелементів.

Таблиця 1.

Найбільші виробники фотоелементів (2010 р.)

№ з/п	Фірма-виробник	Потужність, мВт
1.	First Solar	1100
2.	Suntech	704
3.	Sharp	595
4.	Q-Cells	586
5.	Yingli	525
6.	JA Solar	520
7.	Kyocera	400
8.	Trina Solar	399
9.	SunPower	397
10.	Gintech	368

Технологічним підґрунтям для нових сучасних сонячних батарей слугують тонкоплівкові фотоелементи, в яких електроенергію генерує не кремній, а тонкі шари інших напівпровідників. Ефективність **некремнієвих сонячних елементів**, як правило нижча, але їхня собівартість також нижча і вони можуть бути різної форми, виду, розмірів (тонкі скляні пластини, гнучкі елементи, фольга). Їх можна розміщувати на поверхнях будь-якого профілю і навіть використовувати замість жалюзів. Крім того змінюється і здешевлюється технологія виробництва, що дозво-

литель зменшити вартість вата потужності до \$ 1, що дешевше навіть від атомної електроенергії.

Серед переваг сонячної електроенергетики, в першу чергу, можна відзначити той факт, що сонячні батареї і системи упродовж всього терміну експлуатації генерують значно більше енергії, ніж витрачається при їх виробництві.

Основні потужності (більше 60 %, а за деякими оцінками навіть більше 80 %), з виробництва кремнію для електронної техніки у колишньому СРСР були і залишаються в Україні, правда відсоток їх завантаження на сьогоднішній день незначний. Це такі підприємства як Донецький хіміко-металургійний завод, Запорізькі титано-магнієвий комбінат і ПАО «Завод напівпровідників», Світловодський завод чистих металів, Львівський НТЦ «Мікроелектроніка», НВП «Карат» та ін. Нажаль, значна частина кремнію, в т.ч. монокристалічного (з якого виготовляються сонячні елементи), експортується з України, а не йде на виготовлення вітчизняних сонячних батарей. Це суттєво знижує ціну даного матеріалу і як результат – практична відсутність економічної вигоди від експорту сировини за своєю природою енергоємкої, технологічної, наукомісткої і дорогої.

2.2. Сонячні фотоелектричні системи

В сонячних фотоперетворювачах енергія Сонця безпосередньо перетворюється на електроенергію. Кілька об'єднаних разом фотоелементів (фотоелектричних перетворювачів) становитимуть сонячну батарею, яка може генерувати певну напругу і струм. Потужність сонячних батарей на сьогодні знаходиться в межах 70 – 100 Вт з 1 м² поверхні сонячного елемента. Сполучаючи фотоелементи в модулі, а ті, у свою чергу, один з одним, можна будувати величезні фотоелектричні станції.

Для забезпечення функціонування джерела повноцінної сонячної електроенергії необхідно застосовувати

багатокомпонентну геліосистему, що складається з кількох **сонячних фотоелектричних панелей** (середня потужність 1 м^2 такої панелі – 120 Вт, панелі площею $1,3 \text{ м}^2$ – 160 Вт); **батарей акумуляторів** для зберігання виробленої енергії; **контролера заряду акумулятора**, який не допускає шкідливого для батарей глибокого розрядження і перезарядження; **інвертора**, який перетворює постійний струм панелі у змінний струм необхідної напруги і частоти, найчастіше 220 В, 50 Гц.

Наприклад, для забезпечення потреби в електроенергії при місячному споживанні 200 кВт·год (6600 Вт·год на добу), з урахуванням коефіцієнту інсоляції для визначеної місцевості (для Києва – 1,5), необхідно змонтувати геліосистему з 28 сонячних панелей потужністю 160 Вт ($6600 / 1,5 / 160 = 28$) і 10 акумуляторів (12 В, 200 А/год).

Сонячні елементи з'єднуються послідовно в сонячні модулі, які, в свою чергу, з'єднуються паралельно в сонячні батареї (фотоелектричні системи, геліосистеми) (рис. 2.4 – 2.6).



Рис. 2.4. Сонячна батарея на даху будівлі



Рис. 2.5. Розміщення сонячних модулів на присадибній ділянці



Рис. 2.6. Геліосистема біля м. Балтімор (США)

Сонячний модуль – це батарея взаємозв’язаних сонячних елементів, укладених під скляною кришкою. Фотоелектричну систему можна створити будь-якого розміру. У міру зростання енергоспоживання і фінансових можливостей, домовласник може додавати модулі. Чим інтенсивніше світло, яке падає на фотоелементи і чим більша їх площа, тим більше виробляється електроенергії, і тим більша сила струму.

Модулі класифікуються за піковою потужністю у ватах (Втп). **Один піковий ват** – технічна характеристика, яка вказує на значення потужності установки в певних умовах, тобто коли сонячне випромінювання інтенсивністю 1 Вт/м^2 падає на фотоелемент при температурі $25 \text{ }^\circ\text{C}$. Така інтенсивність досягається при відсутності хмар і положенні Сонця в зеніті. Щоб виробити один піковий ват, потрібен один елемент площею приблизно 100 см^2 . Більші модулі, площею біля $0,5 \text{ м}^2$, виробляють близько $40 - 50 \text{ Втп}$. Проте сонячна освітленість рідко досягає величини 1 кВт/м^2 . Більше того, на Сонці модуль нагрівається значно вище за номінальну температуру. Обидва ці чинники знижують продуктивність модуля. В типових умовах їх середня продуктивність складає близько $6 \text{ Вт}\cdot\text{год}$ в день і $2000 \text{ Вт}\cdot\text{год}$ в рік. Для прикладу $5 \text{ Вт}\cdot\text{год}$ – це кількість енергії, споживана лампочкою 50 Вт протягом 6 хвилин ($50 \text{ Вт} \cdot 0,1 \text{ год} = 5 \text{ Вт}\cdot\text{год}$) або портативним радіоприймачем протягом години ($5 \text{ Вт} \cdot 1 \text{ год} = 5 \text{ Вт}\cdot\text{год}$).

Чутливість фотоелемента залежить від фотовольтаїчних властивостей генеруючої межі розділу, а **фотогенерація електроенергії** визначається довжиною хвилі та інтенсивністю світла, а також прозорістю верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві сонячні елементи виробляють електроенергію з параметрами приблизно $0,5 \text{ В}$ і 25 мкА на 1 см^2 або $12 - 13 \text{ мкВт/см}^2$. Кремнієві фотоелементи бувають монокристалічні та полікристалічні. Різниця між ними полягає в особливостях кристалічної структу-

ри, яка суттєво впливає на фотовольтаїчні параметри та специфіці їх отримання.

Монокристалічні елементи характеризуються однорідністю кристалічної структури у всьому об'ємі, але і високоякісною технологією виготовлення.

Полікристалічна структура однорідна лише в межах невеликих кристалічних зерен (кристалітів), але синтез їх суттєво дешевший, що може бути вирішальним фактором, коли йдеться про виготовлення фотоелементів. Теоретична ефективність кремнієвих елементів лежить в межах 28 – 35 %, а на практиці – від 14 % до 16 %. В космічних умовах (вища інтенсивність сонячного випромінювання і відсутність атмосферних впливів) ці значення дещо вищі.

Фотоелементи виробляють більше електроенергії при нижчих температурах. Це пояснюється тим, що фотоелементи – це електронні пристрої, що генерують електроенергію під дією світла, а підвищення температури знижує ефективність фотогенерації і підвищує електроопір провідних елементів. Тому сонячні елементи на холоді працюють ефективніше, ніж при високих температурах. А взимку вони виробляють менше енергії лише за рахунок скорочення світлового дня, а також і тому що кут падіння сонячного світла у цей період менший, а хмарність більша.

За допомогою послідовно-паралельних електричних сполучень сонячні елементи складають у сонячну (фотоелектричну) батарею в герметичному корпусі. Потужність сонячних батарей, що серійно випускаються промисловістю, становить 50 – 200 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для складання фотоелектричних генераторів.

На рис. 2.7 представлена блок-схема сонячної фотоелектричної станції. Термін служби такої станції становить 20 – 30 років, а експлуатаційні витрати мінімальні.

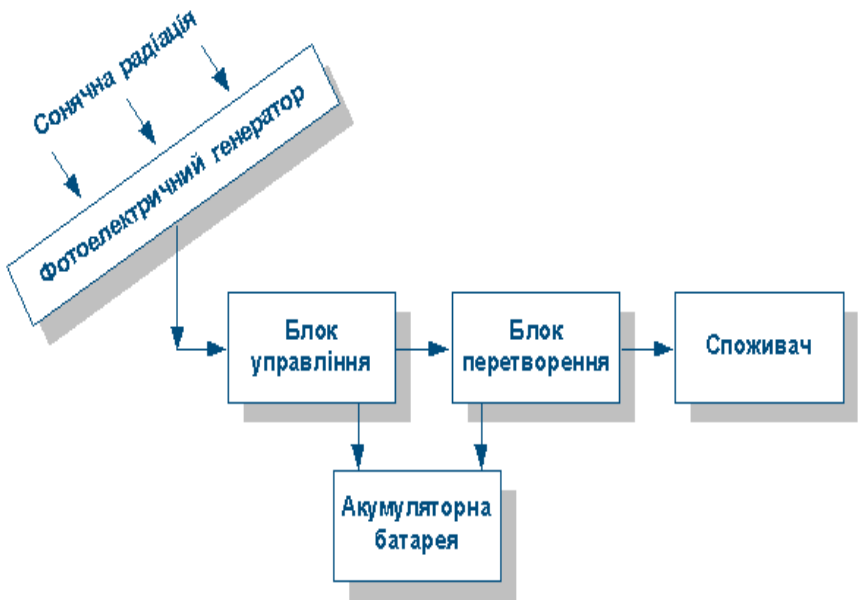


Рис. 2.7. Блок-схема сонячної фотоелектричної установки

2.3. Стан і перспективи використання сонячних фотоелектричних панелей

Використання **сонячних енергетичних панелей** є вигідним практично у всіх районах Земної кулі в т.ч. на всій території України. Технологія виробництва сонячних панелей постійно вдосконалюється. На даний час уже є енергетичні панелі з ефективністю роботи 17 % і ведуться розробки сонячних панелей з ефективністю до 24 %.

Найефективнішими є традиційні сонячні панелі потужністю 100 Вт та 200 Вт. Використання панелей меншої потужності приводить до більшої кількості з'єднань та контактів у системі, що підвищує ймовірність розриву електричного кола, а відповідно поломки всієї системи. Використання більшої потужності підвищує ризик поломки однієї із панелей, а її заміна є дороговартісною.

Енергопостачання від сонячної батареї виправдовує себе в цілому ряді конкретних технічних завдань, наприклад, для забезпечення безперебійного живлення малопотужного устаткування при вимкненні традиційного електропостачання. Під'єднати до електроживлення від сонячної батареї можна холодильник, телевізор, кондиціонер тощо, забезпечивши при цьому безперебійне живлення цих приладів.

Забезпечувати сонячною електроенергією можна і весь будинок, але при цьому слід пам'ятати, що велика кількість потужних електроприладів вимагає встановлення, відповідно, високопотужного сонячного енергоустаткування, що не завжди виправдане з матеріальної точки зору. Річ у тім, що сонячні фотоелектричні батареї коштують ще досить дорого і в нинішніх умовах покликані швидше вирішувати завдання електропостачання конкретного енергоощадного устаткування, а не великих будівель чи високопотужного обладнання.

Технології використання сонячної енергії активно розвиваються в багатьох країнах світу. У Німеччині, наприклад, в рамках проекту «Тисяча дахів» 2250 будинків було обладнано фотоелектричними сонячними батареями. В США прийнята ще масштабніша програма – «Мільйон сонячних дахів», фінансування якої склало 6,3 мільярди доларів бюджетних вкладень. Перспективним є використання сонячних електростанцій з гелієвими концентраторами (рис. 2.8) та електростанцій із сонячними модулями піднятими над поверхнею Землі на висоту, достатню для корисного використання цих площ в інших цілях (рис. 2.9). Сукупна потужність встановлених сонячних фотоелектричних перетворювачів в світі сягає десятків ГВт (див. табл. 2).

Україна суттєво відстає за рівнем використання цього джерела енергії, хоча за розробками сонячних елементів може вважатися однією з родоначальників даного напрямку, і має найпотужнішу в світі геліоелектростанцію. Багато космічних апаратів обладнано сонячними панелями, розробленими і виготовленими в Києві.



Рис. 2.8. Сонячна електростанція з геліоконцентратором

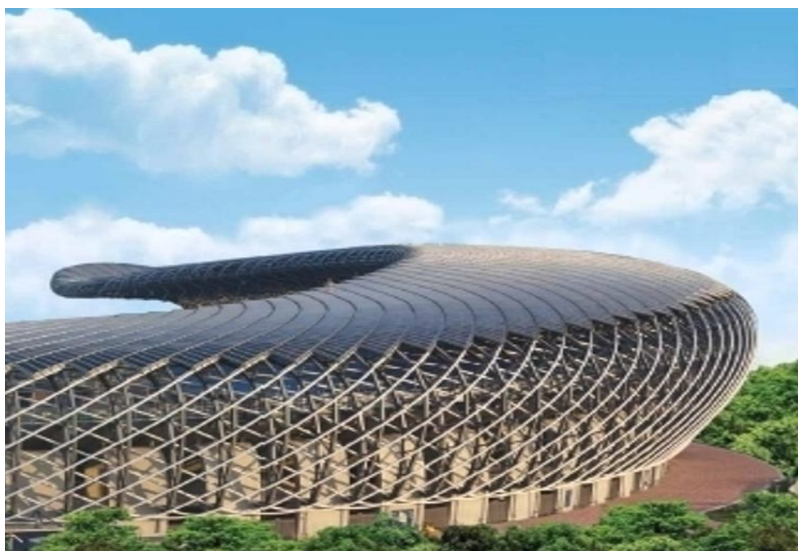


Рис. 2.9. Сонячна електростанція з піднятими фотоелектричними модулями

Таблиця 2.

**Сумарна потужність фотоелектричних станцій
в різних країнах світу (2010 р.)**

№ з/п	Країна	Сумарна потужність фотоелектричних станцій, МВт
1.	Німеччина	1 100
2.	Іспанія	704
3.	Японія	595
4.	Італія	586
5.	США	525
6.	Чехія	520
7.	Франція	400
8.	Китай	399
9.	Бельгія	397
10.	Пд. Корея	368
В цілому світі		39 778

Приведемо декілька цікавих прикладів використання сонячних фотоелектричних систем. В Каракумах для зварювання конструкцій ферми застосували розроблений туркменськими фахівцями апарат, що використовує енергію Сонця. Замість того, щоб привозити з собою громіздкі балони із стиснутим газом чи дизель-генератор, використовували невелику скриню, куди поміщена сонячна батарея. Індукований сонячним промінням постійний електричний струм використовували для хімічного розкладання води на водень і кисень, які подаються в пальник газозварювального апарату. Вода і сонце в Каракумах є біля будь-якого колодязя, так що громіздкі балони, які складно переміщати пустелею, стали непотрібними.

Найбільші на сьогоднішній день в світі сонячні фотоелектростанції представлені в табл. 3.

Таблиця 3.

Найбільші фотоелектростанції в світі

№ з/п	Місцезнаходження	Потужність		Комплектація (СМ – сонячний модуль)
		Пікова, МВт	Загальна, МВт·год/рік	
1.	Україна, Крим, с. Перово	100	132 500	440 тис. СМ
2.	Канада, Сарнія	97	120 000	понад 1 млн. СМ
3.	Італія, Монтальто-ді-Кастро	84,2		
4.	Німеччина, Финстервальде	80,7		
5.	Україна, Крим, с. Охотніково	80	100 000	360 тис. СМ
6.	Португалія, Амарележа	46,4		понад 262 тис. СМ
7.	Португалія, Серпа	11		52 тис. СМ
8.	Німеччина, Мюльхаузен	6,3	6 750	57,6 тис. СМ
9.	Німеччина, Бюрштадт	5	4 200	30 тис. СМ (типу ВР)
10.	Німеччина, Еспенхайн	5	5 000	33,5 тис. СМ (типу Shell)
11.	США, Спрінгervіль	4,59	7 750	34,98 тис. СМ (типу ВР)
12.	Німеччина, Готельбом	4	8 200	50 тис. СМ
13.	Німеччина, Хемау	4	3 900	32,74 тис. СМ
14.	Німеччина, Мерзебург, Гейселталсі	4	3 400	25 тис. СМ (типу ВР)

В штаті Арізона діє одна з найбільших в світі зрошувальних систем, насоси якої використовують енергію Сонця, перетворену в електрику фотоелементами. В Нігерії, Малі і Сенегалі теж діють сонячні насоси. Сонячні батареї живлять електроенергією двигуни насосів, які піднімають прісну воду, вкрай необхідну в цих пустельних місцевостях, з величезного підземного моря, розташованого під пісками.

З'явилися сонячні радіотелефони-автомати уздовж доріг в пустелі Сахара. Перуанське місто Тірунтам стало володарем цілої радіотелефонної мережі, що працює від сонячних батарей. Японські фахівці сконструювали сонячну батарею, яка за розмірами і формою нагадує звичайну черепицю. Якщо такою сонячною черепицею покрити будинок, то електроенергії вистачить для покриття потреб його мешканців. Правда, поки неясно, як вони обходяться в періоди снігопадів, дощів і туманів. Без традиційних джерел електроенергії обійтися, мабуть, не вдасться.

Урядові субсидії, зростання ринку і технічні досягнення обіцяють суттєве зниження цін на сонячні батареї у наступні роки. Активний ринок «сонячних помешкань» може прискорити цей процес, оскільки удосконалені сонячно-енергетичні покрівельні матеріали й віконне скло можуть замінити з часом традиційні будівельні матеріали. Сонячні батареї можна встановлювати уздовж автомагістралей, на автостоянках, на дахах житлових та адміністративних будівель і т.д.

Використання сонячних батарей має багато **переваг** перед іншими способами виробництва електроенергії. Ось найважливіші з них:

- автономність;
- висока надійність;
- зниження витрат на гаряче водопостачання і опалювання до 85 % (сонячна енергія безкоштовна);
- економія органічних видів палива (мазуту, нафти, газу);

- скорочення викидів двоокису вуглецю;
- загальнодоступність і невичерпність джерела;
- відсутність проміжних фаз перетворення енергії;
- довговічність;
- мінімальні затрати на догляд і обслуговування;
- повна безпека для навколишнього середовища при виконанні правил утилізації (екологічно чисте джерело енергії);
- висока безпека для людини при обслуговуванні (техніка безпеки відповідає найвищим світовим стандартам);
- розповсюдження сонячних установок серед населення і в промисловості сприяє зростанню державної енергетичної безпеки.

Останнім часом у сфері розробки матеріалів для напівпровідникових фотоелементів проведено ряд робіт, які дозволили наблизити час створення потужних сонячних електростанцій. Коефіцієнт корисної дії сонячних батарей скомпонованих з нових структур і матеріалів вже перевищує 40 %, а теоретично він може сягнути і 90 %! Застосування таких фотоелементів дозволить в десятки разів скоротити площі панелей майбутніх сонячних електростанцій. Їх можна скоротити ще в сотні разів, якщо сонячний потік заздалегідь зібрати з великої площі, сконцентрувати і тільки потім подати на сонячну батарею. Отже в XXI столітті сонячні електростанції з фотоелементами можуть стати звичним джерелом енергії. Та й в наші дні вже доцільно користуватися електроенергією від сонячних батарей в цілому ряді випадків, зокрема в побуті, в місцях, де інших джерел енергії немає та ін.

Разом з тим виробництво сонячної електроенергії має цілий ряд проблем і недоліків, які на сьогоднішній день гальмують її масове застосування. Вирішення цих проблем забезпечить суттєвий прогрес в даній галузі.

2.4. Проблеми освоєння сонячних фотоелектричних установок

Через відносно невисокі значення **сонячної постійної** – випромінювання, що проходить через площу в 1 м^2 , розташовану перпендикулярно до потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця ззовні атмосфери (1367 Вт/м^2), для сонячної енергетики необхідне використання значних площ землі під сонячні електростанції (наприклад, для електростанції потужністю 1 ГВт це може бути декілька десятків квадратних кілометрів). Тут для порівняння слід зазначити, що гідроенергетика потребує для користування ділянки землі значно більшої площі. До того ж фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях можна встановлювати на висоті $1,8 - 2,5 \text{ м}$, що дозволить використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби.

Сонячна електростанція не працює вночі і недостатньо ефективно працює у ранкових і вечірніх сутінках. При цьому пік електроспоживання припадає саме на вечірні години. Крім того, потужність електростанції може стрімко і несподівано коливатися через зміни погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні **електричні акумулятори** (на сьогоднішній день це невирішена проблема), або будувати спеціальні **акумулюючі станції**, які теж займають велику територію.

Застосування сонячних установок не має негативно впливу на оточуюче середовище, однак, не дивлячись на екологічну чистоту отримуваної енергії, деякі фотоелементи містять отруйні речовини, такі як свинець, кадмій, галій, миш'як та інші, а їх виробництво часто пов'язане із шкідливими, небезпечними технологіями. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін служби ($30 - 50$ років), і їх масове застосування поставить в найближчий час складне

питання утилізації відпрацьованих елементів. Тому екологічні проблеми можуть виникнути як при виробництві фотоелектричних елементів, так і при неправильній їх утилізації.

Відзначимо ще раз найголовніші **недоліки і проблеми**, які необхідно враховувати при використанні фотоелектричних установок:

1. Відносно висока ціна сонячних фотоелементів. З розвитком технології цей недолік подолають. В 1990 – 2010 рр. ціни на фотоелементи знижувалися в середньому на 4 % за рік.

2. Перманентна залежність потужності від місцевих умов, часу доби і пори року.

3. Низький ККД (ефективність) сонячних елементів (ймовірно, буде незабаром збільшений).

4. Чутливість до механічних пошкоджень.

5. Поверхню фотопанелей потрібно регулярно очищати від пилу та інших забруднень. При їх площі в декілька квадратних кілометрів це трудомістка операція.

6. Ефективність фотоелектричних елементів суттєво знижується при нагріванні, тому в спекотні періоди виникає необхідність в їх охолодженні.

7. Ефективність фотоелектричних елементів зменшується з часом, особливо через 30 років експлуатації.

Вживані в сучасних фотоелементах матеріали і технології мають високу собівартість, тому економічні і технологічні оцінки поки що не дозволяють розраховувати на отримання таким шляхом значних кількостей електричної енергії. Але є всі передумови вирішити це завдання у XXI столітті.

2.5. Розвиток сонячної енергетики в Україні

Проблеми використання енергії Сонця вивчаються в Україні в Інституті енергозбереження та енергоменеджме-

нту НТУУ «Київський політехнічний інститут», у Національному екологічному центрі України та інших університетах і наукових установах, а також в ряді громадських організацій.

Однак серед перспективних напрямків розвитку альтернативних джерел енергії в Україні сонячна енергія розглядається в недостатній мірі. Перевагу віддають біоенергетиці, виробництву синтетичного газу з відходів виробництва, біопалива, використання шахтового метану. Відповідно до «Програми державної підтримки розвитку нетрадиційних і відновлювальних джерел енергії до 2030 року» сумарний обсяг заміни традиційних теплоенергоресурсів на «альтернативні» має становити 10 % всього енергоспоживання в Україні. Однак у Європі вже в найближчий час планують вийти в даній області на показник 50 %.

Недавно з ініціативи Президента Академії НАН України Патона Б. Є. в Києві було створено Інститут відновлювальної енергетики НАН України. Основне завдання його фахівців полягає в тому, щоб на базі останніх досягнень науки знизити вартість технологій і обладнання, в т.ч. для сонячної енергетики. Спеціалісти прогнозують, що за 5 – 10 років проблему високих цін буде розв'язано. До того ж Україна зберегла свій потужний промисловий потенціал в даній області. Як вже було сказано, основна складова традиційного «сонячного» модуля – це монокристалічні пластини кремнію. В Україні зосереджено 10 % світових потужностей з виробництва кремнію. Вже у 2004 році у нас випускалося 8 % матеріалів для світового виробництва сонячних батарей і колекторів.

Однак, на державному рівні розвиток вітчизняної сонячної енергетики не стимулюється, тому більшість «сонячної» продукції іде на експорт. За рахунок продукції вітчизняних підприємств реалізуються програми розвитку альтернативної енергетики у Німеччині, Іспанії, Італії, Китаї.

Австрія, на території якої встановлено 1,5 млн. м² сонячних колекторів, у 2000 році на офіційному рівні започаткувала співробітництво в даній галузі з Україною. Був підписаний Меморандум про взаєморозуміння між Міністерством палива й енергетики України і Федеральним міністерством сільського й лісового господарства, природного середовища і водного господарства Республіки Австрія. У документі, зокрема, передбачено: «використання австрійських know-how, послуг, продукції й технології підприємств і недержавних організацій з метою сприяння розвитку енергоносіїв, що відновлюються, й ефективного використання енергії в Україні». Нажаль, українська сторона поки що мало сприяє на державному рівні у реалізації цих ініціатив у регіонах.

Поряд з цим є прекрасний і обнадійливий позитивний приклад міжнародного співробітництва в даній галузі, до речі з цією ж Австрією. В грудні 2011 р. Австрійська компанія Activ Solar завершила будівництво і ввела в експлуатацію заключну чергу **найбільшої в світі** 100 мегаватної сонячної електростанції в с. Перово (Крим) (рис. 2.10). Електростанція складається з 440 тис. кристалічних сонячних фотоелектричних модулів, з'єднаних 1500 км кабелю, і встановлених на понад 200 га площі. Установка вироблятиме 132 500 МВт годин чистої електроенергії на рік, що достатньо для забезпечення плановою піковою потребою в електроенергії Сімферополя.

Станція дозволяє скоротити викиди CO₂ на 105 тисяч тонн на рік, які мали б місце на тепловій електростанції такої ж потужності. У будівництві станції були використані основні компоненти, включаючи сонячні модулі та інвертори, від провідних європейських і азійських виробників. У жовтні 2011 р. Activ Solar вже запустила 80 МВт сонячну електростанцію «Охотніково» в Криму – найбільшу після «Перово» сонячну фотоелектричну установку в Центральній і Східній Європі.



Рис. 2.10. Кримська сонячна електростанція «Перово»

Компанія Activ Solar недавно відкрила свій офіс в Одесі і планує подальший розвиток великомасштабних проектів у 2012 р. та в подальший період.

При встановленні приватно сонячну батарею, колектор або вітрогенератор, закономірно виникають питання: а чи не буде через це проблем із службою енергонагляду, податковою інспекцією тощо? Чи потрібні якісь дозволи? Чи можна зберегти за собою вже наявне під'єднання до центральної мережі? Чи потрібно сплачувати податок за використання природних ресурсів (податок на Сонце!?).

На даний час спеціального законодавства про побутове використання енергозберігаючих установок в Україні не існує. Можна посилатися на Постанову Кабінету Міністрів «Про державну експертизу з енергозбереження» та на додаток до неї – «Інструкції про порядок передачі документації та здійснення державної експертизи з енергозбереження», з яких випливає, що в Україні можна без будь-якої реєстрації використовувати для особистих потреб вітряні та сонячні установки потужністю меншою ніж 75 кВт. Постанова «Про державну експертизу з енергозбереження»

звільняє від обов'язкової експертизи будь-яку техніку, яка не є енергоємною (а «енергоємною технікою» вважається обладнання потужністю 75 кВт та вище). Щоправда, у частині «Перелік об'єктів, які підлягають державній експертизі з енергозбереження» зазначено: «...обладнання, побутова техніка, нагрівальні та освітлювальні прилади, що створюються в Україні. До них належать обладнання та побутова техніка, які потребують дозволу державних інспекцій України (Держнаглядохоронпраці, Енергонагляду, Державної інспекції з енергоефективності) на їх установку та використання і для яких споживання природного газу становить від 1 м³/год, котельні, потужність яких становить від 0,5 Гкал/год (1 тонна пари/год), а також електричне обладнання потужністю понад 5 кВт». Тобто мова йде про прилади-споживачі електроенергії (адже предметом експертизи для цієї категорії є рівень використання паливно-енергетичних ресурсів). Законодавством не передбачено оподаткування за використання енергії вітру чи Сонця. Відповідно до чинного законодавства, збір за спеціальне використання природних ресурсів сплачується лише за користування земними надрами, лісовими та водними ресурсами. Однак для промисловості, енергозберігаюче обладнання обов'язково має бути сертифіковане в Україні і мати висновок про відповідність «Системі стандартів з охорони праці» (ССТБ).

З переліченими вище проблемами доцільно звертатись у відповідні державні та місцеві органи, вимагаючи, щоб вони офіційно підтримали наступні заходи:

- фінансування в першу чергу досліджень і технічних розробок в області використання сонячної енергії для водонагрівання, дешевого виробництва сонячних батарей і легких недорогих вискоєфективних акумуляторів;
- запровадження економічного стимулювання енергозбереження і використання сонячних нагрівальних систем та

фотоелектричних перетворювачів на побутових і промислових рівнях.

Вкладаючи гроші у ці перспективні напрямки, ми доможемося більшої економічної і політичної безпеки, що внесе суттєвий вклад в розвиток держави і підвищення рівня життя населення.

Висновки

Перспективним напрямом створення надійних систем енергозабезпечення та істотного поліпшення умов життя і праці для населення є широке використання сонячної енергії, яка може забезпечити чималу частку потреби в теплі та електроенергії навіть в умовах північного клімату. Здебільшого методи використання енергії Сонця економічно ефективні, однак частка використання сонячної енергії все ще доволі мала.

В Україні є значний потенціал основних видів поновлюваних і нетрадиційних джерел енергії, але нині їх практичне використання становить незначну частку в загальному споживанні енергії у країні, що зумовлено, насамперед, недостатнім фінансовим і законодавчим забезпеченням, а також відсутністю цілеспрямованої державної політики. Поки-що розвиток технологій застосування альтернативних джерел енергії в Україні досить сильно гальмується ще й структурами, які отримують прибуток від реалізації газу, вугілля та нафти. А от коли запаси газу, нафти та вугілля суттєво зменшаться, будинки-теплоакумулятори, оснащені сонячними колекторами і фотоперетворювачами будуть звичайнісіньким явищем.

За прогнозами вчених, використання сонячної енергії всіма країнами світу вже в нашому столітті збільшиться у п'ять разів і становитиме 30 % від загального обсягу енергетичного балансу, займаючи друге місце після атомної енергетики.

А тому вивчайте і застосовуйте на практиці будь-які засоби, що дозволяють заощаджувати теплову та електричну енергію у Вашому власному будинку, поліпшуючи його теплоізоляцію і впроваджуючи, де це тільки можливо, сонячні системи опалення та гарячого водопостачання, а також системи сонячного електропостачання.

Контрольні запитання і завдання

1. Які причини активізували науково-дослідні роботи з використання сонячної енергії?
2. Охарактеризуйте сфери застосування сонячної енергії.
3. Сучасні і перспективні напрямки використання сонячної енергії та установки для їх реалізації.
4. Сонячні теплові системи і їх класифікація.
5. Основні відмінності між активними і пасивними нагрівальними системами.
6. Схема і принцип дії активних і пасивних систем нагрівання води.
7. Охарактеризуйте матеріали, які застосовуються для сонячних водонагрівних систем. Обґрунтуйте доцільність їх використання.
8. Класифікація і особливості роботи сонячних нагрівальних систем.
9. Зобразіть одноконтурну пасивну нагрівальну систему.
10. Колектор, його будова і принцип роботи.
11. Призначення середньотемпературних і високотемпературних колекторів і різниця між ними.
12. Особливості виготовлення середньотемпературних колекторів.
13. Суть термосифонного ефекту.
14. Способи захисту сонячного колектора від замерзання.
15. Конструкція і призначення бака-акумулятора.
16. Призначення циркуляційних насосів геліосистем.
17. Види теплоносіїв та їх застосування.
18. Контроль і управління геліосистемою.
19. Особливості конструкції та принцип дії плоских водонагрівальних колекторів.

20. Особливості вакуумних трубчастих сонячних колекторів.
21. Особливості розміщення і кріплення сонячних колекторів.
22. Кут нахилу і азимут сонячних колекторів.
23. Основні параметри, які необхідно враховувати при підборі розмірів елементів геліосистем.
24. Баланс втрат енергії в сонячному колекторі і баку-акумуляторі.
25. Параметри, які характеризують ефективність роботи елементів геліосистеми.
26. Перерахуйте фактори, які впливають на ефективність геліосистем.
27. «Сонячний будинок» і його особливості.
28. Представте схему використання сонячної енергії для Вашого будинку (квартири).
29. Сонячні фотоелементи, їх будова і принцип дії.
30. Сонячні фотоелектричні установки. Принцип дії і схема.
31. Охарактеризуйте сонячний модуль.
32. Переваги використання сонячних батарей.
33. Опишіть проблеми освоєння фотоелектричних установок.
34. Техніко-економічні особливості фотоелектричних установок.
35. Типи сонячних електростанцій.
36. З яких основних частин складаються сонячні електростанції?
37. Переваги і недоліки сонячних електростанцій.

Додатки

Додаток А

Вихідні дані для вибору і виготовлення сонячних колекторів

Вартість сонячних водонагрівних колекторів в Україні становить \$ 70 – 150 за 1 м², а фотоелектричних модулів – \$ 200 – 400 за 1 м².

Необхідним елементом функціонування сонячних водонагрівних колекторів є бак-акумулятор гарячої води з теплообмінником (для захисту від замерзання). Теплообмінник – це спіральна трубка (з міді чи металопластика), яку поміщають в бак і в якій циркулює антифриз, нагрітий в колекторі, передаючи тепло воді в бак. Теплообмінник розміщують в нижній частині бака вертикально. В табл. 4 представлені значення довжини теплообмінника і розмірів бака в залежності від площі поверхні колектора.

Таблиця 4.

Площа поверхні колектора, м ²	Об'єм бака, літри	Довжина теплообмінника, м
2	100 – 200	6
3	150 – 200	9
4	200 – 400	12

Важливі поради при самостійному виготовленні плоского сонячного колектора:

- для забезпечення конвективного теплообміну пасивної геліосистеми, вхідний отвір для «холодного» теплоносія виконується в нижній частині колектора, а вихідний отвір «гарячого» теплоносія – у верхній частині, діагонально, по різних сторонах колектора;
- теплообмінник встановлюється в нижній частині бака-акумулятора обов'язково у вертикальному положенні;

– довжина теплообмінника і розміри бака-акумулятора залежать від площі поверхні колектора (див. табл. 4).

Додаток Б

Сонячна радіація, яка досягає поверхні ґрунту в Україні

Таблиця 5.

Період	Інтенсивність сонячного випромінювання	
	МДж/м ²	кВт·год/м ²
Січень	75	21
Липень	600	167
За рік	4 050	1 125

Таблиця 6.

Вид палива	Питома теплота спалювання	
	МДж/кг	кВт·год/кг
Газ природний	45	12,5
Кам'яне вугілля	27	7,5
Нафта	45	12,5

Таблиця 7.

Період	Сумарна сонячна радіація, яка досягає поверхні ґрунту в Україні		Еквівалентна кількість палива, млн.т		
	МДж	кВт·год	Газ природний	Кам'яне вугілля	Нафта
Січень	4,53E+10	1,26E+10	1 006	1 677	1 006
Липень	3,62E+11	1,01E+11	8 049	13 416	8 049
За рік	2,44E+12	6,79E+11	54 333	90 555	54 333

Таблиця 8.

Область	Інтенсивність інсоляції, кВт·год / м²
Закарпатська	1150
Львівська	1150
Чернівецька	1150
Івано-Франківська	1150
Луцька	1000
Рівненська	1000
Хмельницька	1000
Вінницька	1000
Житомирська	1000
Київська	1000
Черкаська	1000
Полтавська	1000
Чернігівська	1000
Сумська	1000
Харківська	1000
Луганська	1250
Дніпропетровська	1250
Донецька	1250
Запорізька	1250
Херсонська	1250
Кіровоградська	1250
Миколаївська	1250
Одеська	1250
Луганська	1250
Автономна республіка Крим	1350

Список літератури

1. Мхитарян Н.М. Энергетика нетрадиционных и возобновляемых источников. Опыт и перспективы. – К.: Наукова думка, 1999. – 320 с.
2. Байерс Т. 20 конструкций с солнечными элементами / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Мир, 1988. – 197 с.
3. Желих В.М., Возняк О.Т., Юркевич Ю.С. Нетрадиційні джерела енергії. – Львів, 2009. – 83 с.
4. Виссарионов В.И., Дерюгина Г.В., Кузнецова В.А., Малинин Н.К. Солнечная энергетика: Учебное пособие для вузов / Под ред. В.И. Виссарионова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2008. – 317 с.
5. Мейтин М. Фотовольтаика: материалы, технологии, перспективы. Пусть всегда будет Солнце // Электроника-НТБ. – 2000. – №6. – С. 40 – 47.
6. Дітер Гайнріх, Манфред Гергт. Екологія. – К.: Знання-Прес, 2001. – 288 с.
7. Фаренбрух А., Бьюб Р. Солнечные элементы: теория и эксперимент / Пер. с англ. под ред. М.М. Колтуна. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 280 с.
8. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. с сокращениями. – М.: Мир, 1986. – 435 с.
9. Системы солнечного тепло- и хладоснабжения / Под ред. Э.В. Сарнацкого, С.А. Чистовича. – М.: Стройиздат, 1990. – 328 с.
10. Танака С., Суда Р. Жилые дома с автономным солнечным теплохладоснабжением / Пер. с япон. под ред. М.М. Колтуна, Г.А. Гухман. – М.: Стройиздат, 1989. – 184 с.
11. Магомедов А.М. Нетрадиционные возобновляемые источники энергии. – Махачкала: Юпитер, 1996. – 245 с.

12. Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи використання енергії та палива в Україні з нетрадиційних та відновлюваних джерел //Бюл. «Новітні технології в сфері нетрадиційних і відновлюваних джерел енергії», Київ: АТ «Укренергозбереження», 1999. – № 2, – С. 30 – 38.
13. Комков В.А. Экологические и технические аспекты создания нетрадиционных источников энергии. – М., 1998.
14. Бабієв Г.М., Дероган Д.В., Щокін А.Р. Перспективи впровадження нетрадиційних та відновлюваних джерел енергії в Україні // Електричний журнал, 1998. – № 1. – С. 63 – 64.
15. Камен Д. Чистая энергетика // В мире науки, 2007. – № 1.
16. Лучков Б. Солнечный дом – солнечный город // Наука и жизнь, 2002. – № 2.
17. Проблеми економії енергії. Зб. Матеріалів 4-ї Міжнародної наук.-практ. конференції. – Львів: В-во НУ «Львівська політехніка». –360 с.
18. Мірослав Даковскі, Станіслав Казімеж Вянцковскі. Про енергетику для споживачів та скептиків. – Львів, 2007. –176 с.

ЗМІСТ

Вступ	3
Розділ 1. Нагрівальні сонячні системи	5
1.1. Сфери застосування і переваги сонячних установок	5
1.1.1. Переваги сонячної енергетики	5
1.1.2. Сфери застосування сонячної енергії	6
1.2. Сонячні теплові системи.....	9
1.2.1. Активні та пасивні сонячні елементи	10
1.2.2. Особливості роботи сонячних нагрівальних систем	12
1.2.3. Конструкції та особливості роботи геліосистем	13
1.2.4. Комп'ютерне управління геліосистемою.....	18
1.3. Особливості конструкції і принцип дії плоских колекторів	20
1.4. Оцінка ефективності використання геліосистем	22
1.5. Комплектація, розміщення та кріплення колекторів	28
1.6. Особливості підбору і розрахунку елементів геліосистеми.....	33
1.7. Оцінка ефективності сонячного колектора... ..	34
1.8. Вакуумні трубчасті сонячні колектори.....	39
1.9. Комплектація та експлуатація типових геліосистем.....	42

Розділ 2. Фотоелектричні перетворювачі енергії	45
2.1. Загальні поняття про роботу фотоелементів.....	45
2.2. Сонячні фотоелектричні системи.....	50
2.3. Стан і перспективи використання сонячних фотоелектричних панелей.....	55
2.4. Проблеми освоєння сонячних фотоелектричних установок.....	62
2.5. Розвиток сонячної енергетики в Україні	63
Висновки	69
Контрольні запитання і завдання	70
Додатки	72
Список літератури	75
Зміст	77

Навчальне видання

ТИМОШИК Андрій Михайлович
ЦІЖ Богдан Романович
ВАРИВОДА Юрій Юрійович

ВИКОРИСТАННЯ ЕНЕРГІЇ СОНЦЯ

Навчальний посібник

Комп'ютерна верстка: *I. Колич*

Підписано до друку 10.02.2021 р. Формат 60×84^{1/16}.

Папір офсетний. Тираж 300 прим.

Віддруковано на різнографі в ЛКТ Львівського національного університету ветеринарної медицини та біотехнологій ім. С.З. Гжицького
м. Львів, вул. Пекарська, 50.