

СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ – ОСНОВНІ ВИДИ ТА ТИПИ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ

**А.В. Гнатов, професор, д.т.н., Щ.В. Аргун, к.т.н., доцент,
В.О. Череватий, студент, О.А. Ульянець, інженер, ХНАДУ**

***Анотація.** Проведено аналіз методів перетворення сонячної енергії в електричну. Представлено загальну характеристику термоелектричного, термоемісійного і фотоелектричного перетворення сонячної енергії в електричну. Розглянуто основні види та типи сонячних електростанцій з зазначенням їх принципу дій та конструктивних особливостей. Перелічені основні переваги та недоліки що притаманні сонячним електростанціям.*

***Ключові слова:** сонячна електростанція, енергозберігаючі технології, сонячна енергія, фотоелектричні модулі.*

СОЛНЕЧНАЯ ЭНЕРГИЯ – ОСНОВНЫЕ ВИДЫ И ТИПЫ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

**А.В. Гнатов, профессор, д.т.н., Щ.В. Аргун, к.т.н., доцент,
В.А. Череватый, студент, О.А. Ульянець, инженер, ХНАДУ**

***Аннотация.** Проведен анализ методов преобразования солнечной энергии в электрическую. Представлена общая характеристика термоэлектрического, термоэмиссионного и фотоэлектрического преобразования солнечной энергии в электрическую. Рассмотрены основные виды и типы солнечных электростанций с указанием их принципа действий и конструктивных особенностей. Перечислены основные преимущества и недостатки присущие солнечным электростанциям.*

***Ключевые слова:** солнечная электростанция, энергосберегающие технологии, солнечная энергия, фотоэлектрические модули.*

SOLAR ENERGY - SOLAR ENERGY - BASIC KINDS AND TYPES OF SOLAR POWER STATIONS

**A. Hnatov, professor, dr. eng. sc., Shch. Arhun, assistant professor, cand. eng. sc.,
V. Cherevatyi, student, O. Ulyanets, engineer, KhNAHU**

***Annotation.** We carried out the analysis of the methods of solar energy conversion into electric power in this paper. It presents the general characteristics of thermoelectric, thermionic emission and photoelectric conversion of solar energy into electrical one. There had been considered the basic kinds and types of solar power stations with the indication of their operating principles and design features. We list the main advantages and disadvantages that are inherent in solar power stations.*

***Keywords:** solar power station, energy saving technologies, solar energy, solar modules.*

Вступ

Сонячна енергетика заснована на перетворенні сонячного випромінювання в електричну та теплову енергію. Отримана таким шляхом «зелена» енергія є найбільш перспективною з точки зору альтернативних та по-

новлювальних джерел [1-4].

Сонячне випромінювання – екологічно чисте, що не виробляє шкідливих відходів, поновлюване джерело енергії. Запаси енергії сонячного випромінювання величезні: щорічно на Землю надходить $1,05 \cdot 10^{18}$ кВт·год

сонячної енергії, з яких $2,0 \cdot 10^{17}$ кВт·год падає на поверхню суші. Для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію (ЕЕ) використовують різного виду та типу сонячні електростанції (СЕС) [5].

Незважаючи на величезну кількість сонячної енергії, що надходить на поверхню Землі, її використання для великомасштабного отримання ЕЕ пов'язане з суттєвими проблемами. Причому, слід зазначити, що для різних типів СЕС ці проблеми різні. Зазвичай вони пов'язані з такими природними факторами, як низька щільність сонячної радіації на поверхні землі, переривчастий характер її надходження тощо.

Сучасні СЕС засновані на різних методах перетворення сонячної енергії в ЕЕ.

На цей час розроблено і освоєно в промислових масштабах ряд принципів перетворення сонячної енергії в електричну, які умовно можна розділити на:

- пряме перетворення (безмашинне – енергія сонця безпосередньо перетворюється в електричну без проміжної стадії перетворення її в теплову енергію);
- непряме перетворення (машинне – має проміжну стадію перетворення теплової енергії в механічну роботу) [6-8].

Мета роботи: проведення аналізу методів перетворення сонячної енергії в електричну та теплову з розкриттям основних видів та типів сонячних електростанцій.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- провести аналіз основних методів перетворення сонячної енергії в електричну та теплову;
- дослідити термоелектричне, термомісійне та фотоелектричне перетворення сонячної енергії;
- розглянути та дослідити основні види СЕС;
- провести аналіз основних типів СЕС;
- розкрити основні переваги та недоліки наявних СЕС.

Основні види перетворення сонячної енергії в електричну

Пряме перетворення сонячної енергії в електричну. На сонячних електростанціях, що працюють на основі прямого перетворення

сонячної енергії в електричну, застосовуються термоелектричні, термомісійні і фотоелектричні (у вигляді сонячних батарей) перетворювачі – без проміжної стадії перетворення сонячної радіації в теплову енергію і механічну роботу. Коротко представимо особливості схем цих перетворювачів і сутність їх роботи [6-8].

Термоелектричне перетворення сонячної енергії в електричну. Термоелектричний метод перетворення сонячної енергії був відкритий в 1821 р. німецьким фізиком Т.І. Зеебеком. Він заснований на ефекті, що складається у виникненні термо-ЕРС на кінцях двох різнорідних провідників, що знаходяться при різній температурі.

Спочатку цей ефект використовувався в термометрії для вимірювання температур за допомогою пристроїв-термопар, що мають енергетичний ККД, який визначається відношенням електричної потужності на навантаженні до підведеного тепла, яке не перевищує частки відсотку.

Тільки після того, як академік А.Ф. Іоффе на початку 1940-х рр. запропонував використовувати для виготовлення термоелементів напівпровідники замість металів, вдалося істотно підвищити ККД і стало можливим використання термоелектричного ефекту в енергетиці.

ККД термоелектричного перетворювача можна визначити за наступним виразом:

$$\eta = \frac{T_G - T_X}{T_G} \cdot \frac{M - 1}{M + \frac{T_X}{T_G}},$$

де $M = \sqrt{1 + zT_{CP}}$;

$z = \frac{\alpha \cdot \sigma}{\lambda}$ – добротність напівпровідникового матеріалу, 1/К;

T_G – температура гарячого спаю термоелемента, К;

T_X – температура холодного спаю, К;

$T_{CP} = \frac{T_G + T_X}{2}$ – середня температура гілки термоелемента, К;

M – критерій Іоффе;

α – приведена диференціальна термо-ЕРС гілок термоелементів, мкВ/К;

σ – приведена електропровідність, 1/(Ом·м);

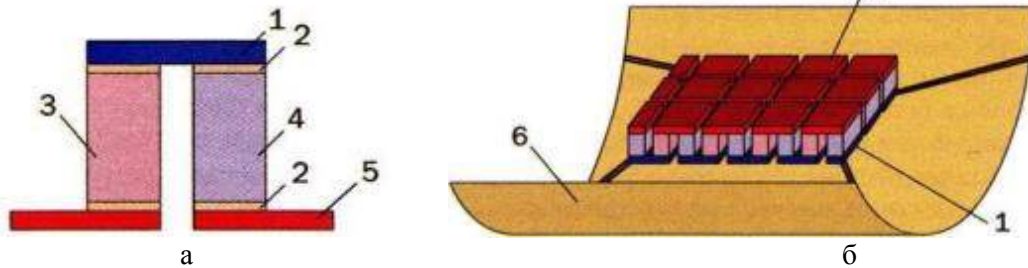
λ – теплопровідність гілок термоелементів, Вт/(м·К).

Схема термоелектричного перетворювача енергії показана на рис. 1.

Поєднуючи між собою окремі термоелементи, як це показано на рис. 1,б можна створювати досить потужні термобатареї, кожна з яких розміщується в фокальній площині концентратора 6. При цьому гарячі спаї 1 батареї безпосередньо обігріваються соняч-

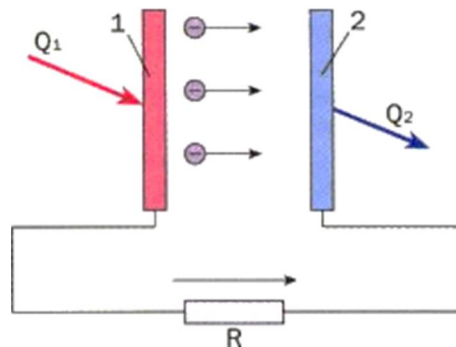
ною концентрованою радіацією, а відведення тепла від холодних спаїв здійснюється випромінюванням.

Термоемісійне перетворення енергії. Термоемісійний метод перетворення енергії заснований на відкритому в 1883 р. Томасом Едісоном явищі термоелектронної емісії, яке полягає у випуску електронів з поверхні речовини при його нагріві. Принципова схема термоемісійного перетворювача показана на рис. 2.



а – окремий термоелемент перетворювача; б – термоелектричний модуль;
1 – гарячі спаї; 2 – антидифузійний шар; 3, 4 – позитивні і негативні кола, за якими відбувається перетік тепла в перетворювачі; 5 – холодні спаї; 6 – концентратор сонячного випромінювання

Рис. 1 – Схема термоелектричного перетворювача енергії



1 – катод (емітер), до якого підводиться теплова енергія; 2 – охолоджуваний анод (колектор);
 Q_1 , Q_2 – тепло, що підводиться до катода; Q_2 – тепло, що відводиться від анода;
 R – зовнішнє навантаження

Рис. 2 – Схема принципова термоемісійного перетворювача

У разі забезпечення безперервного підведення тепла до емітера і відповідного охолодження колектора, який отримує тепло від електронів, що його досягають, у зовнішньому колі буде підтримуватися електричний струм, і таким чином буде відбуватися робота.

Термоемісійний перетворювач сонячної енергії є генератором електроенергії, в якому нагрів емітера здійснюється безпосередньо сонячним випромінюванням.

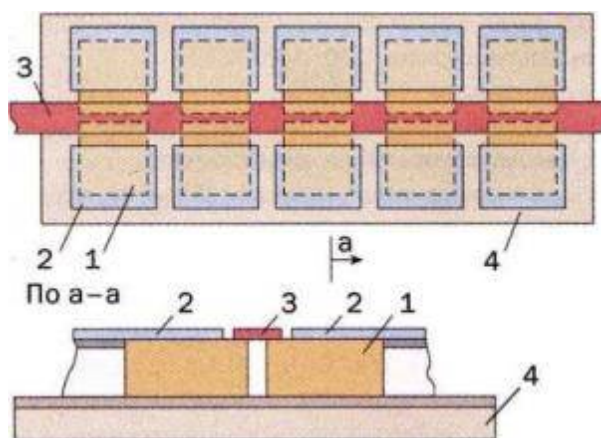
Фотоелектричне перетворення сонячної енергії. Фотоелектричний метод перетворення сонячної енергії заснований в 1839 р. Е. Бек-

керелем, а потім в 1873 р У. Смітом на явищі фотоелектричного ефекту та полягає в випускненні електронів речовиною під дією світла. Незважаючи на недосконалість цих перших дослідів зі спостереження явища фотоелектричного ефекту, вони, тим не менш, ознаменували собою початок історії напівпровідникових сонячних елементів (СЕ): на початку 1920-х рр. в лабораторії Белла в процесі пошуку нових джерел енергії був винайдений кремнієвий СЕ, який став попередником сонячних перетворювачів.

Відзначимо, що для цілей перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику практично може бути застосований лише фо-

то ефект замикаючого шару (фотоефект на $p-n$ переході), який являє собою деяку область між двома частинами речовини з різним типом провідності.

Схема сонячної батареї, заснованої на явищі фотоефекту, який проявляється у $p-n$ переході в напівпровіднику при висвітленні його потоком світла, показана на рис. 3.



1 – сонячний елемент; 2 – захисне скло; 3 – комутаційна шина; 4 – підкладка
Рис. 3 – Схема сонячної батареї, заснованої на явищі фотоефекту, який проявляється на $p-n$ -переході напівпровіднику

В цій батареї $p-n$ (або $n-p$) перехід створюють введенням в монокристалічний напівпровідниковий матеріал-базу домішки з протилежним знаком провідності (наприклад, в кремній вводять алюміній або літій). В результаті при попаданні на $p-n$ -перехід сонячного випромінювання відбувається збудження електронів валентної зони, і у зовнішньому колі утворюється електричний струм. ККД сучасних сонячних батарей досягає 13...23 %, причому він найбільш високий в разі використання на СЕС ультратонких СЕ.

Непряме перетворення сонячної енергії в електричну. Найбільш відомими непрямыми перетворювачами енергії є паро- і газотурбінні установки, що працюють на ТЕС і АЕС. Принципово вони можуть працювати і в умовах космосу зі спеціальним теплообмінником-випромінювачем, який виконує роль конденсатора пару, але на відміну від наземної паротурбінної установки, де теплота відводиться потоком води, в умовах космосу відведення тепла від відпрацьованого пару в паровій турбіні або газу в газовій турбіні можливо тільки випромінюванням. Тобто енергоустановки повинні бути замкнутими. Випробування дослідної газотурбінної установки замкнутого типу потужністю 3 кВт показали, що її ККД дорівнює 11%.

Види СЕС

На даний час побудовані і успішно працю-

ють в багатьох країнах світу два види СЕС (у відповідності до розглянутих принципів) [8, 9]:

- фотоелектричні – безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електричну за допомогою сонячних фотоелементів;
- термодинамічні – перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну.

Фотоелектричні сонячні електростанції. Головними елементами таких станцій є сонячні батареї, що складаються з тонких плівок кремнію або других напівпровідникових матеріалів, які перетворюють сонячну енергію в постійний електричний струм. Їх відмінні риси: надійність, стабільність, здатність перетворювати як пряме, так і розсіяне сонячне світло, невелика маса, простота обслуговування, модульний тип конструкції, що дозволяє створювати установки будь-якої потужності. Основний недолік – висока вартість і низький ККД.

Термодинамічні сонячні електростанції. Основу таких станцій складають теплообмінні елементи з селективним світлопоглинальним покриттям, що здатні поглинати до 97 % сонячного світла, яке потрапляє на них, причому ці елементи навіть за рахунок звичайного сонячного освітлення можуть нагріватися до 200 °С і більше. Внаслідок цього, вода перетворюється в пар в звичайних парових котлах, що дозволяє отримати в паровій турбіні ефективний термодинамічний цикл. ККД соняч-

ної паротурбінної установки може досягати 20 %.

Відзначимо, що на основі термодинамічної ефекту була розроблена конструкція сонячної аеростатної електростанції (САЕС), у якій в якості джерела енергії використовується заповнений водяною парою балон аеростата.

Типи сонячних електростанцій

Усі СЕС поділяють на такі типи [10, 11]:

- баштові, рис. 4;
- тарілчасті, рис. 5;
- СЕС, на фотоелектричних модулях, рис. 6;
- СЕС з параболоциліндричними концентра-

торами, рис. 7;

- комбіновані рис. 8;

- аеростатні рис. 9;

- сонячні космічні електростанції рис. 10, 11;

- сонячно-вакуумні електростанції, рис. 12;

- електростанції на двигуні Стірлінга, рис. 13.

Баштові СЕС отримали свою назву внаслідок того, що в центрі кожної з таких станцій стоїть вежа висотою від 18 до 24 м. На її вершині знаходиться резервуар з водою і насосною групою, що поставляє паровим турбінам пару, яка отримується в результаті випаровування води за рахунок сонячних променів, що приходять від розташованих по колу від вежі геліостатів рис. 4.



Рис. 4 – Баштові сонячні електростанції

Тарілчасті СЕС отримали свою назву внаслідок того, що основними їх елементами є схожі на супутникові тарілки параболічні дзеркала, за допомогою яких сонячне випромінювання фокусується на розташованому в точці фокусу кожного дзеркала приймачі сонячної енергії, що здійснює нагрівання рідкого теплоносія до температури 1000°C. При цій температурі теплоносій безпосередньо

передається в генератор електроенергії (рис. 5). Ці електростанції мають схожий функціонал з попередніми але складаються вони не з суцільного матеріалу, а мають конструкторну систему збору, що складається з кількох модулів. Зазвичай в таких установках, монтаж проводиться на висоті, де встановлюються як приймачі, так і відбивачі.



Рис. 5 – Тарілчасті сонячні електростанції

СЕС на фотоелектричних модулях на сьогодні є дуже розповсюдженими у всьому сві-

ті. Це пов'язано з тим, що вони складаються з окремих модулів, тобто фотобатарей, які

генерують ЕЕ. А це дає можливість, в залежності від потреб, збирати СЕС різної потужності (від кількох кіловат до десятків-сотень мегават). Тобто виникає можливість забезпечувати «зеленою» енергією не тільки великі об'єкти, але і дрібних споживачів. Ці електростанції можуть бути як стаціонарними, так і мобільними.

Модульні СЕС встановлюють не тільки на спеціально відведених площах, але і на кришах приміщень, на фасадах будівель і навіть на транспортних засобах.



Рис. 6 – Схема СЕС на фотоелектричних модулях

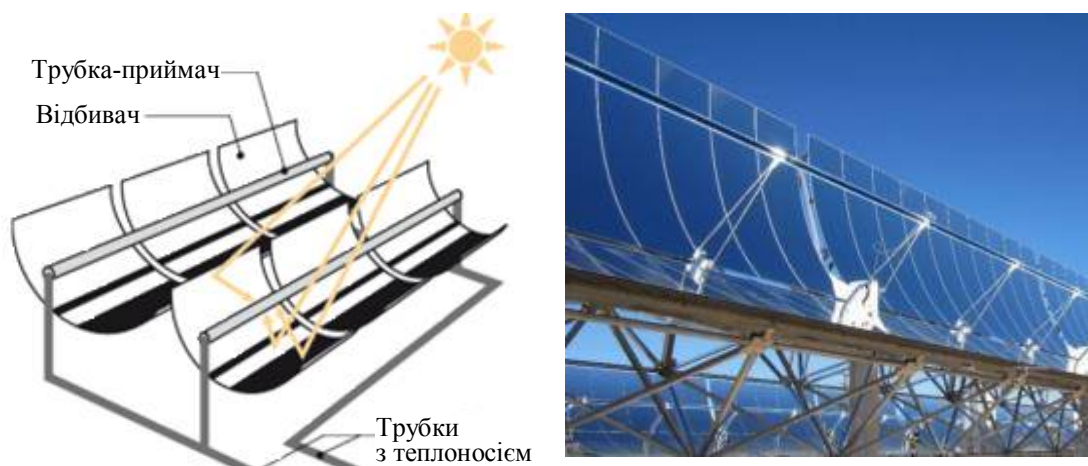


Рис. 7 – СЕС, що використовує параболоциліндричні концентратори

Комбіновані СЕС можуть поєднувати в собі кілька типів сонячних електростанцій, рис. 8 [8-11]. Так наприклад, на одній території станції можуть працювати установки тарілкового або параболічного типу і сонячних батарей. Також, іншим прикладом може служити те, коли на сонячній електростанції додатково встановлюють теплообмінні конструкції для отримання гарячої води, яка використовується для гарячого водопостачан-

СЕС з параболоциліндричними концентраторами, що складаються з дзеркал-відбивачів у формі жолобів і мають вид витягнутої по прямій параболи (в фокусі якої встановлюється трубка-приймач), що концентрує сонячне випромінювання в лінію, рис. 7 Теплоносій, що продає по трубці, нагрівається до температури 300...390 °С і в теплообмінних апаратах віддає тепло води яка, перетворившись на пару, надходить до турбогенератора, де і відбувається вироблення електричної енергії.

ня, опалення або технічних потреб. Дуже поширено, коли в сонячній електростанції різних типів додатково вмонтовують теплообмінні прилади для нагрівання води. Цю воду можна використовувати не тільки для технічних потреб, але і для гарячого водопостачання та опалення. Саме це і є однією з можливих комбінацій від яких пішла назва даних СЕС.



Рис. 8 – Комбіновані СЕС

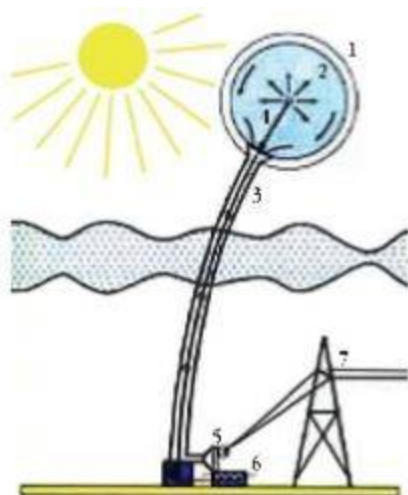
До речі, установка поряд концентраторів і фотобатарей теж є прикладом комбінованої СЕС.

Аеростатні СЕС найенергоефективніші електростанції [11]. Вони здатні збирати до 97 % сонячної енергії, при цьому цей тип споруд займає малі території поверхні, так як розташоване на поверхні землі обладнання займає дуже надто мало місця, а громіздкий балон аеростата з фотоелектричним шаром, розташовується в повітрі. Цей балон здатний поглинати сонячні промені практично повністю в будь-який час доби, незалежно від погодних умов за рахунок здатності підніматися і опускатися на необхідну висоту.

Зовнішня частина балона, рис. 9, пропускає сонячні промені, а внутрішня покрита селективним світлопоглинаючим покриттям, що дозволяє нагрівати вміст балона до 150...180°C, так, що пара, яка утворюється всередині нього, за рахунок сонячного випромінювання, нагрівається до температури 130...150°C, а тиск при цьому залишається

таким же, як атмосферний. Розпорошуючи воду всередині балона з перегрітою парою, отримують генерацію пари. Пара з балона відводиться в парову турбіну за допомогою гнучкого паропроводу і на виході з турбіни перетворюється в конденсаторі в воду, яка за допомогою насоса подається назад в балон. За рахунок запасу пара, накопиченої в балоні за світлу частину доби, така СЕС може працювати в темний час доби і в погану погоду.

Аеростатні СЕС можуть працювати над поверхнею землі або моря на висоті від декілька десятків метрів до декілька кілометрів. Вони складаються з платформи, на якій розміщено силова установка. До платформи кріпиться якір і аеростат. При цьому силова паротурбінна установка може розташовуватися на землі або в люльці аеростата з передачею електроенергії по кабелю на землю. Коефіцієнт корисної дії таких СЕС близько 25%. Відомо, що аеростатна СЕС потужністю 2 МВт (при діаметрі аеростата 150 м, висота 5 км) використовується в Тайвані [7].



1 – прозора оболонка; 2 – поглинаюча оболонка; 3 – паропровід; 4 – трубопровід з водяними помпами; 5 – парова турбіна з генератором; 6 – конденсатор; 7 – ЛЕП

Рис. 9 – Аеростатна сонячна електростанція



Сонячні космічні електростанції є, певно, майбутньою альтернативою наземних СЕС, оскільки наземні мають низьку ефективність. Ці СЕС будуть розміщені на геостаціонарній орбіті з радіусом близько 36000 км, що збігається з екваторіальною площиною Землі [12].

Ідея космічних СЕС вперше була сформульована в США П.Е. Глезером (P.E. Glaser) в 1968 р. Пропонувалося розмістити на геостаціонарній орбіті сонячні батареї великої потужності, що забезпечені перетворювачами постійного струму в надвисокочастотне (СВЧ) електромагнітне випромінювання. Ви-

бір геостаціонарної орбіти в якості місця базування космічної СЕС забезпечує зависання станції над певним пунктом на земній поверхні, а використання спрямованого пучка електромагнітного випромінювання дозволяє передати енергію зі станції на Землю, де вона може бути перетворена в електричний струм промислової частоти, рис. 11.

Нажаль, такі станції можуть бути побудовані тільки в майбутньому, так як для станції потужністю 10 ГВт площа сонячних батарей складала б 50 км² при масі 10 тис. т.

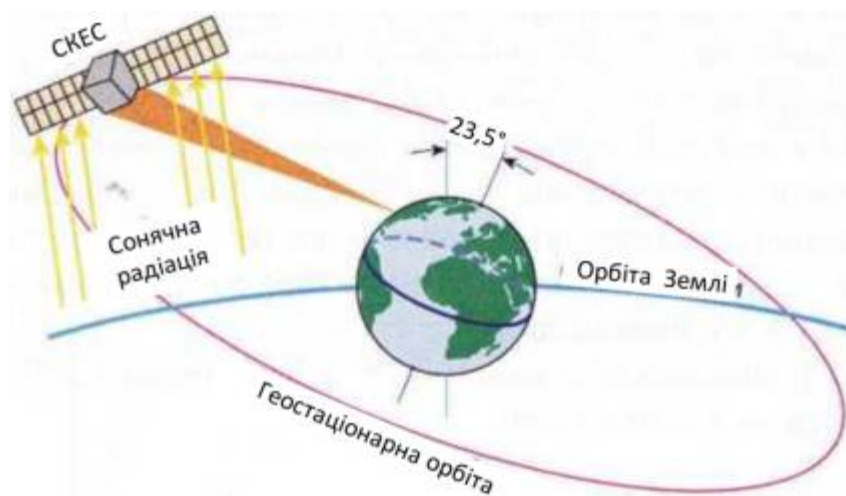


Рис. 10 – Сонячна космічні електростанція

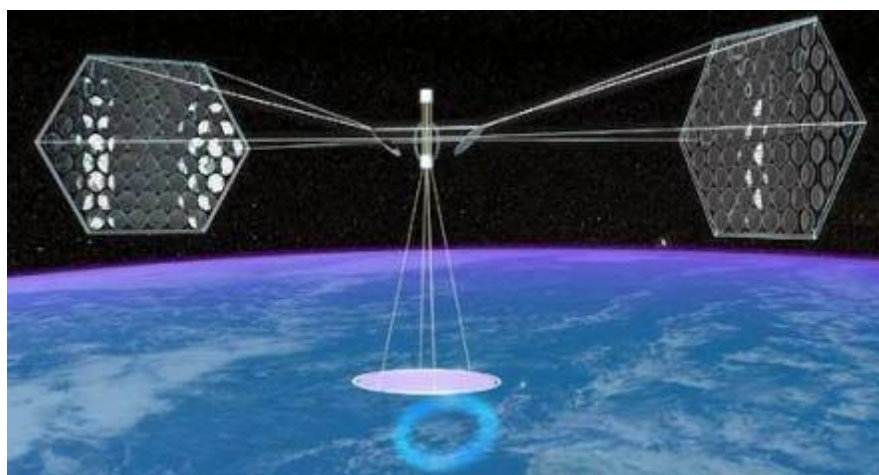
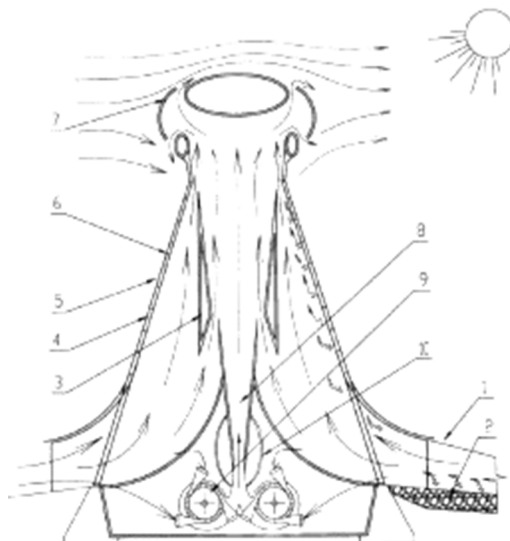


Рис. 11 – Схема роботи сонячної космічної електростанції

Сонячно-вакуумні електростанції використовують енергію потоку повітря, рис. 12 [13]. Цей потік створюється завдяки різниці температур в шарі повітря у землі і на деякій висоті (робиться ділянка, яку закривають склом). Конструкція таких СЕС включає до складу високу вежу і ділянку землі, накриту склом.

Потужності, що виробляється зростає з ростом різниці температур, яка збільшується з висотою башти. Шляхом використання енергії нагрітого ґрунту здатні працювати майже цілодобово, що є їх перевагою.



1 – теплиця; 2 – матеріал (акумулятор сонячної енергії); 3 – внутрішня трубка Вентурі; 4 – зовнішня трубка Вентурі – стіни башти; 5 – засклена поверхня стін вежі 4 у вигляді «теплих» ящиків; 6 – чорна теплопровідна поверхню вежі 4; 7 – дефлектор; 8 – вакуумна труба; 9 – турбогенератори; 10 – глушник шуму

Рис. 12 – Схема роботи сонячно-вакуумної електростанції

Електростанції на двигуні Стірлінга. Конструкція таких СЕС – це параболічні концентратори, що фокусують світло на двигуні Стірлінга, рис. 13. Є варіації двигунів Стірлінга, що перетворюють електричну енергію без застосування кривошипно-шатунних механізмів. Це дає можливість домогтися високої ефективності установки. В середньому ефективність знаходиться на рівні 30 %. Робочим тілом в таких установках є гелій або водень.



Рис. 13 – СЕС на двигуні Стірлінга

Переваги та недоліки СЕС

Проведений аналіз видів та типів СЕС не буде повним, якщо окремо не зазначити переваги та недоліки які їм притаманні.

Переваги СЕС:

- загальна доступність і невичерпність джерела;
- безпека для навколишнього середовища, хоча існує ймовірність того, що поширене впровадження сонячної енергетики може змінити альbedo (характеристику відбивної здатності) земної поверхні і привести до зміни клімату;
- автономність системи – не вимагає підключення до центральної енергомережі;
- деякі типи СЕС здатні працювати в темну пору доби та при великій хмарності;
- є можливість комбінувати отримання енергії з декількох джерел. Зазвичай застосовують вітро-сонячні батареї, що поєднують можливості обох типів електростанцій;
- мобільні електростанції мають невеликі габарити і можуть використовуватися для забезпечення електроенергією малопотужних приймачів (будинки, освітлення тощо);
- середній термін служби обладнання СЕС становить 30...50 років. При підключенні накопичувальних акумуляторів, енергія може бути запасена вдень і потім використовуватися вночі;
- сонячна енергія безкоштовна;
- просте та недороге обслуговування;
- можливість колективного підключення;
- немає сплесків і відключень енергії;
- безшумність роботи (досягається відсутністю рухомих частин).

Недоліки СЕС:

- залежність від погоди і часу доби (крім деяких типів СЕС);
- в багатьох випадках необхідність в акумуляції енергії;
- при промисловому виробництві – необхідність в дублюванні СЕС маневреними електростанціями порівнянної потужності;
- висока вартість конструкції, пов'язана із застосуванням рідкісних елементів;
- необхідність періодичного очищення поверхні, що відбиває світло, від пилу.
- нагрівання атмосфери над електростанцією;
- зниження ККД при нагріванні фотоелектричних модулів.

Отже, поєднання проведеного аналізу видів та типів СЕС із зазначенням їх конструктивних особливостей та принципу дії, а також перелічення їх переваг та недоліків дає уяву щодо можливостей сонячної енергетики та вказує на великі перспективи її використання. В залежності від конкретних умов експлуатації, природних умов та місцевості (ландшафту), проведене узагальнення СЕС допоможе визначитись з конкретним типом та конструкцією для подальшого її використання у якості джерела електричної енергії.

Висновки

Проведено аналіз методів перетворення сонячної енергії в електричну. Визначено, що загальноприйняті два методи – пряме та непряме перетворення сонячної енергії в електричну. Представлена загальна характеристика термоелектричного, термоемісійного і фотоелектричного перетворення сонячної енергії в електричну.

Розглянуто основні види та типи сонячних електростанцій з зазначенням їх принципу дій та конструктивних особливостей.

Перелічені всі основні переваги та недоліки, що притаманні сонячним електростанціям. Це дає змогу чітко визначитись, у відповідності до наявних умов, з конкретним типом та конструкцією сонячної електростанції для її подальшого використання у якості джерела електричної енергії.

Література

- Відновлювані джерела енергії (досвід Польщі для України) : навч. посіб. / Р. Титко, В. М. Калініченко. – Варшава; Краків; Полтава : OWG, 2010. – 530 с. – ISBN 978-83-928382-1-0.
- Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». – К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. – 560 с. – (Енергетика України на початку XXI століття ; т. 4). – ISBN 978-8578-08-3
- Нетрадиційна енергетика: основи теорії і задачі : навч. посіб. / Д. Л. Дудюк, С. С. Мазепа, Я. М. Гнатишин. – Львів : Магнолія, 2008. – 188 с.
- Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії : підруч. / С. О. Кудря. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 492 с.
- Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т "Львівська політехніка". - Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. - 340 с.
- Преобразование солнечной радиации в электрический ток // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://reforef.ru/outozub/Солнечная+энергетика+Проблемы+и+перспективыb/main.html>.
- Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / [Бурячок Т. О. та ін. ; наук. ред.: Клименко В. Н., Ландау Ю. О., Сігал І. Я.]. - Київ : [б. в.], 2013. - 391 с. : іл., табл. - Бібліогр.: с. 383-389. – 500 пр. - ISBN 978-966-8163-18-0 (читати он-лайн)
- Енергія для всіх : техн. довід. з енергоощад. та відновних джерел енергії / Олександр Щербина. - Вид. 4-е, доп. і перероб. - Ужгород: Вид-во Валерія Падяка, 2007. - 336 с.
- Види сонячних електростанцій // Матеріали сайту – 2016. – Режим доступу: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/SES.
- Типы солнечных электростанций // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: http://www.gigavat.com/ses_tipi.php.
- Виды солнечных электростанций, принцип работы, примеры // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://akbinfo.ru/alternativa/solnechnye-jelektrostancii.html>.
- Солнечные космические электростанции // Матеріали сайту – 2017. – Режим доступу: <http://www.studfiles.ru/preview/5354081/page:10/>.
- Патент Российской Федерации RU2265163 Солнечно-вакуумная электростанция Безруков Юрий Иванович. Дата начала действия патента: 2003.04.09.

Рецензент: В.Ф. Далека, професор, д.т.н., ХНУМГ ім. О.М. Бекетова

Стаття надійшла до редакції 20 жовтня 2017 р.