

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

з навчальної дисципліни «Альтернативні джерела енергії»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(Електромеханіка)***

За темою № 2 – Геліоенергетика

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2023 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу
Протокол від 28.08.2023
№ 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання КЛК ХНУВС, протокол від 28.08.2023 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., професор, спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

Рецензенти:

1. Доцент кафедри електричних станцій Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут», к.т.н. Шокарьов Д.А.
2. Викладач-методист циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Волканін Є.Є.

План лекції:

1. Геліоенергетика: загальні відомості, основні поняття, визначення
2. Сонячна теплоенергетика
 - 2.1 Типи колекторів
 - 2.2 Принципи дії колекторів
3. Сонячна фотоенергетика
 - 3.1 Сонячні модулі
 - 3.2 Сонячні електростанції
4. Екологічні наслідки розвитку геліоенергетики

Література:

Основна:

1. Сінчук І.О. Відновлювані та альтернативні джерела енергії. Навчальний посібник / І.О. Сінчук, С.М. Бойко, О.Є. Мельник; під ред. доктора технічних наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2015. – 270с.
2. Варламов Г.Б., Любчик Г.М., Малярєнко В.А. Теплоенергетичні установки та екологічні аспекти виробництва енергії / Підручник. – К. : “Політехніка”, 2003. – 228 с.
3. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних та нетрадиційних джерел енергії України / Кудря С.О., Яценко Л.В., Душина Г.П. та інш. – НАН України, державний комітет України з енергозбереження. – К. : 2001. – 41 с.

Допоміжна:

4. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с.
5. Агроекологічний атлас Полтавщини / В.М. Писаренко, Ю.С. Голік, П.В. Писаренко [та ін.]. – Полтава: Оріяна, 2009. – 70 с.

Інформаційні ресурси:

6. Нормативні акти України [Електронний ресурс]. – Режим доступу : www.nau.kiev.ua.

1. Геліоенергетика: загальні відомості, основні поняття, визначення.



Рисунок 1 – Сонячні панелі в Іспанії

Сонячна (геліо) енергетика — використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Сонячна енергетика використовує відновлюване джерело енергії і в перспективі може стати екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів (рис. 1).

На сьогодні сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно.

Потік сонячного випромінювання, що проходить через площу в 1 м^2 , розташовану перпендикулярно потоку випромінювання на відстані однієї астрономічної одиниці від центру Сонця (тобто зовні атмосфери Землі), рівний 1367 Вт/м^2 (сонячна постійна).

При проходженні через атмосферу потужність сонячної радіації зменшується за рахунок поглинання і розсіяння пилом, аерозолями і молекулами газів. Частина падаючої енергії відбивається в космос. Частка відображеного тепла залежить від того, на яку поверхню потрапляє випромінювання. Так, для сухого чорнозему ця частка рівна 0,14, зораного поля 0,26...0,38, сніги 0,6...0,9, водній поверхні 0,2...0,78 залежно від кута

падіння сонячних променів. Отже щільність теплопритоку неоднакова на різних широтах Землі, в різні пори року і періоди доби.

Перспективи сонячної енергетики також зменшуються внаслідок глобального затемнення – антропогенного зменшення сонячного випромінювання, що доходить до поверхні Землі.

Переваги сонячної енергетики:

- загальнодоступність і невичерпність джерела;
- теоретично, повна безпека для навколишнього середовища (проте в даний час у виробництві фотоелементів і в них самих використовуються шкідливі речовини).

Недоліки сонячної енергетики:

1. Фундаментальні проблеми.

Через відносно невелику величину сонячної постійної для сонячної енергетики потрібне використання великих площ землі під електростанції. Проте, фотоелектричні елементи на великих сонячних електростанціях встановлюються на висоті 1,8...2,5 метра, що дозволяє використовувати землі під електростанцією для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби.

Проблема знаходження великих площ землі під сонячними електростанціями вирішується у разі застосування сонячних аеростатних електростанцій, придатних як для наземного, так і для морського і для висотного базування.

Потік сонячної енергії на поверхні Землі сильно залежить від широти і клімату. У різних місцевостях середня кількість сонячних днів протягом року може дуже сильно відрізнятись.

2. Технічні проблеми.

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 непередбачувано коливатися через зміни погоди. Для подолання цих недоліків потрібно або використовувати ефективні електричні акумулятори (на сьогоднішній день це не достатньо вирішена проблема), або будувати гідроакумулюючі станції, які теж займають велику територію, або використовувати концепцію водневої енергетики, яка також поки що далека від економічної ефективності.

Проблема залежності потужності сонячної електростанції від часу доби і погодних умов вирішується у разі сонячних аеростатних електростанцій.

Висока ціна сонячних фотоелементів. Ймовірно, з розвитком технології цей недолік у майбутньому подолають.

Недостатній ККД сонячних елементів.

Поверхню фотопанелей потрібно очищати від пилу і інших забруднень. При їх площі в декілька квадратних кілометрів, це може викликати деякі труднощі.

Ефективність фотоелектричних елементів помітно падає при їх нагріванні, тому виникає необхідність в установці систем охолодження, зазвичай водяних.

Через 30 років експлуатації ефективність фотоелектричних елементів починає знижуватися.

3. Екологічні проблеми.

Не дивлячись на екологічну чистоту отримуваної енергії, самі фотоелементи містять отруйні речовини, наприклад: свинець, кадмій, галій, миш'як і т. д., а під час їхнього виробництва, використовує значну кількість інших небезпечних речовин. Сучасні фотоелементи мають обмежений термін служби (30...50 років), а масове їх застосування поставить в найближчий час складне питання про їх утилізації.

Способи отримання електричної і теплової енергії з сонячного випромінювання:

1. Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів.
2. Геліотермальна енергетика – нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені з подальшим розподілом і використання тепла (фокусування сонячного випромінювання на посудині з водою для подальшого використання нагрітої води в опалюванні приміщень і споруд або в парових електрогенераторах).
3. «Сонячне вітрило» може в безповітряному просторі перетворювати сонячні промені в кінетичну енергію.
4. Термоповітряні електростанції – перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор.
5. Сонячні аеростатні електростанції – генерація водяної пари всередині балона аеростата за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, покритої селективно-поглинаючим покриттям. Перевага — запасу пари в балоні достатньо для роботи електростанції в темний час доби і хмарну погоду.
6. Інші види використання сонячної енергії.

Великий і недостатньо використовуваний потенціал використання сонячної енергії є в сільському господарстві і промисловості. Перерахуємо деякі з можливих застосувань:

- сонячний підігрів води для гарячого водопостачання тваринницьких ферм і інших об'єктів;
- сушка зерна, фруктів, овочів, сіна, тютюну і іншої сільськогосподарської продукції;
- тепличне рослинництво;
- опріснення води в південних посушливих районах;
- сонячний підігрів залізобетонних конструкцій в процесі виробництва на залізобетонному комбінаті.

2. Сонячна теплоенергетика

У сонячній теплоенергетиці електроенергію одержують у теплових машинах (наприклад, звичайних парогенераторах), в яких тепло від згорання палива замінюється потоком концентрованого сонячного світла. Тобто вода перетворюється на пару за рахунок енергії сонця, а не згорання вугілля чи іншого палива. Для цього сонячне світло за допомогою системи дзеркал концентрують на спеціальний сонячний котел, з якого утворена водяна пара, спрямовується в стандартну парову турбіну. За рахунок використання сучасних технологій вартість електроенергії, отриманої на сонячній електростанції, наблизилася до вартості енергії, отриманої на атомних електростанціях. Схема будови енергетичних геліоустановок наведена на рис. 2.

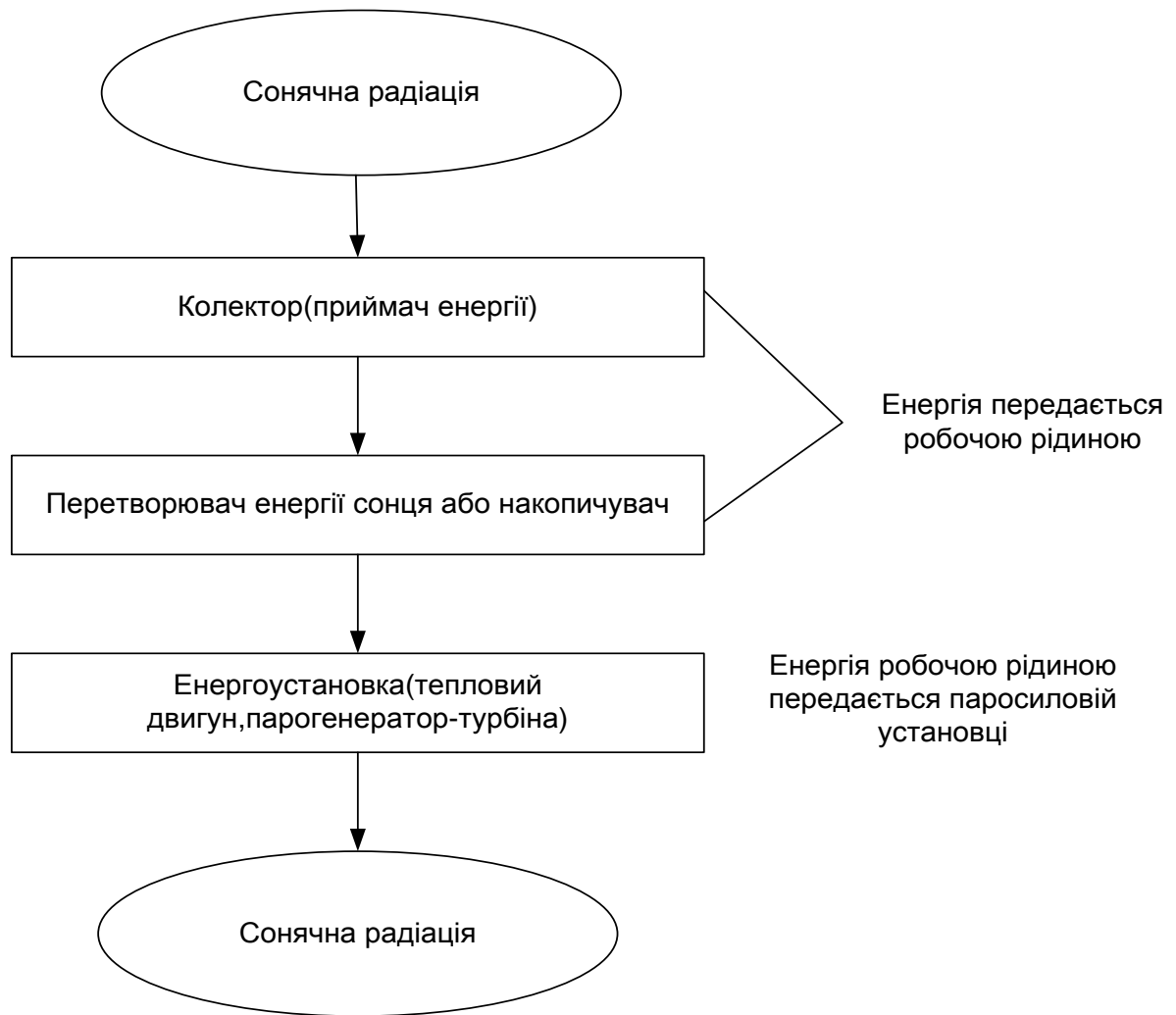


Рисунок 2 – Структурна схема геліоенергетичної установки

Робочим тілом в колекторах є вода або водно-спиртовий розчин у зимовий період. Ефективність використання падаючого на приймач випромінювання становить від 20 до 35%, вироблена електроенергія становить від 10% до 30% від ефективного падаючого випромінювання.

Найбільша сонячна електростанція потужністю 10 МВт (Solar One) була побудована в Каліфорнії (США). Більшість подібних сонячних електростанцій передбачає однаковий принцип дії: поле розміщених на рівні землі дзеркал-геліостатів, що "слідкують" за сонцем, відбивають сонячні промені на приймач-ресивер, встановлений на досить високій вежі.

Ресивер – це сонячний котел, в якому виробляється водяна пара середніх параметрів, спрямована потім в стандартну парову турбіну. Схема такої установки наведена на рис. 3.

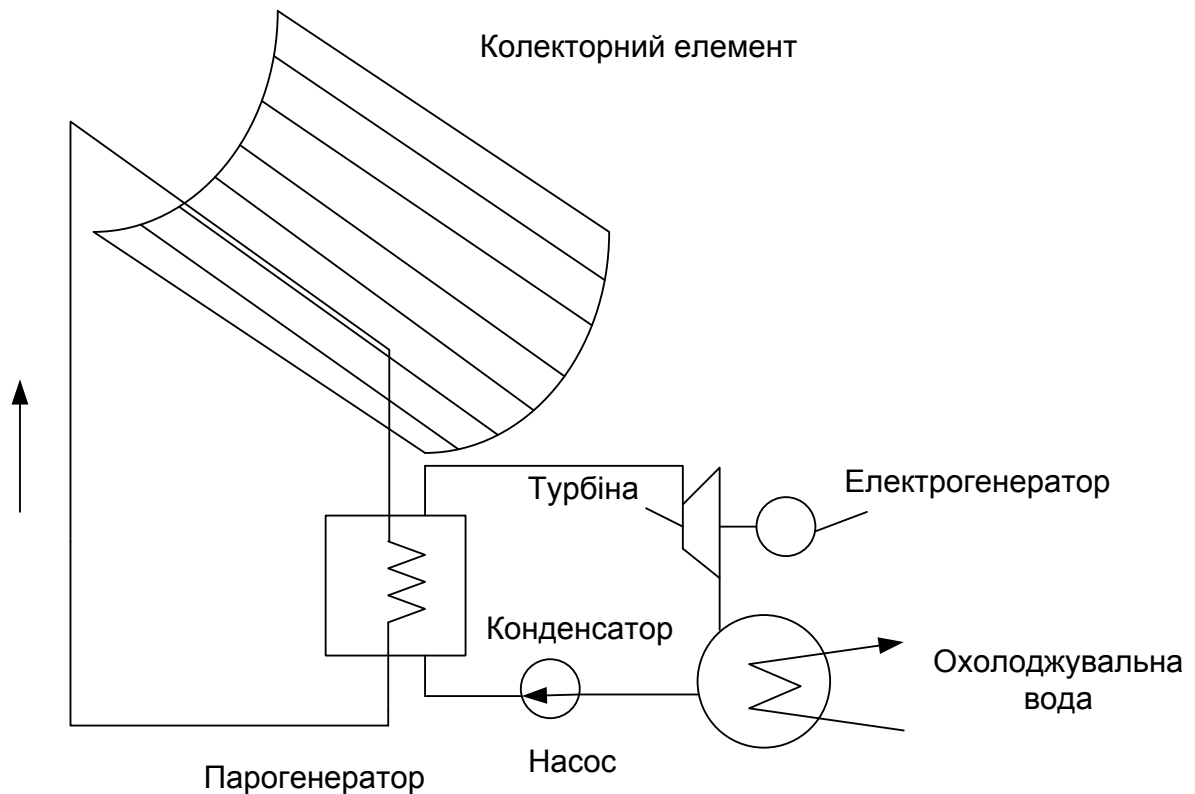


Рисунок 3 – Схема паросилової сонячної електростанції

Така електростанція може працювати тільки при прямому освітленні сонячними променями. Тому часто, щоб уникнути перебоїв у генерації струму, такі станції комбінують зі звичайними тепловими електростанціями. Технічна складність підтримання ефективної роботи сонячної електростанції та доволі великі площі дзеркал, які необхідні для отримання достатніх для промислового використання об'ємів електроенергії, стримують швидкий розвиток цього напрямку сонячної енергетики.

2.1 Типи колекторів

Плоский колектор – найпоширеніший вид сонячних колекторів, що використовуються в побутових водонагрівальних та опалювальних системах (рисунок 4).

Цей колектор є теплоізовованою скляною панеллю, в яку вміщено пластина поглинач. Пластина поглинач виготовлена з металу, що добре проводить тепло (наприклад мідь або алюміній). Найчастіше використовують мідь, оскільки вона краще проводить тепло і менше схильна до корозії, ніж алюміній. Пластина поглинач оброблена спеціальним високоселективним покриттям, яке краще утримує поглинуте сонячне світло. Це покриття складається з дуже міцного тонкого шару аморфного напівпровідника, нанесеного на металеву основу, і відрізняється високою здатністю, до

поглинання у видимій області спектра і низьким коефіцієнтом випромінювання в довгохвильовій інфрачервоній області. В плоских колекторах зазвичай використовується матове скло, яке пропускає тільки світло, завдяки чому знижуються втрати тепла. Дно і бічні стінки колектора покривають теплоізолюючим матеріалом, що ще більше скорочує теплові втрати (рис. 5).



Рисунок 4 – Будова плоского сонячного колектора



Рисунок 5 – Зовнішній вигляд плоского сонячного колектора

Чим більше падаючої енергії передається теплоносію, що протікає в колекторі, тим вище його ефективність. Підвищити її можна, застосовуючи спеціальні оптичні покриття, не випромінюючі тепло в інфрачервоному

спектрі. Стандартним вирішенням підвищення ефективності колектора стало застосування абсорбера з листової міді із-за її високої теплопровідності.

У вакуумованому трубчастому сонячному колекторі можливе підвищення температур теплоносія аж до 250...300 °С у режимі обмеження відбору тепла. Добитися цього можна за рахунок зменшення теплових втрат в результаті використання багат шарового скляного покриття, герметизації або створення в колекторах вакууму.

У кожному вакуумовану трубку вбудований мідний поглинач з геліотітановим покриттям, що гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії і малу емісію теплового випромінювання. Вакумований простір дозволяє практично повністю усунути втрати тепла. На поглиначі встановлений коаксіальний трубчастий проточний теплообмінник, що виходить в колектор. Протікаючи через нього, теплоносій забирає тепло від поглинача. До переваг цієї системи можна віднести безпосередню передачу тепла воді, що дозволяє скоротити втрати тепла. Так як повний коефіцієнт втрат у вакуумному колекторі малий, теплоносій у ньому можна нагріти до температур 120...160 °С (рис. 6).

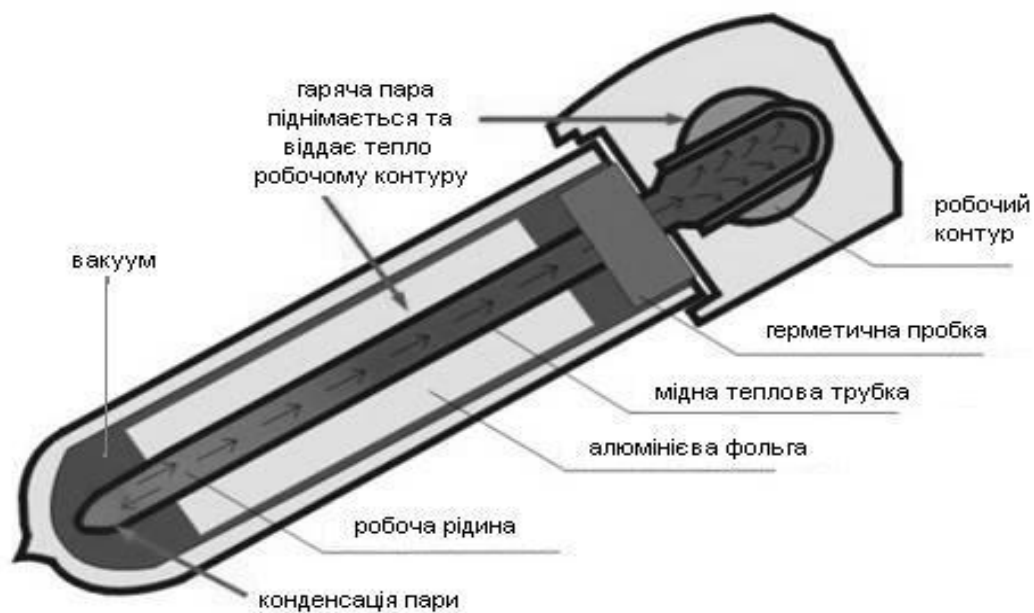


Рисунок 6 – Структура вакуумованого трубчастого сонячного колектора

Сонячна радіація проходить крізь вакуумовану скляну трубку, потрапляє на поглинач і перетворюється на теплову енергію. Тепло передається рідині, що протікає по коаксіальному трубчастому проточному теплообміннику. Кожна трубка теплообмінника сполучена з

накопичувальним баком так званим "колектором" – системою з 2 мідних труб. За однією з них нагріта вода передається в бак-накопичувач, за іншою – холодна вода з бака-накопичувача надходить на нагрів в вакуумовану трубку (рис. 7).



Рисунок 7 – Вакуумний трубчастий сонячний колектор

Конструкція вакуумного трубчастого колектора з тепловою трубкою схожа на конструкцію термоса: одинарна скляна чи металева трубка вставлена в іншу більшого діаметра. Між ними – вакуум, який є відмінною теплоізоляцією. Завдяки йому втрати на випромінювання, особливо помітні при підвищених температурах води, що нагрівається, дуже низькі. У кожному вакуумовану трубку вбудована мідна пластина поглинач з геліотітановим покриттям, що гарантує високий рівень поглинання сонячної енергії і малу емісію теплового випромінювання. Під поглиначем встановлена тепла труба, заповнена рідиною, що випаровується. За допомогою гнучкого сполучного елемента тепла труба приєднана до конденсатора, що знаходиться в теплообміннику типу "труба в трубі". З'єднання відноситься до так званого "сухого" типу, що дозволяє повертати або замінювати трубки і при заповненій установці, що знаходиться під тиском. Найбільш важлива перевага вакуумованого колектора з тепловою трубкою полягає в тому, що він здатний працювати при температурах до -30°C (колектори зі скляними тепловими трубками) або навіть до -45°C (колектори з металевими тепловими трубками).

Це більш складний і дорожчий тип колектора (рис. 8). Теплова трубка – це закрыта мідна чи скляна трубка з невеликим вмістом легкозаймистої рідини. Під впливом тепла рідина випаровується і забирає тепло вакуумної

трубки. Пари піднімаються у верхню частину, де конденсуються і передають тепло теплоносіям основному контуру водоспоживання або незамерзаючій рідини опалювального контуру. Конденсат стікає вниз, і все повторюється знову. Приймач сонячного колектора мідний з теплоізоляцією. Передача тепла відбувається через мідну "гільзу" приймача, завдяки цьому опалювальний контур відділений від трубок, і при пошкодженні однієї трубки колектор продовжує працювати. Окрему трубку можна замінити в разі необхідності, колектор при цьому продовжує функціонувати. Процедура заміни трубок дуже проста, при цьому немає необхідності зливати незамерзаючу рідину з контуру теплообмінника.



Рисунок 8 – Вакуумний трубчастий сонячний колектор з тепловою трубкою

Сучасні побутові сонячні колектори здатні нагрівати воду аж до температури кипіння навіть при від'ємній навколишній температурі.

Таблиця 1 – Порівняльна таблиця трубчастих і плоских колекторів

Вакуумні трубчасті	Плоскі високоселективні
Переваги	
Низькі тепловтрати	Здатність очищатися від снігу і іню
Працездатність в холодну пору року до -30С	Висока продуктивність влітку
Здатність генерувати високі температури	Відмінне співвідношення ціна/продуктивність для південних широт і теплого клімату
Тривалий період роботи протягом	Можливість монтажу під будь-яким

доби	кутом
Зручність монтажу	Менша початкова вартість
Низька парусність	
Відмінне співвідношення ціна/продуктивність для помірних широт і холодного клімату	
Недоліки	
Нездатність до самоочищення від снігу	Високі теплові втрати
Відносно висока початкова вартість проекту	Низька працездатність в холодну пору року

Сонячні повітряні колектори – це прилади, що працюють на енергії Сонця і нагрівають повітря. Сонячні повітряні колектори є найчастіше простими плоскими колекторами і використовуються в основному для опалювання приміщень, сушки сільськогосподарської продукції. Повітря проходить через поглинач завдяки природній конвекції або під впливом вентилятора. Оскільки повітря гірше проводить тепло, ніж рідина, то воно передає поглиначу менше тепла, рідкого теплоносія. У деяких сонячних повітрянагрівачах до поглинаючої пластини приєднані вентилятори, які збільшують турбулентність повітря і покращують теплопередачу. Недолік цієї конструкції в тому, що вона витрачає енергію на роботу вентиляторів, таким чином збільшуючи витрати на експлуатацію системи. У холодному кліматі повітря прямує в проміжок між пластиною-поглиначем і утепленою задньою стінкою колектора: таким чином, зменшуються втрати тепла через скло. Проте, якщо повітря нагрівається не більш, ніж на 17 вище за температуру зовнішнього повітря, тоді теплоносій може циркулювати по обидві сторони від пластини-поглинача без великих втрат ефективності роботи колектора. Основними перевагами повітряних колекторів є їх простота і надійність.

Такі колектори мають просту конструкцію. При належній експлуатації якісний колектор може прослужити 10...20 років, а управління ним досить просте. Теплообмінник не потрібний, оскільки повітря не замерзає. Потенційним способом зниження вартості колекторів є їх монтаж в стіни або в дахи будівель, а також створення колекторів, які можна буде збирати з готових збірних компонентів. Колектори призначені для обігріву приміщень в умовах достатньої сонячної освітленості і за відсутності (або паралельно з ними) інших джерел енергії. Колектори не можуть бути основною системою опалювання, оскільки не забезпечують постійних характеристик, як протягом

доби, так і при зміні сезонів року. Проте система може бути інтегрована в будь-яку існуючу систему опалювання приміщень.

2.2 Принципи дії колекторів

Основним елементом геліосистем є сонячний колектор (геліоколектор). Саме в поглинаючій панелі геліоколектора під впливом сонячного випромінювання (інфрачервоної складової) відбувається перетворення сонячної енергії в теплову, у результаті, панель розігрівається, а циркулюючий по каналах рідкий теплоносіє - відбирає отримане тепло. Прозора ізоляція (скло) і теплоізоляційний шар зменшують втрати теплової енергії. У двоконтурних системах нагрітий у колекторі теплоносіє надходить у внутрішній (чи зовнішній) теплообмінник бака-акумулятора, де передає отриману теплову енергію воді. Потім охолоджений теплоносіє повертається в колектор і знову нагрівається – цикл замикається. Теплоносіє безперервно циркулює між колекторами та баком до того часу, доки не буде отримано достатньо сонячної енергії, щоб нагрівати воду.

Сонячний колектор – найбільш відомий пристрій, що безпосередньо використовує енергію Сонця, вони були розроблені близько двохсот років тому. Найвідоміший з них – плоский колектор – був виготовлений в 1767 році швейцарським вченим на ім'я Горацій де Соссюр. Пізніше ним скористався для приготування їжі сер Джон Гершель під час своєї експедиції до Південної Африки в 30-х роках XIX століття.



Рисунок 9 – Застосування сонячних колекторів у побуті

На практиці, сучасний ефективний плоский геліоколектор працює із середнім коефіцієнтом корисної дії (ККД) близько 50%, більш застарілі моделі працюють із ККД – 20...40%. ККД сонячного колектора нестабільний і може визначатися тільки для конкретних умов експлуатації в окремий момент часу (рисунок 10). Чим нижче температура, до якої потрібно нагріти теплоносії, тим вище ККД геліоколектора.

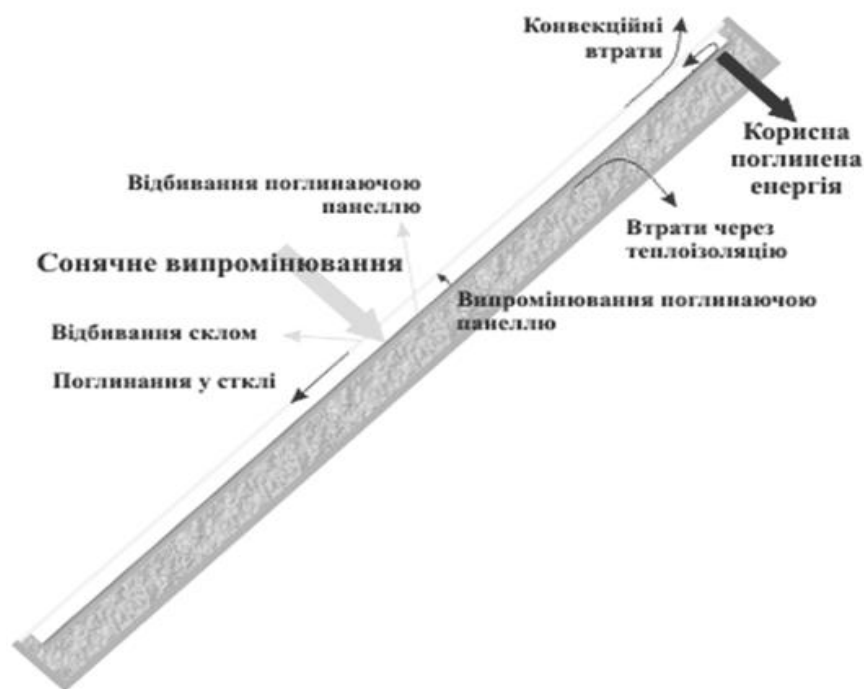


Рисунок 10 – Втрати теплової енергії у плоскому сонячному колекторі

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.

Використовуючи енергію сонця, геліосистеми дозволяють заощаджувати до 75% традиційного палива, яке необхідно для нагрівання гарячої води, і до 50% необхідного для опалення. Принцип роботи такої геліосистеми схематично зображений на рисунку 11.

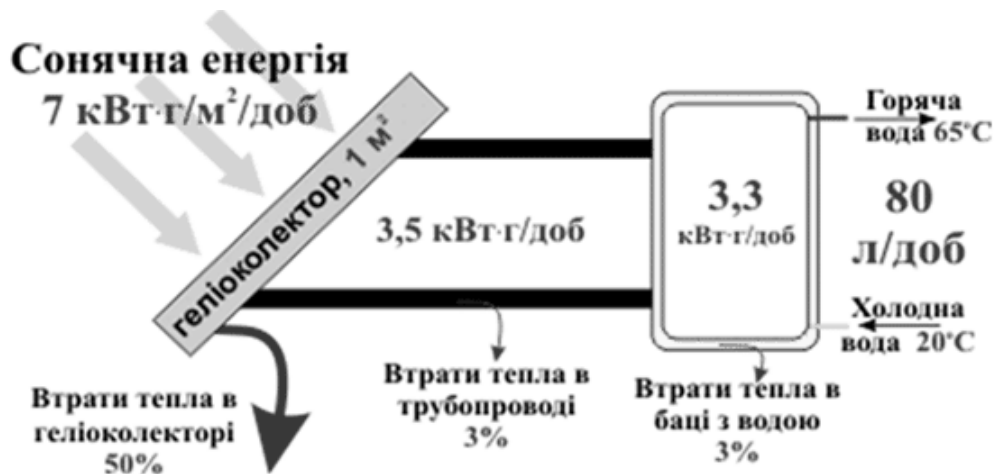


Рисунок 11 – Умовне вироблення теплової енергії для нагрівання води в сонячний день, геліосистемою, що складається з 1 м² ефективного геліоколектора і бака з гарячою водою на 80...100 л

Системи сонячного теплопостачання вважаються одними із самих надійних і довговічних, за умови, якщо вони були правильно розраховані, використовувалося ефективно і якісне устаткування, а також були якісно змонтовані. Будь-яка помилка може призвести до того, що система не буде виробляти бажану кількість теплової енергії або взагалі швидко вийде з ладу.

3. Сонячна фотоенергетика

Останнім часом через швидкий розвиток космічної техніки у світі зросла цікавість до установок, які безпосередньо перетворюють сонячну радіацію на електричну енергію за допомогою напівпровідникових фотоелектроперетворювачів (ФЕП). Вартість електроенергії, що виробляється фотоелектричними установками (ФЕУ) на сьогодні в декілька разів вища, ніж на електричних станціях з тепловим циклом. Незважаючи на це, ФЕУ активно впроваджуються як у розвинутих країнах, так і в країнах, що розвиваються. При цьому можна дослідити дві протилежні тенденції.

У країнах, що розвиваються, мова йде про застосування порівняно невеликих установок для електропостачання індивідуальних будинків у віддалених селах, для оснащення культурних центрів, де завдяки ФЕУ можна користуватися телевізором тощо. В цих випадках на перший план виступає не вартість електроенергії, а соціальний ефект. Програми впровадження ФЕУ в країнах, що розвиваються, активно підтримуються міжнародними організаціями, в їх фінансуванні бере участь Світовий банк на основі висунутої ними "Сонячної ініціативи".

У промислово розвинених країнах активне впровадження ФЕУ пояснюється кількома факторами. По-перше, ФЕУ розглядаються як екологічно чисті джерела, що здатні зменшити забруднення довкілля. По-

друге, використання ФЕУ у приватних будинках підвищує енергетичну автономію. По-третє, вартість прокладання ліній електроживлення у важкодоступній місцевості становить 5...15 тис. дол./км. По-четверте, велике значення має динаміка зміни показників ФЕУ за останні два десятиліття, на основі якої на найближчий час прогнозується досягнення конкурентоспроможності ФЕУ для широкого використання.

Вперше явище фотоефекту спостерігав французький фізик Беккерель в 1839 році, отримавши потік електронів при освітленні сонячним світлом пластини оксиду міді. Винахід був широко впроваджений у життя після відкриття напівпровідників. Фотоефект – це виривання електронів з молекул речовини під дією світла. Як світлочутлива зона фотоелементів використовується селен (Se), кристалічний кремній (Si), аморфний кремній (SiGe) тощо. Фотоефект утворюється, коли фотон (світловий промінь) падає на елемент із двох матеріалів з різним типом електричної провідності (діркова або електронна). Потрапивши в такий матеріал, фотон вибиває електрон з його комірки, утворюючи вільний від'ємний заряд і "дірку". В результаті рівновага так званого р-п переходу порушується, і в колі виникає електричний струм. Будову кремнієвого фотоелемента показано на рисунку 12. Найближчими "родичами" сонячних фотоелементів є транзистори, світлодіоди та інші електронні пристрої.

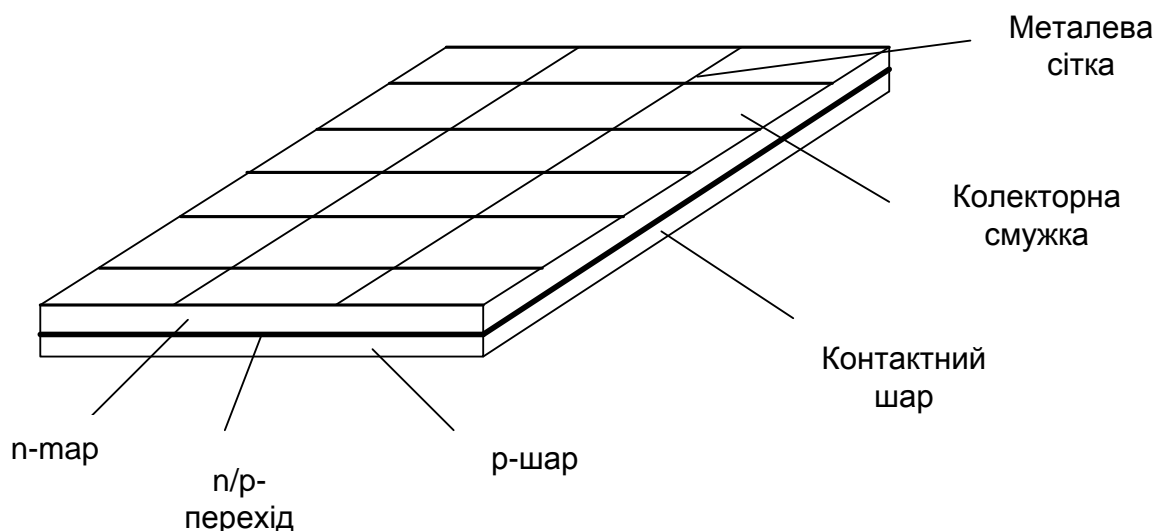


Рисунок 12 – Схема кремнієвого елемента

Чутливість фотоелемента залежить від довжини хвилі світла та прозорості верхнього шару елемента. В ясну погоду кремнієві елементи виробляють електричний струм приблизно 0,5 В і 25 мА на 1 см² або 12...13 мкВт/см². Найбільш поширені кремнієві фотоелементи. Вони бувають

монокристалічні та полікристалічні. Різниця між цими матеріалами полягає в специфіці отримання початкових кремнієвих заготовок при їх вирощуванні з розплавів. Монокристалічна заготовка більш однорідна але дорожча. Полікристалічна – менш однорідна, має нижчу вартість, що може бути вирішальним фактором, коли йдеться про виготовлення фотоелементів. Теоретична ефективність кремнієвих елементів становить приблизно 28%, а практична – від 14% до 16% .

Незважаючи на поширену хибну думку, насправді фотоелементи виробляють більше енергії при низьких температурах. Це пояснюється тим, що фотоелементи – це електронні пристрої й виробляють енергію від світла, а не від тепла, тобто працюють ефективніше в холоді, ніж при високих температурах. А взимку вони виробляють менше енергії лише за рахунок скорочення світлового дня, а також 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 від 5 до 200 Вт. На сонячних фотоелектричних станціях сонячні батареї використовуються для складання фотоелектричних генераторів. На рисунку 13 представлена блок-схема сонячної фотоелектричної станції. Термін служби такої станції становить 20...30 років, експлуатаційні витрати мінімальні.

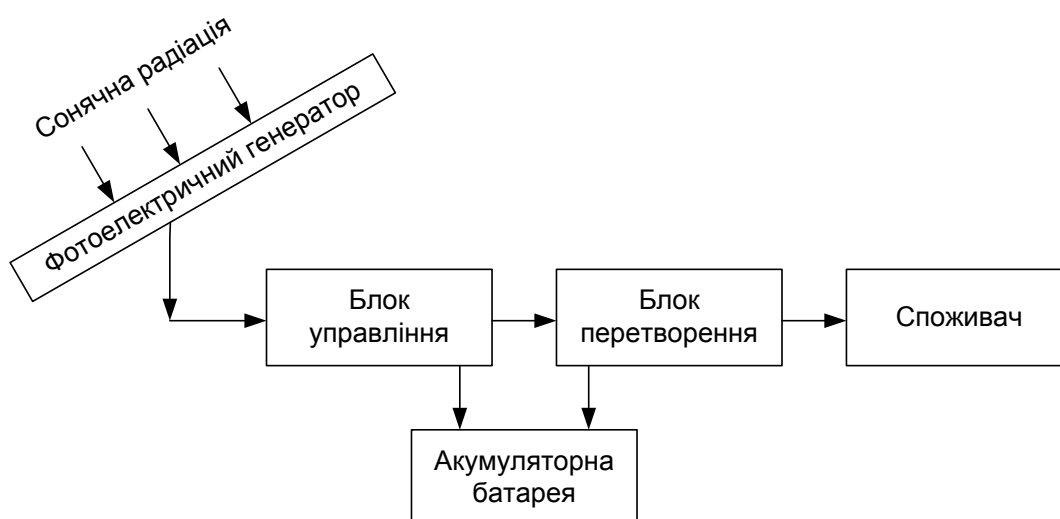


Рисунок 13 – Схема сонячної фотоелектричної установки.

Сонячні фотоелектричні станції використовуються для живлення водопідйомних насосів, телекомунікаційних систем, катодного захисту трубопроводів, в приватних господарствах тощо.

Основною перешкодою на шляху розвитку фотоенергетики є велика вартість встановленої потужності та, відповідно, генерованої електроенергії. Станом на 1997 рік середня вартість встановленої потужності сонячних батарей становила приблизно 8 грн/кВт·год, а вартість генерованої електроенергії 0,3...0,4 грн/кВт·год.

3.1 Сонячні модулі

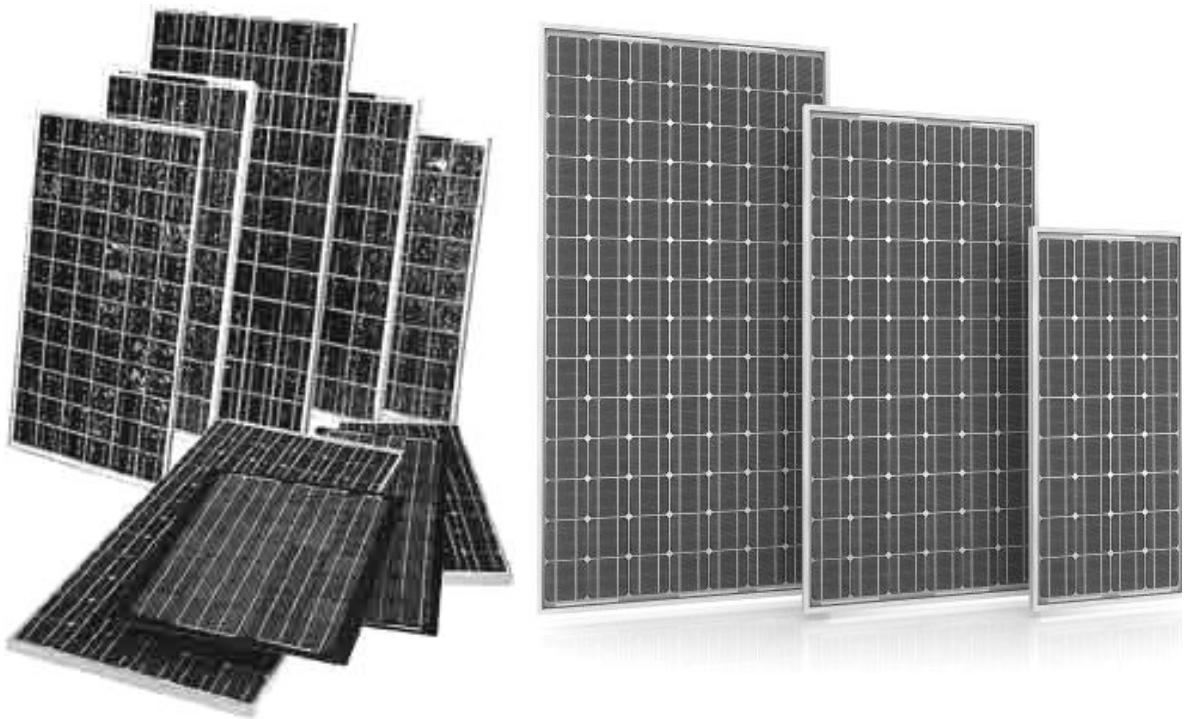


Рисунок 14 – Сонячні модулі

Сонячний модуль – це батарея взаємозв'язаних сонячних елементів, змонтованих під скляною кришкою (рис. 14). Фотоелектричну систему можна довести до будь-якого розміру. Власник такої системи може збільшити або зменшити її, якщо зміниться його потреба в електроенергії. По мірі зростання енергоспоживання і фінансових можливостей, власник може додавати модулі. Чим інтенсивніше світло, падаюче на фотоелементи і чим більше їх площа, тим більше виробляється електрики і тим більша сила струму. Модулі класифікуються по піковій потужності у ватах (Вт). Ват – одиниця вимірювання потужності. Один піковий ват – технічна характеристика, яка вказує на значення потужності установки в певних умовах, тобто коли сонячне випромінювання в 1 кВт/м² падає на елемент при температурі 25 °С. Така інтенсивність досягається при хороших погодних умовах і знаходження Сонця в зеніті. Щоб виробити один піковий ват, потрібен один елемент розміром 10х10 см. Більші модулі, площею 100х40 см, виробляють близько 40...50 Вт. Проте сонячна освітленість рідко досягає

величини 1 кВт/м^2 . Більш того, на сонці модуль нагрівається значно вище за номінальну температуру. Обидва ці чинники знижують продуктивність модуля.

Незважаючи на те, що якість продукції не завжди однакова, більшість міжнародних компаній виробляє достатньо надійні фотоелектричні модулі з терміном експлуатації до 20 років. На сьогоднішній день виробники модулів гарантують вказану потужність на період до 10 років.

3.2 Сонячні електростанції



Рисунок 15 – Сонячна електростанція в США потужністю 270 МВт

Сонячне випромінювання – екологічно чисте і відновлюване джерело енергії. Запаси сонячної енергії величезні. До початку ХХІ століття людство розробило і освоїло ряд принципів перетворення теплової енергії в електричну. Їх можна умовно розділити на машинні і безмашинні методи. Останні часто називають методами прямого перетворення енергії, оскільки в них відсутня стадія перетворення теплової енергії в механічну роботу.

Принципова схема замкнутої газотурбінної установки виглядає так. Сонячна радіація, зібрана концентратором на поверхні сонячного котла, нагріває робоче тіло – інертний газ до температур порядку $1200...1500 \text{ }^{\circ}\text{K}$ і під тиском, створюваним компресором, подає гарячий газ на лопатки газової

турбіни, яка приводить в дію електрогенератор змінного струму. Відпрацювавши у турбіні газ надходить спочатку в регенератор, де підігріває робочий газ після компресора. Тим самим він полегшує роботу основного нагрівача – сонячного котла. Потім газ охолоджується в холодильнику-випромінювачі.

В енергоустановки з паротурбінним перетворювачем зібрана концентратором сонячна енергія нагріває в сонячному котлі робочу рідину, що переходить в насичений стан, а потім і в перегріту пару, що розширюється в турбіні, з'єднаній з електрогенератором. Після конденсації в холодильнику-випромінювачі відпрацьована в турбіні пара і її конденсат, стиснута насосом, знов потрапляє в котел. Оскільки підвід і відвід тепла в цій установці здійснюються ізотермічно, середні температури підведення та відведення виявляються вищими ніж у газотурбінної установки, а питомі площі випромінювача і концентратора можуть виявитися меншими. У подібної установки, що працює на органічному робочому тілі, коефіцієнт корисної дії становить 15...20 % при порівняно невисоких температурах підведеного тепла – всього 600...650°K.

Від багатьох недоліків, властивих машинним перетворювачам, вільні енергоустановки з так званими безмашинними перетворювачами: термоелектричні, термоемісійні та фотоелектричні, безпосередньо перетворюють енергію сонячного випромінювання в електричний струм.

В принцип дії термоелектрогенераторів покладено термоелектричний ефект, відкритий в 1821 році німецьким фізиком Т. І. Зеебеком, що являє собою виникнення на кінцях двох різнорідних провідників термо-е.р.с., якщо кінці цих провідників знаходяться при різній температурі. Відкритий термоелектричний ефект спочатку використовувався в термометрії для вимірювання температур. На той час енергетичний ККД таких пристроїв – термопар, який чисельно рівний відношенню електричної потужності, що виділяється на навантаженні, до підведеного тепла, становив лише долі одного процента. Тільки після того, як академік А. Ф. Йоффе запропонував використовувати для виготовлення термоелементів замість металів напівпровідники, стало можливим енергетичне використання термоелектричного ефекту, і в 1940-1941 роках в Ленінградському фізико-технічному інституті був створений перший у світі напівпровідниковий термоелектрогенератор. Працями науковців і його школами в 40-50-ті роки була розроблена і теорія термоелектричного ефекту в напівпровідниках, а також синтезовані досить ефективні (до даного часу) термоелектричні матеріали.

Сполучаючи між собою окремі термоелементи, можна створювати досить потужні термобатареї. Електростанція потужністю 10 ГВт може важити до 200 тисяч тонн. Зниження ваги енергоустановки прямо пов'язане з підвищенням коефіцієнта корисної дії перетворення сонячної енергії в електрику.

Цього можна досягти двома шляхами: збільшенням термічного коефіцієнта корисної дії перетворювача і зниженням незворотних втрат енергії у всіх елементах енергоустановки.

У першому випадку концентроване випромінювання дозволяє одержувати дуже високі температури. Але одночасно при цьому значно зростають вимоги до точності систем спостереження за Сонцем, що для величезних за розмірами концентруючих систем мало ймовірно. Тому зусилля дослідників постійно були спрямовані на зниження незворотних втрат. Вони спробували зменшити перетікання тепла з гарячих спаїв на холодні теплопровідністю. Для вирішення цього завдання потрібно домогтися збільшення добротності напівпровідникових матеріалів.

Але після багаторічних спроб синтезувати напівпровідникові матеріали з високою добротністю стало зрозуміло, що досягнута величина є граничною. Тоді виникла ідея розділити гарячий і холодний спай повітряним проміжком, аналогічно будови двохелектродної лампи – діод. Якщо в такій лампі розігрівати один електрод – катод і при цьому охолоджувати другий електрод – анод, то в зовнішньому електричному колі виникне постійний струм. Вперше це явище спостерігав у 1883 році Томас Едісон.

Головні складові незворотних втрат у ТЕП пов'язані з неізотермічним характером підведення та відведення тепла на катодах і анодах, перетіканням тепла з катода на анод за елементами конструкції ТЕП, а також з омічними втратами в елементах послідовного з'єднання окремих модулів.

Для досягнення високого ККД циклу Карно сучасні ТЕП створюють на робочі температури катодів в межах 1700...1900 °К, що при температурах охолоджуваних анодів порядку 700 °С дозволяє отримувати ККД близько 10 %. Таким чином, завдяки зниженню незворотних втрат в самому перетворювачі і при одночасному підвищенні температури підведення тепла ККД ТЕП виявляється вдвічі вищою, ніж у описаного вище ТЕГ, але при істотно більш високих температурах підведення тепла.

Тепер розглянемо фотоелектричний метод перетворення енергії. У сонячних батареях використовується явище зовнішнього фотоефекту, що проявляється на р-п перехід в напівпровіднику при освітленні його світлом. Створюють р-п (або n-р) перехід шляхом введення в монокристалічний

напівпровідниковий матеріал-базу домішки з протилежним знаком провідності. При попаданні на р-п перехід сонячного випромінювання відбувається збудження електронів валентної зони і утворюється електричний струм у зовнішньому колі. Коефіцієнт корисної дії сучасних сонячних батарей досягає 13...15 %.

У сонячних електростанцій є одна, але досить істотна проблема. Отримувати і використовувати "чисту" сонячну енергію на поверхні Землі заважає атмосфера. А що, якщо розмістити сонячні електростанції в космосі, на навколоземній орбіті. Там не буде атмосферних перешкод, невагомість дозволить створювати багатокілометрові конструкції, які необхідні для "збору" енергії Сонця. У таких станцій є велика перевага. Перетворення одного виду енергії в інший неминуче супроводжується виділенням тепла, і скидання його в космос дозволить запобігти небезпечне перегрівання Земної атмосфери.

Як насправді будуть виглядати сонячні космічні електростанції, сьогодні точно сказати не можна. Відомо, що до проектування подібних електростанцій конструктори приступили ще в кінці 1960-х років. Будь-який варіант проекту сонячної космічної електростанції припускає, що це колосальна споруда. Навіть найменша космічна електростанція повинна важити десятки тисяч тонн. І цю гігантську масу необхідно буде запустити на віддалену від Землі орбіту.

Сучасні засоби виведення можуть доставити на низьку – опорну – орбіту необхідну кількість блоків, вузлів і панелей сонячних батарей. Щоб зменшити масу величезних дзеркал, які концентрують сонячне світло, можна робити їх з найтоншої дзеркальної плівки, наприклад, у вигляді надувних конструкцій. Зібрані фрагменти сонячної космічної електричної станції потрібно доставити на високу орбіту і зістикувати там. А долетіти до "місця роботи" секція сонячної електростанції зможе своїм ходом, досить лише встановити на ній електроракетні двигуни малої тяги.

Але це в майбутньому. На даний час сонячні батареї з успіхом живлять космічні станції.

4. Екологічні наслідки розвитку геліоенергетики

Сонячні станції є ще недостатньо вивченими об'єктами, тому віднесення їх до екологічно чистих електростанцій не можна вважати повністю обґрунтованим. У кращому випадку до екологічно чистої можна віднести кінцеву стадію – стадію експлуатації СЕС, і то відносно.

Сонячні станції є досить землеємкісні. Питома землеємкість СЕС змінюється від 0,001 до 0,006 га / кВт з найбільш імовірними значеннями 0,003...0,004 га / кВт. Це менше, ніж для ГЕС, але більше, ніж для ТЕС і АЕС. При цьому треба врахувати, що сонячні станції досить матеріалоємкісні (метал, скло, бетон і т.д.), до того ж у наведених значеннях землеємкості не враховуються вилучення землі на стадіях видобутку та обробки сировини. У разі створення СЕС з сонячними ставками збільшиться небезпека забруднення підземних вод розчинами солей.

Сонячні концентратори викликають великі за площею затінення земель, що призводить до значних змін ґрунтових умов, рослинності і т. д. Небажану екологічну дію в районі розташування станції викликає нагрівання повітря при проходженні через нього сонячного випромінювання, сконцентованого дзеркальними відбивачами. Це призводить до зміни теплового балансу, вологості, напрямку вітрів; в деяких випадках можливий перегрів прилягаючих до СЕС території, що стає причиною загоряння систем, що використовують концентратори. Застосування рідин з низькою температурою кипіння та можливість їх витоку із конструкцій в сонячних енергетичних системах, під час тривалої експлуатації можуть призвести до значного забруднення питної води в місцях розташування СЕС. Особливу небезпеку становлять рідини, що містять хромати і нітроти, які є високотоксичними речовинами.

Геліотехніка непрямым чином впливає на навколишнє середовище. У районах її розвитку повинні зводитися великі комплекси з виробництва бетону, скла і сталі. Під час виготовлення кремнієвих, кадмієвих та арсенідогелієвих фотоелектричних елементів у повітрі виробничих приміщень з'являються мікрочастинки, небезпечні для здоров'я людей.

Космічні СЕС за рахунок НВЧ-випромінювання можуть впливати на клімат, створювати перешкоди теле- та радіозв'язку, впливати на незахищені живі організми, що потрапили в зону його впливу. У зв'язку з цим необхідно використовувати екологічно чистий діапазон хвиль для передачі енергії на Землю.

Несприятливий вплив СЕС на навколишнє середовище може проявлятися наступним чином:

- у відчуженні значних земельних площ під спорудження СЕС;
- у великій матеріаломісткості споруд СЕС;
- у можливості витоку робочих рідин, що містять хлорати і нітроти, у навколишнє середовище;

- у небезпеці перегріву і загоряння систем та обладнання СЕС, зараження продуктів токсичними речовинами при використанні сонячних систем в сільському господарстві;
- у зміні теплового балансу, вологості, напрямку вітру в районі розташування станції;
- у затемненні великих територій сонячними концентраторами, можливих негативних та необоротних змін в структурі земель, що відведені під СЕС;
- у впливі СЕС на клімат космічних об'єктів;
- у створенні перешкод телевізійної трансляції та радіозв'язку;
- у передачі енергії на Землю у вигляді мікрохвильового випромінювання, небезпечного для живих організмів і людини.