

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ**

Інститут (факультет) _____ ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого _____
Кафедра _____ Електропостачання та енергоменеджменту _____

«До захисту в ЕК»
Директор інституту(декан факультету)
_____ Блаженко С. І.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ лютого 2021 р.

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри
_____ Балюта С. М.
(підпис) (прізвище та ініціали)

« ____ » _____ лютого 2021 р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА**

зі спеціальності 141 « Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка »
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми « Енергетичний менеджмент »
на тему: «Ефективне енергозабезпечення об'єктів місцевих громад з використанням сонячної енергії»

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЕМ-2-8М

_____ Салатко Андрій Андрійович _____
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Серьогін Олександр Олександрович _____
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) (підпис)

_____ (прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Люлька Д. М. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень із праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2021 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут Навчально-науковий інженерно-технічний інститут ім акад І.С. Гулого

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступень магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка».

Освітньо-професійна програма « Енергетичний менеджмент »

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ЕПЕМ

/Балюта С.М./

« 05 » листопада 2020 р.

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТР

Салатка Андрія Андрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи) «Ефективне енергозабезпечення об'єктів місцевих громад з використанням сонячної енергії»

керівник проекту (роботи) Серьогін Олександр Олександрович, д. т. н., професор
затверджені наказом вищого навчального закладу від « 05 » 11.2020 р. № 925-кв

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 05 лютого 2021 року

3. Вихідні дані до роботи (проекту) проаналізувати і розглянути види відновлювальних джерел енергії , а саме сонячної енергії та можливість їх використання в місцевих громадах.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Сонячна енергетика 2. Генерування сонячної енергії 3. Основні характеристики сонячного колектора 4. Тепловий акумулятор. 5. Загальний висновок

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
Презентація (18 слайдів)

6. Консультанти розділів роботи (проекту)

Розділ	Консультант	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05 листопада 2020 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів виконання проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Отримання завдання на дипломне проектування	05.11.2020 р.	
2	Вступ	06.11.2020 р.	
3	Анотація	08.11.2020 р.	
4	Вступ	10.11.2020 р.	
5	Розділ 1. Сонячна енергетика	15.11.2020 р.	
6	Розділ 2. Генерування сонячної енергії	21.11.2020 р.	
7	2.1 Енергетична ефективність фотоелектричних перетворювачів	22.11.2020 р.	
8	Розділ 2.4 Системи концентрованої сонячної енергії	25.11.2020 р.	
9	Розділ 3. Основні характеристики сонячного колектора	30.11.2020 р.	
	Розділ 3.1 Особливості плоских сонячних колекторів	15.12.2020 р.	
10	3.3 Розрахунок сонячної установки	30.12.2020 р.	
11	Розділ 4. Тепловий акумулятор	05-26.01.2021 р.	

Здобувач

_____ (підпис)

Салатко А.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Серьогін О.О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

В даній роботі проаналізовано і розглянуто види відновлювальних джерел енергії, а саме сонячної енергії та можливість їх використання в місцевих громадах. У роботі проаналізовано стан та перспективи розвитку альтернативної енергетики у світі та загалом в Україні, проведено дослідження щодо специфіки використання відновлювальної енергії сонця. Розглянуто переваги та недоліки та зроблено вибір рішення для усунення недоліків автономної ФЕС. У процесі роботи проводились розрахунки і вибір устаткування. В результаті проведеної роботи вибрано та розраховано найбільш найкращі умови використання ФЕС в Україні. Розглянуто найоптимальнішу принципову схему підключення з конкретним обладнанням, яке задовольняє заданим параметрам електропостачання.

Ключові слова: відновлювальні джерела енергії, втрати електричної енергії, електричний баланс, енергоефективність, енергетичне обстеження, потенціал енергозбереження.

АННОТАЦИЯ

В данной работе проанализированы и рассмотрены виды возобновляемых источников энергии, а именно солнечной энергии и возможность их использования в местных общинах. В работе проанализировано состояние и перспективы развития альтернативной энергетики в мире и в целом в Украине, проведено исследование о специфике использования возобновляемой энергии солнца. Рассмотрены преимущества и недостатки. Сделан выбор решения для устранения недостатков автономной ФЕС. В процессе работы проводились расчеты и выбор оборудования. В результате проведенной работы выбрано и рассчитано наиболее лучшие условия использования ФЕС в Украине. Рассмотрены оптимальную принципиальную схему подключения с конкретным оборудованием, которое удовлетворяет заданным параметрам электроснабжения.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, потери электрической энергии, электрический баланс, энергоэффективность, энергетическое обследование, энергетический потенциал.

ANNOTATION

This paper analyzes and considers the types of renewable energy sources, namely solar energy and the possibility of their use in local communities. The paper analyzes the state and prospects of development of alternative energy in the world and in Ukraine in general, a study on the specifics of the use of solar renewable energy. The advantages and disadvantages are considered and the choice of the decision for elimination of lacks of autonomous FES is made. In the course of work calculations and a choice of the equipment were carried out. As a result of this work, the best conditions for the use of FES in Ukraine were selected and calculated. The most optimal basic scheme of connection with the concrete equipment which satisfies the set parameters of power supply is considered.

Keywords: renewable energy sources, electricity losses, electrical balance, energy efficiency, energy audit, energy potential.

Зміст

Вступ.....	7
Розділ 1. Сонячна енергетика.....	9
Розділ 1.1 Способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання .	9
Розділ 1.2. Перспективи використання сонячної енергетики в Україні.....	12
Розділ. 1.3. Розширення перспектив сонячної енергетики в Україні	17
Висновок до розділу 1	21
Розділ 2. Генерування сонячної енергії	23
Розділ 2.1. Фотогальванічні або сонячні елементи.....	23
Розділ 2.2. Види фотоелектричних перетворювачів.....	28
Розділ 2.3 Енергетична ефективність фотоелектричних перетворювачів	30
Розділ 2.4. Системи концентрованої сонячної енергії	35
Розділ 2.5 Деградація сонячних модулів	37
Розділ 2.6 Інноваційні технологічні рішення для сонячних модулів	38
Розділ 2.7 Вибір та види акумуляторів	39
Розділ 2.8 Вибір та види інверторів	52
Розділ 3. Основні характеристики сонячного колектора	61
Розділ 3.1. Особливості плоских сонячних колекторів.....	62
Розділ 3.2. Вакуумний сонячний колектор.....	67
Розділ 3.3 Розрахунок сонячної установки.....	73
Висновок до розділу 3	75
Розділ 4. Тепловий акумулятор.....	77
Розділ 4.1 Вибір теплового акумулятора.....	78
Висновок до розділу 4	86
Загальний висновок.....	88
Список використаної літератури	91

Вступ

Ми живемо у складний час, поступово переходячи від вуглецевого палива до поновлюваних джерел енергії та технологій з низьким або нульовим викидом парникових газів.

Дана робота присвячена дослідженням в галузі енергетики, і стосується вивчення розвитку перспектив сонячної енергії. Актуальність теми полягає в тому, що сучасне суспільство неможливо уявити без джерел відновлюваної енергії, здатних застосовувати в громадських місцях.

Основним завданням є дослідження та перспективи сонячної енергії в суспільстві, та показати чому саме потрібно переходити не тільки на сонячну енергетику а також на альтернативні джерела енергії.

Україна належить до енерго-дефіцитних країн, оскільки за рахунок власних паливно-енергетичних ресурсів вона задовольняє свої потреби лише на 48 %. За рахунок власного видобутку покривається 12 % потреб у нафті та 25 % – у природному газі.

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 [1].

Саме тому обрана проблематика дослідження є вельми актуальною на даний момент.

Дослідженню переваг використання відновлювальних джерел енергії присвячені праці багатьох вчених, зокрема: О. Т. Возняка, Г. Г. Гелетухи, Т. А. Залізної [3], С. О. Кудрі, Б. Г. Тучинський [1], І. А. Франчука [2], А. Г. Щокіна, М. Є. Янова [2]. Українські вчені та проектувальники також розглядають використання сонячної енергетики як один з варіантів підвищення енергоефективності країни і зменшення енергетичної залежності України від імпорту енергоресурсів.

Серед альтернативних джерел енергії одним із найперспективніших є енергія сонця. Як вважають експерти Міжнародної енергетичної агенції (далі – IEA), уже через 40 років сонячна енергетика може виробляти близько 20– 25% усієї необхідної енергії. Прискоренню цього процесу сприятимуть дієві засоби політики економічного заохочення країн та інноваційні розробки в цій сфері, що дозволять здешевити цей процес [5].

Розділ 1. Сонячна енергетика

Сонячна електроенергетика – один з найбільш швидкозростаючих секторів альтернативної енергетики, які активно розвиваються у світі. Великий потенціал зростання сонячної енергетики обумовлений необхідністю забезпечення національної та екологічної безпеки та також стійким подорожчанням традиційних джерел енергії. Сучасна сонячна енергетика ділиться на дві галузі:

1) сонячна теплоенергетика, що передбачає використання теплового випромінювання енергії безпосередньо від сонця для нагрівання теплоносія та подальшої подачі його на об'єкти обігріву (пристрої, які використовуються при цьому називають сонячними тепловими колекторами, в якості носія у них використовується здебільшого вода); [3]

2) сонячна електроенергетика або фотовольтаїка (photovoltaics) – передбачає перетворення спектрального випромінювання сонця безпосередньо в електричну енергію, шляхом використання внутрішнього фотоефекту в напівпровідникових фотоелектричних перетворювачах (ФЕП) та їх конструкцій – сонячних батарей та модулів з великою активною площею. В якості н/п матеріалу ФЕП використовуються здебільшого кремній Si, зважаючи на його широку поширеність в природі та найбільш придатні техніко-економічні показники для процесу фотоелектричного перетворення. [3]

Друга галузь є найбільш цікавою і поширеною, як з точки зору отримання електроенергії – самого поширеного виду енергії суспільства в ХХІ ст., так і з погляду на простоту процесу, надійність, технологічність та гнучкість операцій отримання електроенергії від сонячного випромінювання. [2]

Розділ 1.1 Способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання

З кожним роком питання популяризації «зеленої» енергії серед мешканців усієї планети набуває все більших і більших масштабів.

За підрахунками експертів, якщо в майбутньому використати пустелю Сахару в якості сонячної електростанції та заповнити 160 квадратних кілометрів її площі сонячними батареями, людство зможе повністю відмовитися від усіх інших видів енергії (нафти, газу, урану та навіть води та вітру).

З огляду на такі перспективи, з величезною швидкістю у всіх розвинутих країнах поширюється течія використання сонячних батарей. І вже не тільки у промислових масштабах, але й на рівні окремих домогосподарств [4].

Способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання:

- Отримання електроенергії за допомогою фотоелементів.
- Геліотермальна енергетика — нагрівання поверхні, що поглинає сонячні промені і подальший розподіл і використання тепла (фокусування сонячного випромінювання на судині з водою для подальшого використання нагрітої води в опалюванні або в парових електрогенераторах). – «Сонячне вітрило» може в безповітряному просторі перетворювати сонячні промені в кінетичну енергію [5].
- Термоповітряні електростанції (перетворення сонячної енергії в енергію повітряного потоку, що направляється на турбогенератор). – Сонячні аеростатні електростанції (генерація водяної пари усередині балона аеростата за рахунок нагрівання сонячним випромінюванням поверхні аеростата, покритої селективно-поглинаючим покриттям) [5].

Перевага — запасу пари в балоні достатньо для роботи електростанції в темний час доби і хмарну погоду .

Недоліком установок з перетворення сонячної енергії є те, що для них потрібні великі площі, причому відносно недалеко (у межах 80 км) від споживача. Інакше втрати при передачі електроенергії будуть неприпустимо високі. Правда, згодом можуть з'явитися понадпровідні лінії електропередачі, що вирішать проблему, однак у найближчому майбутньому будівництво установок буде обмежуватися браком досить великих вільних територій поблизу міст. З іншого боку, сонячні батареї можна розміщати прямо на дахах будинків.

Сонячна енергетика широко застосовується у випадках, коли малодоступність інших джерел енергії в сукупності з достатньою кількістю сонячного випромінювання виправдовує її економічно. Ефективне використання енергії: стан і перспективи [6].

Серед інших застосувань сонячної енергетики можна відзначити використання в системах телекомунікації та зв'язку (ретранслятори, телеметрія); для забезпечення електроенергією навігаційних вогнів, бакенів, дорожніх знаків, освітлення автошляхів в нічний час; для антикорозійного захисту металевих конструкцій та трубопроводів; у віддалених не електрифікованих оселях для живлення побутових приладів; в системах охоронної сигналізації; в сільському господарстві та засушливих районах для добування та подачі води; створення мережі автоматичних постів, обладнаних різними датчиками для моніторингу навколишнього середовища, тощо [7].

Нарешті, в космічних апаратах та штучних супутниках сонячні батареї грають винятково важливу роль в системах живлення бортової апаратури. На сьогоднішній день індустрія, яка пов'язана з виробництвом сонячних батарей, переживає неабиякий бум. На відміну від інших приладів мікроелектроніки, виробництво сонячних елементів у світі не тільки не скорочується, а характеризується щорічним 15% приростом протягом останніх 6 років. [6]

На наукові дослідження в області сонячної енергетики щорічно витрачаються сотні мільйонів доларів.

Серед головних переваг сонячної енергії — її вічність і виняткова екологічна чистота. Сонячна енергія надходить на всю поверхню Землі, лише полярні райони планети страждають від її нестачі. Тобто, практично на всій земній кулі лише хмари та ніч заважають користуватися нею постійно. Така загальнодоступність робить цей вид енергії неможливим для монополізації, на відміну від нафти і газу.

Головне - використовувати сонячну енергію так, щоб її вартість була мінімальна або взагалі дорівнювала нулю. В міру вдосконалювання технологій і подорожчання традиційних енергоресурсів ця енергія буде знаходити все нові і

нові області застосування. За кліматичними умовами Україна належить до регіонів із середньою інтенсивністю сонячної радіації.

Кількість сонячної енергії, що припадає на одиницю площі земної поверхні впродовж року, становить близько 1000-1350кВт. год/м². [7]

Для України найперспективнішими наразі є два основних напрями використання сонячної енергії для перетворення в теплову та електричну енергію. Використання сонячної енергії для гарячого водозабезпечення та опалення є найефективнішим та добре відпрацьованим методом. Основним елементом систем активного сонячного теплозабезпечення є плоский сонячний колектор.

В Україні сонячне теплозабезпечення має достатній досвід використання, а технологічний потенціал вітчизняної промисловості дає змогу розв'язати завдання масового виробництва геліотехнічного обладнання. Додаткова продуктивність колекторів, залежно від схеми та умов роботи, становить від 80 до 120 л гарячої води температурою 50-55°C з 1 м² робочої поверхні геліоприймача. Таким чином, застосування в Україні альтернативних джерел енергії, в першу чергу, сонячної енергетики, без сумніву принесе тільки користь [8].

Потенційні можливості енергетики, заснованої на використуванні безпосередньо сонячного випромінювання, надзвичайно великі. Використування всього лише 0,0125 % кількості енергії Сонця могло б забезпечити всі сьогоденні потреби світової енергетики, а використування 0,5% повністю покрити потреби на перспективу [9].

Розділ 1.2. Перспективи використання сонячної енергетики в Україні

Сьогодні 6 млрд. осіб на Землі споживають більше 12 млрд. кВт енергії за рік, тобто у середньому 2 кВт на людину. Ця енергія отримується за рахунок вугілля – 26 %, нафти – 42 %, газу – 20 %, гідроенергії – 4 %, ядерної – 5 %, інших джерел – 3 %. Тобто близько 90 % енергії ми отримуємо за рахунок органічних видів палива – нафти, вугілля, газу. Фактична структура сукупного споживання первинної енергії в Україні за роки її становлення як незалежної

держави склалася так: природного газу – 41 %, нафти – 19 %, вугілля – 19 %, урану – 17 %, гідроресурсів та інших поновлюваних джерел – 4 %.

Отже, Україна належить до енерго-дефіцитних країн, оскільки за рахунок власних паливно-енергетичних ресурсів вона задовольняє свої потреби лише на 47–49 %. За рахунок власного видобутку покривається 10–12 % потреб у нафті та 20–25 % – у природному газі. Тому необхідно приділяти увагу розвитку альтернативних джерел енергії [8].

Середньорічний потенціал сонячної енергії в Україні (1235 кВт год/м) є достатньо високим і набагато вищим, ніж, наприклад, в Німеччині – 1000 кВт год/м чи навіть Польщі – 1080 кВт год/м . Отже, ми маємо хороші можливості для ефективного використання теплоенергетичного обладнання на території України [9].

Знаходиться на стадії, яку Європа пройшла 7-10 років тому. У той же час ми маємо одну з найпривабливіших інвестиційних структур в Європі для розвитку галузі. Дійсно, тут були створені сприятливі умови: наявність ресурсів і земельних ділянок, пільговий тариф, державна підтримка і цільова енергетична стратегія, мета якої – досягти 25% виробництва чистої енергії до 2035 року.

В результаті інтерес до відновлюваної енергетики в Україні продовжує зростати, і, за оцінками уряду, до 2020 року загальний обсяг інвестицій в альтернативну енергетику досягне 18 мільярдів доларів США [10].

І хоча сектор ВДЕ все ще малий порівняно з іншими типами генерації в Україні, в той же час демонструє постійне зростання, роблячи нашу країну лідером даної галузі. З 2014-го і до кінця 2017 року обсяг ВДЕ збільшився з 967 до 1375 МВт, і до кінця 1-го кварталу 2018 року – до 1534 МВт (рис. 1) [10]. Як саме розподіляються відновлювані джерела енергії за регіонами та який вид ВДЕ переважає в тій чи іншій області можна побачити на рис. 2 [10].

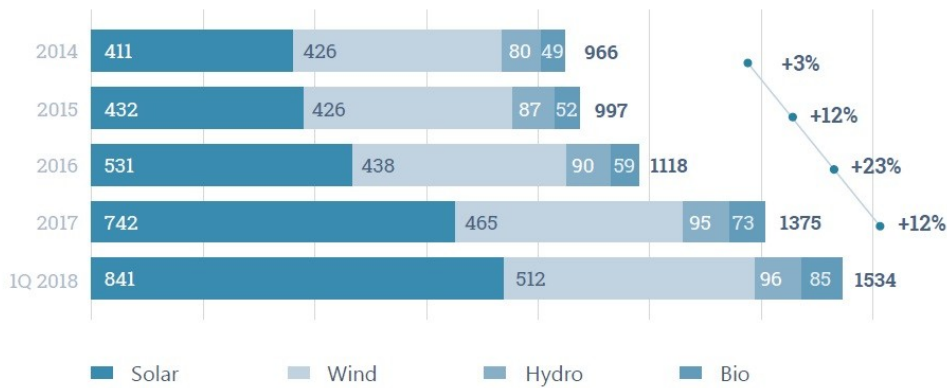


Рис. 1. Зростання ВДЕ за 2014 – I квартал 2018 рр. Джерело: Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018.

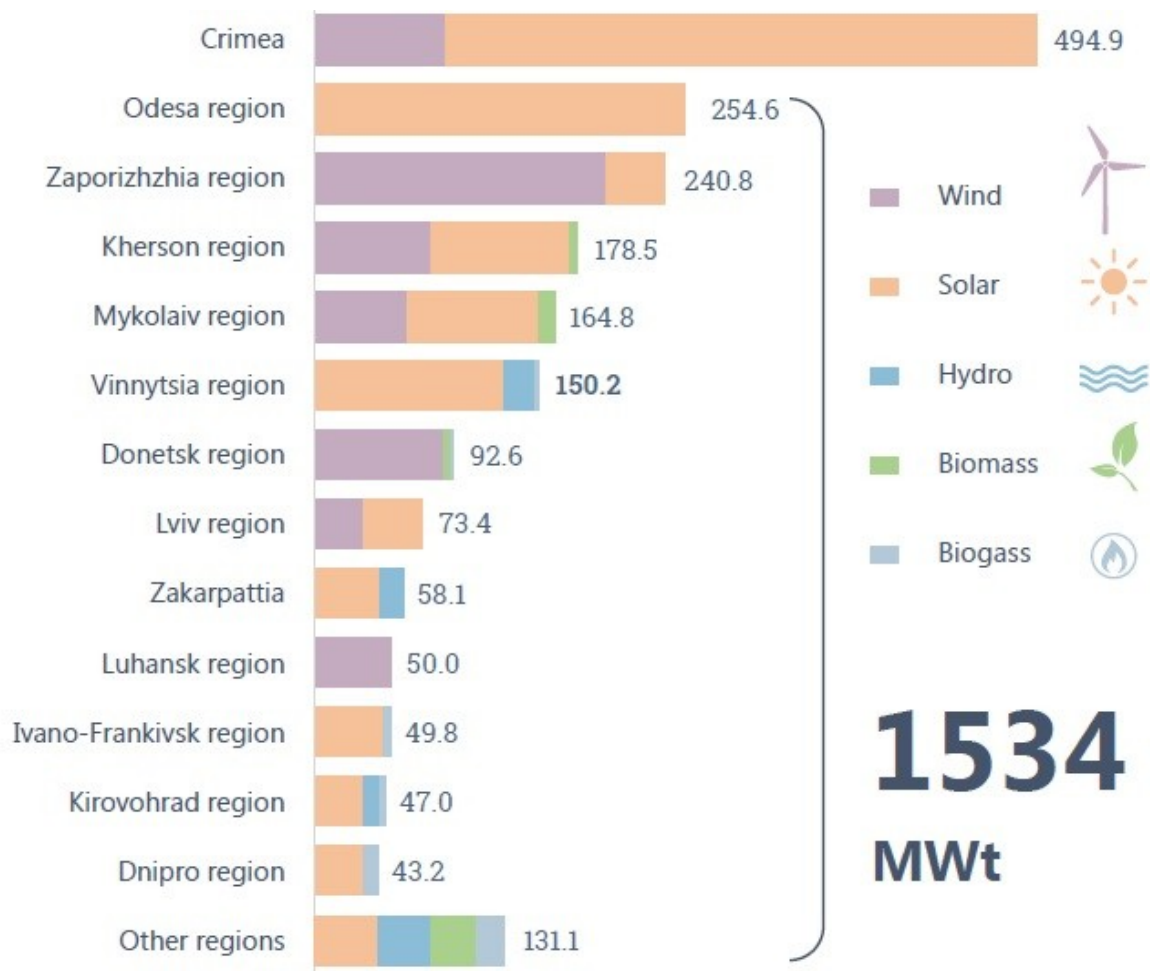


Рис. 2. Виробництво ВДЕ по регіонах станом на I квартал 2018 року. Джерело: Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018.

Оскільки в Україні сонячна енергія – доволі популярне ВДЕ, можна спостерігати, що регіональний розподіл встановлених об’єктів ВДЕ корелює з рівнем інсоляції. Основна увага приділяється регіонам із найвищою сонячною активністю, як показано на карті нижче (рис. 3) [10] :

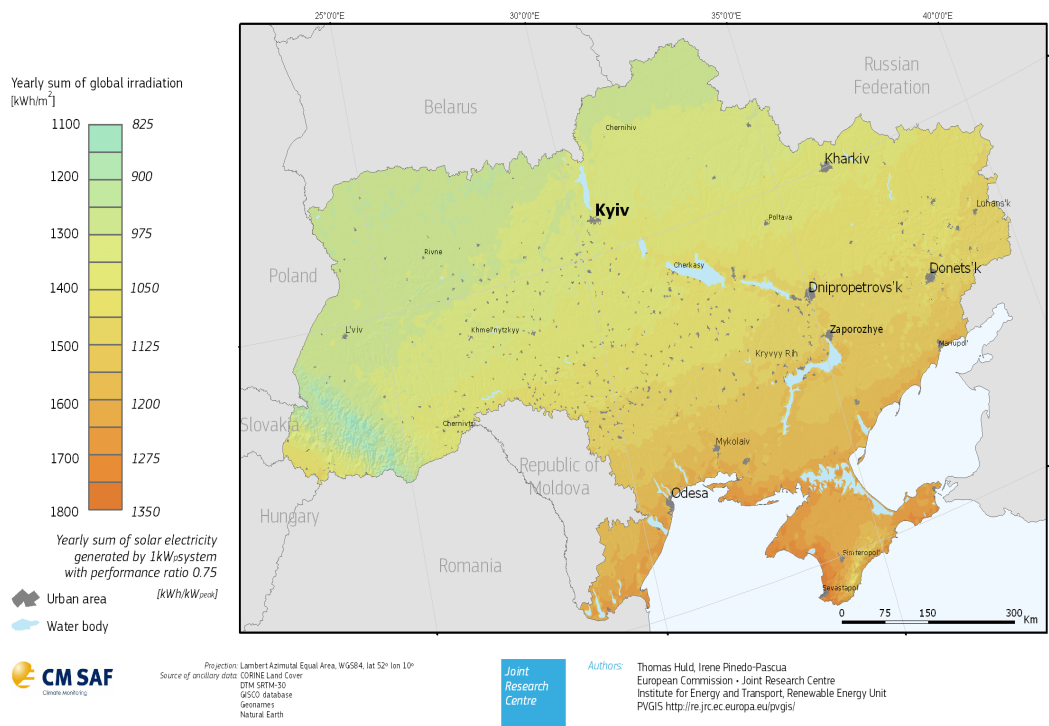


Рис. 3. Випромінювання і потенціал сонячної енергії в Україні. Джерело: Renewable energy sector: Unlocking sustainable energy potential, National Investment Council of Ukraine, 2018.

Питання про продуктивність сонячних батарей є одним із перших, яким задаються люди, що планують інвестувати в сонячну електростанцію. Кількість електроенергії, що буде вироблено за допомогою сонячного модуля, залежить від багатьох чинників, і в тому числі від географічного розташування сонячної електростанції. Адже за інших рівних умов кількість виробленої електроенергії буде пропорційна кількості енергії сонячного випромінювання, що досягає поверхні землі в точці розміщення електростанції [11].

Сонячна енергія є одним з екологічно сталих ресурсів для виробництва електроенергії з використанням фотоелектричних (PV) систем — сонячних електростанцій. Основним вихідним даними, що використовуються в процесі планування є сонячне випромінювання. Фотоелектрична географічна

інформаційна система (Інституту енергетики і транспорту (ІЕТ) Об'єднаного дослідницького інституту (JRS) при Європейській комісії (ЕС) розробила базу даних про сонячної радіації. Модель оцінює променеві, дифузні і відбиті складові випромінювання за умов ясної погоди і для реальних умов глобальної освітленості на горизонтальних або нахилених поверхнях [11].

Узагальненим підсумком проведеного моделювання є періодично публіковані карти сонячного електричного потенціалу, доступні для використання всіма бажаючими. Інформація, яку публікує PVGIS, досить детальна. Вище була наведена візуалізація найбільш актуальних даних по сонячному потенціалу в Україні та країнах Європи. Інформація була оновлена 21 вересня 2012 року. На даній карті показаний розподіл глобального сонячного опромінення та сонячний електричний потенціал на території України для випадку орієнтації сонячних модулів на південь при оптимальному куті нахилу по відношенню до поверхні землі (максимально перпендикулярний кут падіння сонячних променів на поверхню сонячної батареї). Для порівняння пропонуємо вашій увазі також карту сонячного потенціалу для Європи (рис.4) [11]:

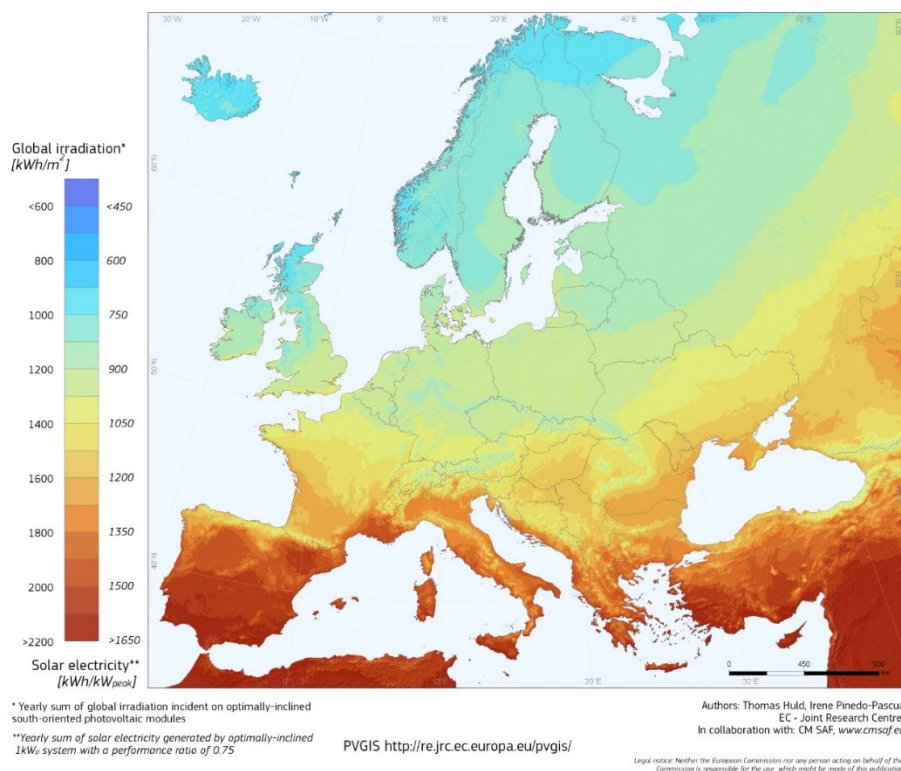


Рис. 4. Карта сонячного потенціалу для Європи

Згідно з прогнозами, до 2020 року потужність встановлених об'єктів сонячної енергії в Україні збільшиться до 3 ГВт. Станом на 1 квітня 2019 року, в країні встановлено понад 2,2 ГВт об'єктів сонячної енергетики, а це 71% усіх існуючих ВДЕ. Такий швидкий та активний розвиток галузі дозволив Україні піднятися з 34-го на 23-є місце в світовому рейтингу сонячної енергетики [11].

Розділ. 1.3. Розширення перспектив сонячної енергетики в Україні

У майбутньому для розширення перспектив сонячної енергетики Україна може перейняти вдалий досвід наших іноземних колег.

- Транспортні можливості. Всі знають та навіть бачили на дорогах мегаполісів нашої країни чимало сучасних електромобілів, але мало хто знає, що в європейських країнах фотоелементи розміщуються на дахах потягів і забезпечують їх електроенергією під час роботи. У перспективі цю технологію можна застосовувати і на водних та повітряних суднах [12].

- Термальна енергетика – спосіб перетворення енергії сонця за допомогою нагрівання води в ємностях із матеріалів, які добре проводять тепло.

Загалом, сонячна енергетика буде нарощувати потужності в Україні, тому що:

- є зацікавленість зарубіжних інвесторів;
- у країні багато регіонів, де обладнання для СЕС працює максимально ефективно;
- після разового вкладення коштів гарантовано тривале отримання прибутку [12].

Перспективи будівництва сонячних електростанцій

Сонячна енергетика та енергозбереження – загальносвітовий тренд. 2017 рік став знаковим для сонячної фотоелектричної енергетики – у світі ввели в експлуатацію найбільше сонячних потужностей порівняно з іншими типами технологій виробництва електроенергії. На п'ять найбільших національних ринків – Китай, США, Індію, Японію і Туреччину – припадає майже 84% знову встановлених потужностей. Далі йдуть Німеччина, Австралія, Республіка Корея, Великобританія та Бразилія.

За сукупною потужністю лідирують Китай, США, Японія, Німеччина, Італія та Індія (рис. 5-6) [8].

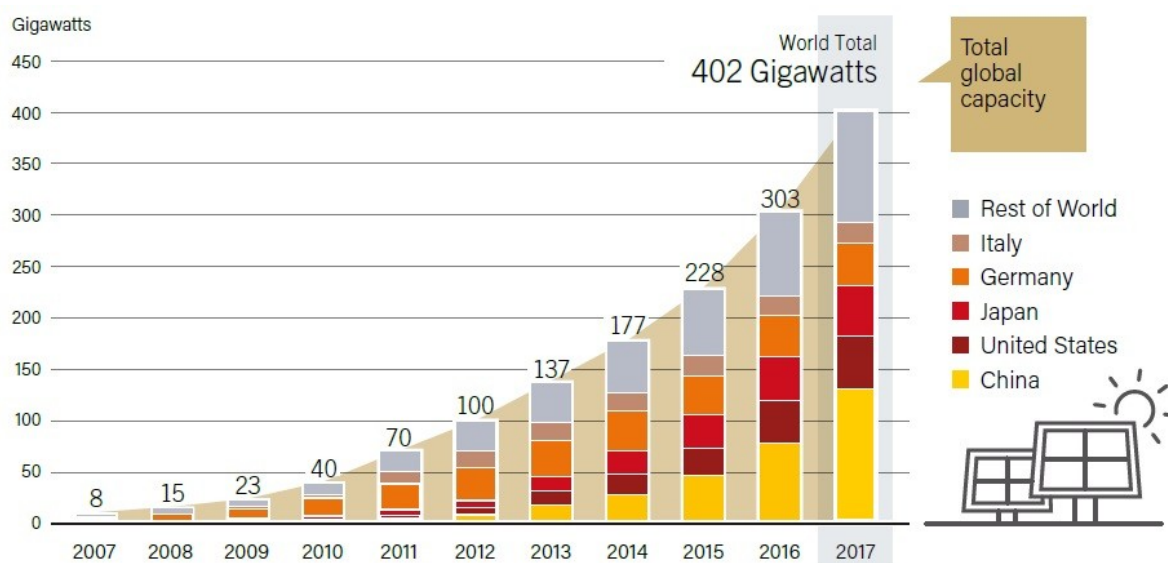


Рис. 5. Глобальна потужність сонячних фотоелектричних систем по країнам або регіонам, 2007-2017рр. Джерело: REN21, Renewables 2018, Global Status Report, 2018.

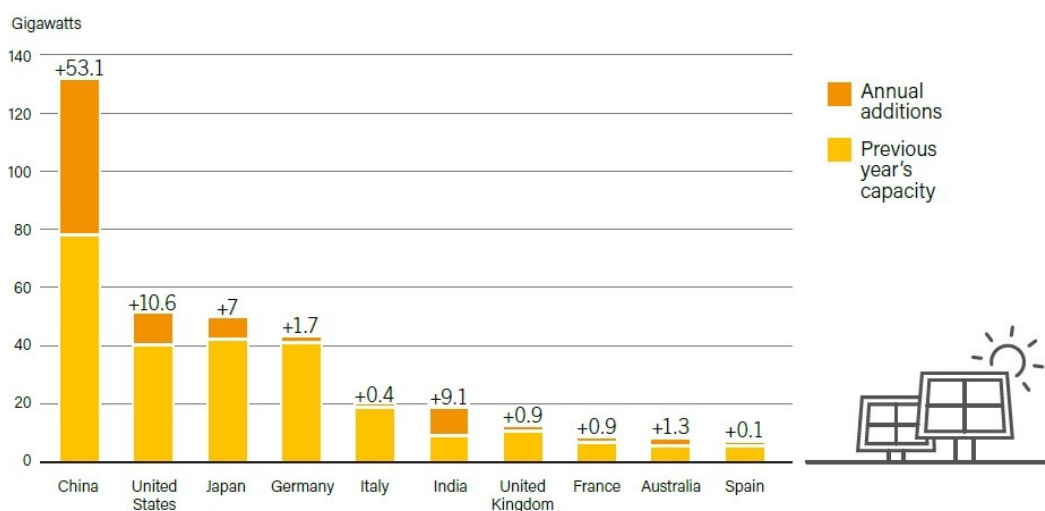


Рис. 6. ТОП-10 країн за потужностями та приростом сонячної енергії, 2017. Джерело: REN21, Renewables 2018, Global Status Report, 2018.

Дуже показовий приклад розвитку сонячних технологій – Китай, який всього за п'ять років із аутсайдерів ринку став світовим лідером за потужністю сонячних електростанцій. Протягом 2016-2020 років Китай інвестує в будівництво СЕС близько 145 млрд доларів – це дасть можливість ввести в експлуатацію близько 1000 потужних СЕС. Піднебесна вже давно стала лідером галузі з виробництва сонячних панелей і металовиробів. Китай контролює 70%

світової торгівлі сонячними батареями і лідирує по використанню сонячної енергії [8].

Прогнозується, що до 2040 року Китай забезпечить 28% усіх інвестицій у виробництво електроенергії.

За прогнозами фахівців, вже до 2070 року енергія Сонця стане основним джерелом електроенергії на Землі, а до початку наступного століття за своїми обсягами сонячна енергетика в 3,5 рази перевищуватиме нафтову галузь і в 6 разів – атомну.

Енергія сонячного випромінювання – фактично невичерпна, до того ж це цілком безкоштовний ресурс.

Сучасні технології дозволяють отримувати сонячні панелі, які при мінімальних експлуатаційних витратах і обслуговуванні забезпечать ефективну генерацію електрики протягом як мінімум 30 років [9].

Аналітики прогнозують, що в період між 2017 і 2022 роками ціни на сонячну енергію в світі знизяться в середньому на 27%. Сонячні установки комунального масштабу будуть коштувати дешевше, ніж вугільні електростанції в усіх розвинених країнах. Дійсно, у багатьох місцях світу (включаючи деякі місця в США) сонячна енергія вже досягла паритету енергосистеми, тобто вартість сонячної енергії дорівнює або нижче вартості закупівлі енергії з енергомережі.

Наразі зростає популярність сонячних електростанцій в Україні, так як :

Сприятливий клімат – рівень інсоляції (тобто кількість сонячного випромінювання на квадратний метр поверхні Землі) в більшості областей України перевищує аналогічні показники Німеччини, яка є одним зі світових лідерів в області сонячної енергетики.

Сприятливе правове поле, яке реально стимулює інвестування в альтернативну енергетику, зелений тариф, за яким держава викупує всю електрику, вироблену СЕС – один із найвищих в Європі. В квітні 2019 року ухвалений закон про зелені аукціони.

Згідно з ним, участь в аукціонах буде обов'язковою з 2020 року для проектів сонячної енергетики потужністю понад 1 МВт і вітряних електростанцій з потужність більше 5 МВт.

За умовами аукціону, той, хто пропонує найнижчу ціну, зможе продавати «чисту» електроенергію державі. Аукціон призначений для запобігання монополії на українському ринку ВДЕ. Це повинен бути прозорий конкурс, що проводиться через електронну торгову систему ProZorro двічі на рік, восени і навесні [10].

Можливості інвестувати в альтернативний енергетичний сектор України надзвичайно сприятливі, оскільки країна володіє різноманітними запасами сировини і добре освіченою робочою силою, яка має технічні ноу-хау, необхідні для розробки та впровадження останніх комерційних досягнень в цьому секторі [10].

Постійне зростання вартості електроенергії робить виправданим інвестиції в генерацію власної електрики. Говорячи про собівартість, вже зараз можна говорити про паритет цін між альтернативною й традиційною електроенергетикою [8].

Переваги сонячних електростанцій для вашого бізнесу

Зниження витрат – собівартість сонячної електроенергії вже зараз нижча за тарифи на електрику в мережі.

Енергонезалежність виробництва (бізнесу) і формування позитивного іміджу інноваційної, соціально відповідальної компанії в очах суспільства і потенційних клієнтів.

Термін окупності інвестицій, залежно від типу і потужності СЕС, становить 5-7 років, для приватних (домашніх) сонячних електростанцій – до 10 років.

Низькі експлуатаційні витрати – мінімальна кількість обслуговуючого персоналу за рахунок високої автоматизації та незначних витрат на техобслуговування.

Скорочення експлуатаційних витрат/економія енергії – сонячна енергетична система може зменшити або взагалі усунути рахунок за електрику для вашого бізнесу [12].

Розвиток технологій – технології в сонячній енергетиці постійно розвиваються, і в майбутньому удосконалення будуть прискорюватися.

Інновації в квантовій фізиці і нанотехнології можуть потенційно підвищити ефективність сонячних панелей і подвоїти або навіть потроїти електричну потужність сонячних енергетичних систем [12].

Висновок до розділу 1

В першому розділі було проаналізовано літературні джерела, і можемо сказати, що на сьогодні сонячна електроенергетика – один з найбільш швидкозростаючих секторів альтернативної енергетики, які активно розвиваються у світі.

Проаналізували дані про способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання. Вважаю, що в майбутньому з величезною швидкістю у всіх розвинутих країнах пошириться течія використання сонячних батарей. Наразі для України найперспективнішими є два основних напрями використання сонячної енергії для перетворення в теплову та електричну енергію.

В Україні сонячне теплозабезпечення має достатній досвід використання, а технологічний потенціал вітчизняної промисловості дає змогу розв'язати завдання масового виробництва геліотехнічного обладнання.

За літературними даними, можемо стверджувати, що Україна належить до енерго-дефіцитних країн, оскільки за рахунок власних паливно-енергетичних ресурсів вона задовольняє свої потреби лише на 47–49 %. За рахунок власного видобутку покривається 10–12 % потреб у нафті та 20–25 % – у природному газі. Тому необхідно приділяти увагу розвитку альтернативних джерел енергії

У майбутньому для розширення перспектив сонячної енергетики Україна може перейняти вдалий досвід наших іноземних колег. Вважаю, необхідно

брати приклад з розвитку сонячних технологій в Китаї, який всього за п'ять років із аутсайдерів ринку став світовим лідером за потужністю сонячних електростанцій.

1) Альтернативні джерела енергії є потенційно економічно ефективними, але в країні відсутній достатній для промислового застосування досвід масштабної промислової експлуатації.

2) Сонячне випромінювання є основним напрямком розвитку світової та української енергетики, який необхідно розвивати.

3) Успішний розвиток сонячної енергетики як у світовому масштабі, так і в Україні, можливий при належній сировинній базі, основу якої складає полікристалічний та монокристалічний кремній, тому необхідне впровадження інновацій у електронне машинобудування.

4) Становлення вітчизняної сонячної енергетики в перспективі є визначальним для енергетичної та економічної незалежності України.

Розділ 2. Генерування сонячної енергії

Генерування електроенергії це процес перетворення різних видів енергії в електричну на індустріальних об'єктах, що називаються електричними станціями.

Електрика та інші види енергії можуть бути отримані безпосередньо від сонця, навіть у хмарну погоду. Сонячна енергія використовується у всьому світі і стає все більш популярною для вироблення електроенергії, а також для опалення та опріснення води

Сонячна енергія може генеруватися двома основними способами: Фотогальванічним та системи концентрованої сонячної енергії.

Розділ 2.1. Фотогальванічні або сонячні елементи

Фотогальванічні (PV) або сонячні елементи -це напівпровідникові пристрої, які перетворюють сонячне світло безпосередньо в електрику. Сучасні сонячні елементи, ймовірно, являють собою зображення, яке дізнається більшість людей - вони розміщені на панелях, встановлених на полях, в будинках і в калькуляторах. Вони були винайдені в 1954 році в Bell Telephone Laboratories в США. Сьогодні сонячні фотоелектричні системи є однією з найбільш швидкозростаючих технологій використання поновлюваних джерел енергії і готові зіграти важливу роль в майбутньому глобальному виробництві електроенергії. Сонячні фотоелектричні установки можна комбінувати для забезпечення електроенергією в промислових масштабах або розташовувати в невеликих змінах для міні-мереж або для особистого використання. Використання сонячної фотоелектричної енергії для харчування міні-мереж є ефективним способом забезпечення доступу до електроенергії людям, які не живуть поблизу ліній електропередач. Вартість виробництва сонячних панелей різко впала за останнє десятиліття, зробивши їх не тільки доступними, а й часто найдешевшими видами електроенергії. Термін служби сонячних батарей становить близько 30 років, в залежності від типу матеріалу, що використовується у виробництві [13].

Для забезпечення ефективної роботи фотовольтаїчних електростанцій електропостачання споживачів та якість електроенергії відпущеної споживачам. Це є досить складною задачею, зважаючи на ймовірнісний характер режимів роботи таких джерел. Ймовірнісний характер генерування значно ускладнює організацію оперативного керування режимами локальних електричних систем (ЛЕС) внаслідок неможливості дотримання умовно-керованими РДЕ заданого графіка видачі потужності. Таким чином, метою роботи є вирішення актуальних питань організації планування та забезпечення оперативного керування умовно-керованими РДЕ з метою отримання максимального прибутку від їх експлуатації та гармонізації впливу на режими електромереж [13].

Типова структурна схема фотовольтаїчної електростанції приведена на рис. 1. Видача потужності виконується через інвертори, що підключені паралельно, на систему шин 0,4 кВ. Такий спосіб приєднання дозволяє керувати режимами видачі потужності окремих інверторів лише за рахунок недовикористання сонячної енергії, що є недоцільним з огляду на прибутковість експлуатації. Зростання об'ємів нарощуваної потужності РДЕ у окремих точках приєднання призводить до неможливості видачі електроенергії без погіршення її якості. З метою вирішення цієї задачі власники джерел енергії змушені вкладати кошти в будівництво додаткових ліній електропередачі і, фактично, розподіляти генеровану електроенергію однієї електростанції між фідерами ЛЕС [13].

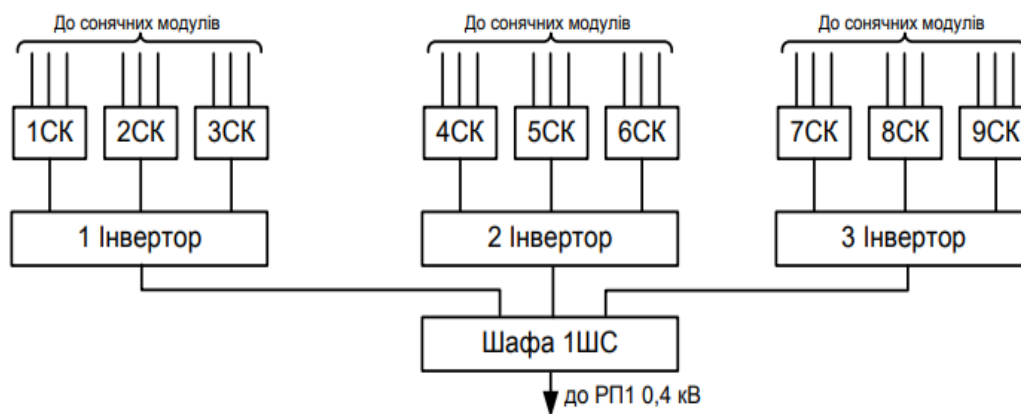


Рис. 7. Структурна схема фотовольтаїчної електростанції

Для узгодження графіків генерування розосереджених джерел енергії з локальним електроспоживанням в роботі пропонується спосіб приєднання інверторів паралельно на дві системи шин, з використанням електронних ключів відповідної потужності або керованого комутаційного обладнання 0,4 кВ, та встановлення автоматів зворотної потужності (АЗП) (рис.8) [13]. Така структурна схема фотовольтаїчної електростанції дозволить виконувати оперативне узгодження графіка видачі потужності на одній із систем шин з локальним навантаженням за рахунок перерозподілу потужностей з виходів інверторів між секціями шин електричної станції [13].

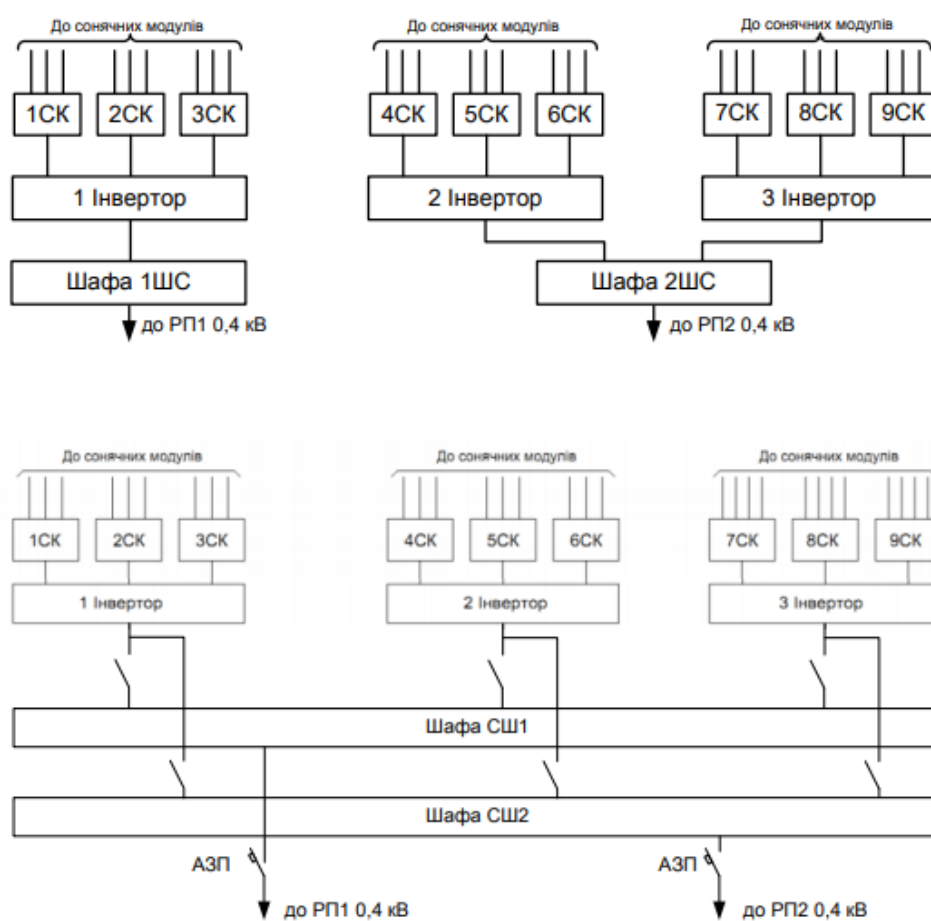


Рис. 8. Структурна схема фотовольтаїчної електростанції з резервованою схемою видачі потужності та узгодженням видачі потужності.

За такої схеми приєднання електричної станції забезпечується можливість роботи одної секції шин у базовому режимі – відповідно до графіка місцевого електроспоживання [13].

На другу секцію шин, зв'язану безпосередньо з живильною підстанцією розподільних електромереж, будуть видаватися надлишки електроенергії,

генеровані фотовольтаїчною станцією, які не узгоджуються з місцевим електроспоживанням [13].

Ефективність фотоелектричного перетворювача визначається світловою вольт-амперною характеристикою (ВАХ) сонячного елемента (СЕ), форма якої залежить від ряду параметрів: послідовного і паралельного (шунтуючого) опорів, щільності струму насичення діода, діодного коефіцієнту та деяких інших параметрів [13].

У зв'язку з цим суттєве значення має задача контролю та оптимізації цих параметрів при виробництві сонячних батарей. У випадку сонячного ВП ця характеристика розглядається при наявності додаткових умов, які у світовій практиці були стандартизовані і застосовуються зараз при проектуванні всіх подібних систем у всьому світі. Відповідно цим стандартам ВАХ сонячних елементів визначається при потужності випромінювання сонця, яка дорівнює 1000 Вт на один квадратний метр. При цьому температура елементів повинна дорівнювати +25°C. Світлова ВАХ сонячного елемента демонструє залежність вихідного струму, що генерується при освітленості СЕ та протікає через підімкнене навантаження, від падіння напруги на цьому навантаженні. Рівняння, що описує світлову ВАХ СЕ можна представити в наступному вигляді:

$$I = I_{ph} - I_0 \left(\exp \left(\frac{U + IR_s}{m} \right) - 1 \right) - \frac{U + IR_s}{R_p} \quad (1)$$

де $m = A k T / e$, I – величина струму протікаючого через навантаження, U – падіння напруги на навантаженні, I_{ph} – величина генеруемого фотоструму, I_0 – величина струму насичення діоду, A – діодний коефіцієнт, e – модуль заряду електрона, k – стала Больцмана, T – термодинамічна температура, R_p – паралельний (шунтуючий) опір, R_s – послідовний опір. Рівняння (1) описує ВАХ реального СЕ, але якщо не враховувати останній доданок, то рівняння буде описувати ВАХ ідеального сонячного елемента.

На рисунку 9 представлена ВАХ сонячного елемента, яка являється дуже важливою характеристикою СЕ оскільки визначає ефективність перетворення енергії сонячного випромінювання в електроенергію.

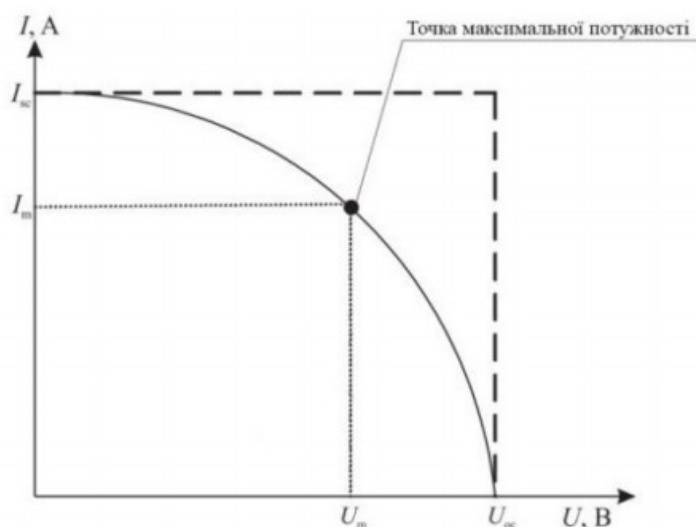


Рис. 9 — ВАХ сонячного елемента: I_{SC} — струм короткого замикання; U_{OC} — напруга холостого ходу

Залежність ВАХ СЕ від його параметрів зображена на рисунку .

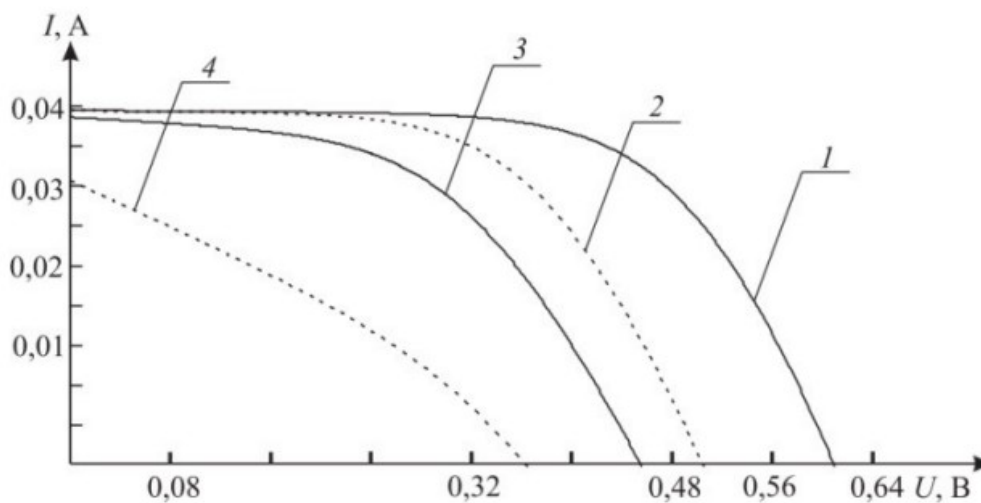


Рис. 10 — ВАХ СЕ при різних значеннях параметрів

Значення параметрів на рисунку 10:

- 1 — $I_0 = 0,22$ мкА, $R_S = 1,7$ Ом, $R_P = 1,2$ кОм, $A = 1,9$;
- 2 — $I_0 = 1$ мкА, $R_S = 2$ Ом, $R_P = 1,2$ кОм, $A = 1,8$;
- 3 — $I_0 = 1,5$ мкА, $R_S = 2,5$ Ом, $R_P = 120$ Ом, $A = 1,7$;
- 4 — $I_0 = 2$ мкА, $R_S = 3$ Ом, $R_P = 12$ Ом, $A = 1,6$

Основним математичним параметром (характеристикою) сонячного ВП є ККД конкретного елемента. Дане ККД можна розрахувати за формулою

$$\eta = \frac{P_m}{P} = \frac{ff \cdot I_{sc} \cdot U_{oc}}{P} \quad (2)$$

де P —потужність падаючого на СЕ випромінювання, P_m —максимальна вихідна потужність СЕ, ff — фактор заповнення ВАХ, I_{sc} —струм короткого замикання, U_{oc} —напруга холостого ходу.[13]

Розділ 2.2. Види фотоелектричних перетворювачів

На даний час широкого поширення отримали 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі [14]:

- ФЕП на основі монокристалічного кремнію;
- ФЕП на основі полікристалічного кремнію;
- Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію (у вигляді тонкої

плівки Si). У більшості економічно дешевих ФЕП використовується аморфний кремній, що дозволяє досягати ККД до 7-12%. У якісних ФЕП, з яких будують промислові сонячні енергосистеми, використовується монокристалічний або полікристалічний кремній з технологічним ККД 14-16 % [14] (табл. 1). Різниця між монокристалічними та полікристалічними ФЕП складає 1-3% по ККД, але за рахунок того, що полікристалічні фотопластини більш толерантні до косих та не ортогональних світлових промінів (краще сприймають розсіяне та кутове світло), середня виробітка в цих типах ФЕП практично однакова, як і їх вартість в останніх комерційних марках [14]. Таблиця 1

Максимальні значення ККД кремнієвих сонячних фотоелементів в серійному виробництві

Тип ФЕП для сонячних батарей	ККД фотоелектричного перетворення, %
Si (кристалічний)	18,7
Si (полікристалічний)	17,3
Si (тонко плівковий)	13,6
InTeCd (тонко плівковий)	10,4

Відповідно кожний з 3-х видів напівпровідникових матеріалів для сонячних батарей має свої переваги і недоліки. Узагальнено їх можна звести їх до таблиці 2

Тип ФЕП	Переваги	Недоліки	Область використання
ФЕП на основі монокристалічного кремнію Si (рис. 1)	- високий ККД (17- 19%); - висока надійність (25-50років роботи); -стабільність параметрів протягом тривалого часу (падіння потужності до 80% від максим за 25 років експл.)	-більш висока вартість (2.5-3.3\$/Вт); -менша технологічність; - вища чутливість до рівня та кута джерела світла - висока вартість отримання та енергозатратність технології виготовлення	1) професійні сонячні енергосистеми; 2) сонячні електростанції; 3)системи живлення космічних апаратів; 4) високоякісні приватні сонячні системи
ФЕП на основі полікристалічного кремнію (рис.2)	- нижча вартість (2.1- 2.8\$/Вт); -висока технологічність; -стабільність параметрів (падіння пот. до 80% від максим за 25 років експл.)	- дещо нижчий ККД (15- 17%); -менша стабільність параметрів	1) широко поширені якісні сонячні енергосистеми; 2) малі електростанції; 3) покриття дахів будинків; 4) фотоелектричні побутові пристрої (зарядні пристрої моб. тел.,ноутбуків, вимірювальна техніка)
Тонкоплівкові ФЕП на основі аморфного кремнію (рис. 3)	-висока технологічність - низька вартість (1.5- 2.4\$/Вт)	- низький ККД (7- 11%); -нестабільність параметрів; -низька надійність (строк служби 5-8 років)	1)поширені більш дешеві приватні сонячні енергосистеми; 2)системи світлодіодного побутового освітлення; 3)побутові пристрої (калькулятори, аудіоплеери, ліхтарики на сонячній батареї, зарядні пристрої)

Розділ 2.3 Енергетична ефективність фотоелектричних перетворювачів

Потужність потоку сонячного випромінювання на відстані 150 млн. км від Сонця (у геосфері Землі), без обліку втрат в атмосфері Землі, складає близько 850-1450 Вт/м² [14], в залежності від географічного розташування. У той же час, інтенсивність (відношення оптичної потужності на визначену площу) сонячного випромінювання в Європі в дуже хмарну погоду навіть вдень може [14] бути менш 900 Вт/м² [14]. За допомогою широко розповсюджених кристалічних сонячних модулів можна перетворити цю енергію в електрику з ефективністю 14-17%. Електроенергетичні можливості таких ФЕП знаходяться в межах 110-170 Вт/м², при оптичній інтенсивності 1 кВт/м² [14].

Згідно принципу перетворення світлової енергії сонячного випромінювання ФЕП на базі внутрішнього фотоефекту у напівпровідникових матеріалах на базі кремнію (Si) або на основі гетероструктур типу A₃ B₅, A₃ B₆, (наприклад AlGaAs-GaAs) з домішками індію (In), арсеніду (As) та галію (Ga) та їх твердих розчинів SiP, GeIn, GaAsP, InGaAs, InGaAsP. Фотоелементи промислових сонячних батарей мають ефективну робочу площу S_{ef} від 1.2м² до 1.9 м², яка пропорційна відсотку отриманої енергії [14].

Одним з основних показників ефективності в залежності від ККД є величина виходу на одиницю площі [Вт/м²]. Цей показник характеризує енергетичну ефективність і компактність геометричних розмірів сонячних панелей [10].

Вихідна потужність модуля ФЕП буде пропорційна прийнятій інтенсивності оптичної потужності сонця I_{opt} ($I_{opt} = P_{opt}/S$, Вт/м²), величині коефіцієнта корисної дії перетворення η , коефіцієнта поглинання k , ефективній площі S_{ef}, а також косинусу кута падіння α , тобто [13]:

$$P_{FEP} = I_{FEP} U_{FEP} = \eta * k * I_{opt} S_{ef} * \cos \alpha \quad (3)$$

де

$I_{FEP} U_{FEP}$, – робочі напруга та струм фотоелектричного модуля;

η – коефіцієнт корисної дії перетворення;

I_{opt} – інтенсивності оптичного випромінювання;

k – коефіцієнт поглинання, $k=0.8-0.98$;

S_{ef*} – ефективна площа поверхні модуля;

α – кут падіння світлових променів, $0-900$ С;

K_t – температурний коефіцієнт, $K_t = 0.5.- 0.7$.

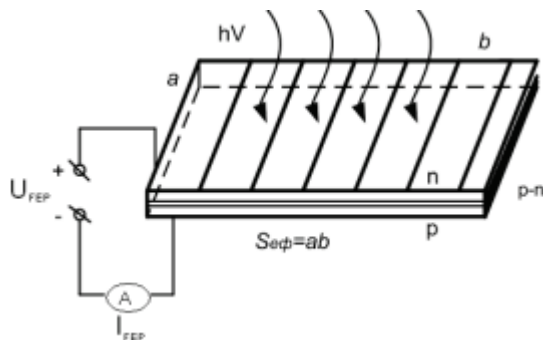


Рис. 11. Електрична схема модуля ФЕП

Для більш ефективного перетворення, кут падіння випромінювання на активну поверхню α , і він повинен максимально наблизитися до 900 , що відповідає умові максимального перетворення при $\cos 90 = 1$.

Формула (4) при цьому матиме вигляд:

$$P_{FEP} = \eta * k * I_{opt} S_{ef*} \quad (4)$$

Ефективність та ККД у не слідкуючих за Сонцем ФЕП (в яких не передбачено автоматичного наведення на Сонце помітно змінюється протягом доби і може зменшуватись на 30-40% від максимального значення, на відміну від трекерних сонячних систем, які шляхом повороту та радіального переміщення ФЕП забезпечують умову $\alpha=90$. Оскільки при відмінному від 90 куті падіння косинус кута в змінюється від 0.3 до 1 та викликає відповідне зменшення ефективної вихідної потужності P_{FEP} [11].

Ефективність перетворення сонячної енергії в значній мірі зменшується через відносно велике значення відбивання від поверхні ФЕП. Кількість поглиненого випромінювання буде визначатись різницею між падаючим і кількістю пропущеного і відбитого

$$k_{pogl} P_{pogl} = P_{opt} - k_{cid} P_{opt} - k_{prop} P_{opt} \quad (5)$$

Де

$k_{\text{погл}}, k_{\text{cid}}, k_{\text{проп}}$ – коефіцієнти поглинання, пропускання і відбивання.

Відомою умовою з теорії взаємодії оптичного випромінювання з речовиною є $k_{\text{погл}} + k_{\text{cid}} + k_{\text{проп}} = 1$.

Найбільше значення коефіцієнта поглинання для ФЕП визначає умову його максимальної ефективності, що відповідає більш «чорним» за темним кольором матеріалом активної поверхні ФЕП (наприклад, монокристали Si)[13].

Через особливості побудови фотоелектричних перетворювачів виникають зниження ефективності сонячних панелей з ростом температури, тому сучасні методики визначення робочих параметрів ФЕП враховують температурний коефіцієнт K_t , що змінюється в залежності від пори року (взимку ближче до 0.7, влітку K_t наближається до 0.5) [13].

Аналізуючи робочі вольт-амперні характеристики більшості фотоелектричних панелей можна побачити, що для досягнення найбільшої ефективності енергетичного виходу необхідно робити правильний підбір опору навантаження. Для цього фотоелектричні панелі не підключають прямо до навантаження, а використовують контролер керування [10, 13] фотоелектричними системами, що забезпечує оптимальний режим роботи панелей. Ефективність перетворення також залежить від електрофізичних характеристик неоднорідної напівпровідникової структури, а також оптичних властивостей ФЕП, серед яких найважливішу роль грає фотопровідність, яка визначена явищами внутрішнього фотоэффекта в напівпровідниках [13].

Основні втрати енергії у ФЕП можна поділити на такі фактори:

- 1) відбивання оптичного випромінювання від поверхні перетворювача;
- 2) проходження частини випромінювання через ФЕП без поглинання;
- 3) розсіювання на теплових коливаннях напівпровідникової ґратки надлишкової енергії фотонів (ріст температури);
- 4) не повне освітлення активної площі, що передбачає роботу на додатково створене власне навантаження та відповідно появу додаткового внутрішнього опору перетворювача;
- 5) конструктивними та фізико-хімічними особливостями структури н/п.

Для зменшення усіх видів втрат енергії у сонячних ФЕП розробляються й успішно застосовуються різні заходи:

1) використання напівпровідників з оптимальною для сонячного випромінювання шириною забороненої зони, орієнтованих на ширший спектр;

2) технологічне покращення і адаптація властивостей напівпровідникової структури шляхом її оптимального легування і створення вбудованих електричних полів;

3) перехід від гомогенних до гетерогенних напівпровідникових структур;

4) оптимізація конструктивних параметрів ФЕП (глибини залягання р-п переходу, товщини базового шару, частоти розподілу контактної сітки провідників тощо);

5) застосування оптичних просвітлюючих покриттів [10];

6) застосування примусового охолодження активного шару ФЕП (зменшення величини Kt у формулах);

6) створення каскадних ФЕП із змішаною схемою включення. Фотоелектричні перетворювачі, які застосовуються у енергетичних сонячних модулях повинні відповідати ряду вимог, в першу чергу високому ККД перетворення оптичного випромінювання в діапазоні 0.3 – 10 мкм в електрику.[15] Параметри, що відповідають всьому комплексу вимог до перспективних технологій фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі можуть бути отримані лише при створенні багато перехідних каскадних гетеро структурних ФЕП на основі напівпровідникових структур групи $A_3 B_5$, до числа яких відноситься монокристали кремнію Si та арсенід галію GaAs. Збільшення кількості р-п переходів у каскадних ФЕП дозволяє розширити область фото активного поглинання випромінювання та зменшити втрати енергії. Каскадний ФЕП з 4–5-ма р-п переходами має досяжний в лабораторних умовах $KКД \approx 40\%$, на відміну від $KКД \approx 10-17\%$ для одно перехідних гетеро структурних ФЕП. При характерній для ФЕП робочій температурі порядку $T = 300-350 \text{ K}$ ($30-800 \text{ C}$), їх граничний теоретично можливий ККД до 35 %.

Інсталяція моно-кремнієвих ФЕП прямокутної форми повинна враховувати напрям (Схід-Захід) руху Сонця, тоді нормаль панелі повинна орієнтувати суворо на південь (саме з півдня світловий потік є максимальним, пройшовши атмосферу під прямим кутом, з мінімальними втратами)[14].

Коефіцієнт корисної дії (ККД) ФЕП (ефективність перетворення) світлової енергії в електричну емпірично визначається за формулою:

$$\eta = \frac{P_{elect}}{P_{optic}} * \gamma * 100\% \approx \frac{I_r U_r}{\Phi * S * \sin \varphi} \quad (6)$$

де I_r , U_r – робочі електричні струм та напруга;

Φ – світловий потік;

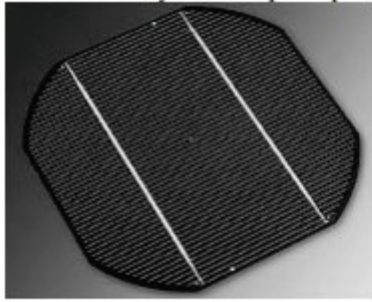
S – площа активної поверхні;

φ – кут падіння променів;

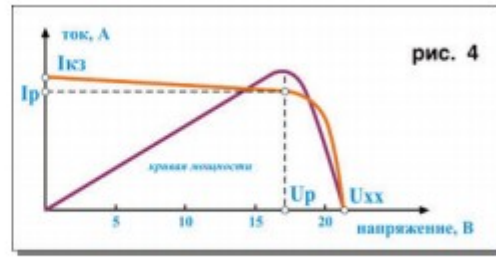
γ – коефіцієнт квантової ефективності та провідності;

P_{elect} , P_{optic} – електрична та оптична потужності. ККД фотоелемента збільшується з ростом світлового потоку Φ і фото-електрорушійної сили U_r . Однак при великих значеннях світлового потоку Φ з ростом концентрації вільних носіїв зростає кількість їх рекомбінацій [10].

Крім того, у результаті збільшення температури модуля при великих Φ збільшується струм I_r , що також є причиною зниження ККД. Істотного підвищення ККД (до +15 %) ФЕП і сонячних батарей на їх основі вдається реалізувати за рахунок створення фотоелектричних перетворювачів із двосторонньою чутливістю [9, 10] (2 активних шари з різних боків пластини) або шляхом застосування люмінесцентно перевипромінюючих структур у поєднанні з попереднім розкладанням світлового спектра на дві або більше спектральних областей за допомогою багат шарових плівкових світлоподільників на дифракційних ґратках з послідовним перетворенням кожної ділянки спектра окремим ФЕП [14].



а)



б)

Рис.10

.Фотоелектричні перетворювачі на основі кристалічного кремнію: а) зовнішній вигляд ФЕП; б) їх робоча ВАХ

Розділ 2.4. Системи концентрованої сонячної енергії

Використовують дзеркала для концентрації сонячних променів. Ці промені нагрівають рідину, яка створює пар для приводу турбіни і вироблення електроенергії [14]. Технологія CSP використовується для вироблення електроенергії на великих електростанціях. Такі електростанції зазвичай мають поле дзеркал, яке перенаправляє промені на високу тонку вежу. Одним з основних переваг CSP електростанції перед сонячною фотоелектричною станцією є те, що вона може бути доповняється ємностями з розплавленими солями, в яких може зберігатися тепло, що дозволяє генерувати електрику після заходу сонця [14].



Рис.12. Фотоелектричні перетворювачі на основі монокристалічного кремнію

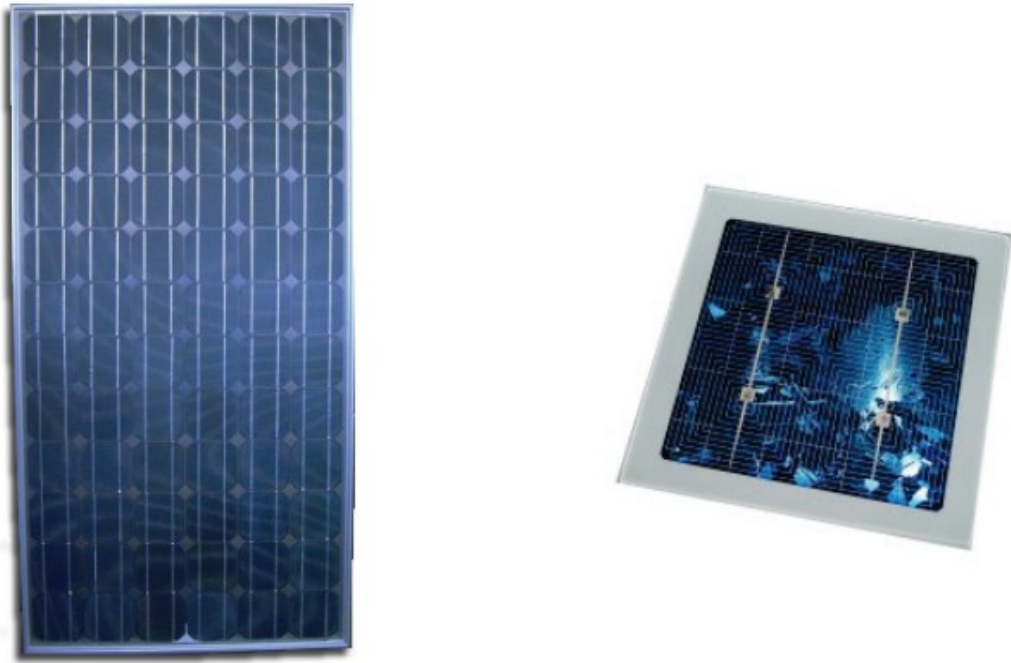


Рис.13. Фотоелектричні перетворювачі на основі полікристалічного кремнію



Рис.14. Тонкоплівкові модулі ФЕП на основі аморфного кремнію

Кожний модуль сонячної батареї складається з 36, 72 або 96 окремих елементів ФЕП. Приведені на рисунках 1-3 фотографії сонячних батарей для промислового і домашнього використання найчастіше застосовуються у вигляді модульних конструкцій, що монтуються на технологічні площадки і дахи будівель [14].

В залежності від ККД матеріалу, різні типи сонячних панелей будуть мати різні площі робочі площі для отримання одного для всіх умовного значення потужності. Промислові батареї збираються з окремих елементів, що з'єднуються проводами, після чого розміщуються між скляними пластинами і полімерними плівками для захисту[14].

Тонкоплівкові елементи випускають вже в готових матрицях, іноді навіть у готових герметизованих корпусах, що забезпечують автоматичне позиціонування комірок ФЕП. На рис.4 і рис.5 приведено порівняння умовних площ батарей на 3-х різних типах фотоелементах, що необхідні для вироблення 1000 Вт (1кВт) електроенергії.[14]

Розділ 2.5 Деградація сонячних модулів

Деградація сонячних панелей (PID) – це зниження вихідної потужності PV-модулів у часі. Дуже небажане явище, яке викликається як внутрішніми, так і зовнішніми причинами [15].

Деградація продуктивності фотоелектричних модулів з одного боку очікуваний та нормальний процес, будь-яке обладнання рано чи пізно виходить з ладу. З іншого боку, економічно доцільним є обмеження або усунення причин PID. Це дозволяє знизити швидкість деградації сонячних панелей та поліпшити економіку проєкту [15].

Чинники прискорення PID-процеси в сонячних модулях:

- Різниця потенціалів між сонячним елементом та заземленою рамою модуля;
- Вплив вологості та температури;
- Виробничі дефекти;
- Недостатня щільність ламінувального шару модуля.

Економіка проєктів сонячних електростанцій розраховується виходячи з терміну служби ФЕМ протягом 25-30 років. Тому, значне зниження продуктивності в перші роки роботи СЕС стає просто катастрофою з технічної та фінансової точки зору [15].

PID може відбутися протягом декількох тижнів або навіть днів після введення СЕС в експлуатацію. Як правило, це відбувається, коли відсутнє якісне заземлення (внутрішній електричний ланцюг зміщений у від'ємну сторону щодо землі). В такому випадку, напруга між рамою та осередками модуля може викликати «дрейф» іонів натрію зі скла до поверхні комірки [15].

Осередок зазвичай має покриття з нітриду кремнію (SiN), що знижує відбивну здатність. Якщо точкові отвори в цьому покритті досить великі, щоб дозволити іонам натрію проникати у комірку, тоді продуктивність може бути непоправно знижена. У такій ситуації, напруга може викликати накопичення статичного заряду, що також негативно впливає на продуктивність, хоча цей ефект зазвичай можна виправити [15].

На мою думку, необхідне зниження ймовірності виникнення PID-процесів, щоб інвестори могли довіритися тому чи іншому виробнику сонячних батарей, PVEL пропонує процедуру тестування модулів. Вона дозволяє визначити наскільки обрана модель ФЕМ є PID-стійкою. Якщо тестування виявляє незадовільні результати стійкості сонячної батареї до деградації, доцільним є застосування альтернативних рішень. Наприклад, використання певних конфігурацій заземлення або розподіленої електроніки, або заміна виробника/моделі PV-модуля [15].

Розділ 2.6 Інноваційні технологічні рішення для сонячних модулів

За останні кілька років спостерігається багато інновацій в фотоелектричних технологіях. Виробники активно впроваджують нові процеси та нові компоненти [15].

PERC (Passivated Emitter Rear Cell) – дана технологія широко застосовується для моно та полікристалічних комірок. Передбачає додатковий діелектричний шар на тильній поверхні комірки. Дана технологія збільшується ступінь поглинання фотонів і квантову ефективність осередків;

Bifacial – це двобічні монокристалічні елементи. Поглинають сонячне випромінювання з обох боків сонячної панелі, що збільшує відсоток виробленої енергії;

Multi Busbar – шини дротяного та багатолінійного типу. Технологія заснована на використанні замість широких шин дуже тонких круглих проводів. Це знижує опір та підвищує продуктивність;

Split panels – половинчасті осередки. В даній технології використовуються комірки з половинним розміром замість квадратного, а розподільна коробка переміщена у центр модуля. Кожна комірка працює паралельно, що підвищує продуктивність та знижує резистивні втрати через шини.

Dual Glass – безрамкові модулі, з подвійним склом. Часто подвійні скляні панелі виготовляють без алюмінієвої рами, що дозволяє ФЕМ самоочищатися під час дощу та вітру, підвищуючи тим самим продуктивність фотоелектричної системи;

Shingled Cells – суцільні елементи. Це нова технологія, в якій нашаровують один на одного вузькі смужки фотоелектричних комірок. У перекритті смужок ховається одна шина, що виключає необхідність сполучувати шини поверх елемента, а значить підвищує продуктивність панелі;

IBC (Interdigitated Back Contact cells) – переплетіння контактів позаду комірки. З тильного боку комірки вбудовується сітка з провідників. Використання IBC технології дозволяє зміцнити сонячний елемент та знизити ймовірність мікротріщин;

HJT (Heterojunction cells) – гетероструктурні комірки. В основі HJT фотоелемента лежить звичайна кристалічна кремнієва пластина, яка покрита з двох сторін тонкою плівкою аморфного кремнію. Дана технологія підвищує продуктивність комірок [15].

Розділ 2.7 Вибір та види акумуляторів

Широкий вибір існуючих на сьогодні акумуляторних батарей (АКБ) призводить до необхідності вибору конкретного їх типу для кожного специфічного рішення, з урахуванням їх переваг на недоліків. На рис. 15 схематично зображено автономну систему електроживлення. Таку систему можна поділити на такі функціональні частини: сонячний модуль, контролер заряду акумуляторної батареї, акумуляторна батарея (АКБ), інвертор напруги та споживач [16].



Рис. 15. Схема автономної системи електроживлення

Порівняння акумуляторів буде проводитись за такими критеріями: питомою ємнісною вартістю, напругою однієї комірки, об'ємною ємністю, середнім строком експлуатації та екологічністю [16].

Свинцево-кислотні АКБ (Lead-Acid batteries). Найбільш поширеним типом АКБ, що запропоновані виробниками для подібних систем, є свинцево-кислотні АКБ. Такі акумулятори можна поділити на ті, що потребують обслуговування (з рідким електролітом), та ті, що обслуговування не потребують (типи GEL та AGM). Принцип роботи цього типу акумуляторів засновано на електрохімічній реакції свинцю та діоксиду свинцю в розчині сірчаної кислоти.

Відповідно, свинцево-кислотні акумулятори типів GEL та AGM через відсутність рідкого електроліту між свинцевими пластинами є більш зручними в користуванні та надійними [16]. Перевагами цього типу АКБ є:

- Поширеність та доступність.
- Невисока вартість.
- Наявність великої кількості готових рішень.

Недоліками цього типу АКБ є:

- Наявність токсичних речовин.
- Чутливість до низьких температур.
- Порівняно невеликий ресурс у процесі використання в режимі глибоких розрядів.
- Чутливість до повного розряду.

– Додаткові вимоги до перевезення та встановлення АКБ з рідким електролітом.

Тип AGM містить абсорбуючі склотканинні вставки між пластинами, які безпосередньо зв'язують електроліт. Перевагами цього типу акумуляторів є менша вартість порівняно з типом GEL, нижчі вимоги до якості напруги заряду, більш високі струми заряду/розряду [16].

У табл. 3 наведено параметри декількох свинцево-кислотних АКБ для кожного з типів.

Таблиця 3

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів	Масогабарити ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
Challenger A12-200 [2]	12	202	12,260	522x240x219, 60	11 478
SIAP PzS 4 APH 420 [3]	2	420	18,1200	81x198x540, 25	3991
Ventura GPL 12-200(AGM) [4]	12	200	12,260	522x238x238, 64	10 278
Leoch DJM 12120 (AGM) [5]	12	120	12,260	177x225x225, 35	8159
Challenger OPzV2- 500(GEL) [6]	2	490	18,1200	166x206x513, 39,5	8324
Ventura VG12- 200 (GEL) [7]	12	200	15,350	526x238x246	11 728

У запропонованих на ринку України готових рішеннях для автономної системи електроживлення потужність сонячних панелей співвідноситься з потужністю пропонованого інвертора в межах 1:2 – 1:3. Співвідношення потужності сонячних панелей та акумуляторних батарей коливається в межах від 1:4 до 1:5. Цей тип акумуляторів не містить у своєму складі вбудованих контролерів. Отже, застосовують зовнішні контролери заряду, здебільшого розраховані на напругу 12/24/36/48В сонячної панелі, та широкий діапазон вихідних напруг. Найбільш поширеними є два типи контролерів заряду: ШІМ (широтно-імпульсна модуляція) та МРРТ (Maximum Power Point Tracking, відстеження точки максимальної потужності) [16].

Зазвичай контролери з МРРТ більш складні та дорогі, ніж ШІМ, проте їх робота є більш ефективною. Так, з метою здешевлення цього типу контролерів запропоновано відмовитись від використання в їх складі мікропроцесорів, ПЛІС та аналогово-цифрових перетворювачів, замінивши їх функції аналоговими вузлами [16]. Останнім часом з поширенням мережевих та безпроводних технологій, зокрема, в роботі [13], такі рішення знаходять своє застосування й у сфері альтернативної енергетики. Так, пропонується система, що забезпечує моніторинг та збереження даних про стан свинцево-кислотних акумуляторів за допомогою веб-сервера. Також система забезпечує високу ефективність роботи АКБ завдяки алгоритму МРРТ. У табл. 4 наведено параметри декількох контролерів заряду свинцево-кислотних АКБ [16].

Таблиця 4

Найменування	$U_{вх.}$	$I_{н.}$	$U_{н.}$	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	P	Вартість, грн
EPsolar EPRC10-EC(PWM)	12	20	24	140x89x26, 0,15	120	63 8
EPsolar LS2024R (PWM)	12	20	24	143x75x45, 0,25	240	12 55
EPsolar MPPT TRACER2210RN	32	20	100	169x118x83, 0,95	640	52 43
EPsolar MPPT TRACER4215RN	32	20	150	242x169x91, 2	640	10 983

З наведених даних видно, що контролери заряду з ШІМ є більш дешевими. Проте контролери заряду з MPPT розраховані на роботу із сонячними батареями (СБ) більшої потужності та більш високим струмом. Також цей тип контролерів забезпечує вищий ККД за умови часткового затінення СБ, підвищує термін служби свинцево-кислотних АКБ [14]. Детальніше ефективність роботи контролера заряду з MPPT за різних погодних умов (температура, освітленість сонячної панелі) розглянуто в [16]. Недоліком використання у складі автономних сонячних електростанцій свинцевокислотних АКБ є їхня токсичність (через застосування в конструкції кислот та важких металів). Це призводить до виникнення ускладнень у процесі їх утилізації та вносить певні ризики у процес експлуатації (через можливі механічні пошкодження під час роботи). Додаткову небезпеку в цьому типі батарей становить наростання тиску всередині корпусу, що може призвести до порушення його цілісності. Тому більшість сучасних моделей обладнані спеціальними клапанами для скидання надлишкового тиску. Всі розглянуті в цій статті батареї оснащені подібними клапанами [15].

Проте, як показав аналіз рішень, наявних на ринку України та провідних європейських країн, саме цей тип акумуляторів домінує в побутовому сегменті

готових систем. Така ситуація спричинена поширеністю, доступністю, відносно невисокою вартістю свинцево-кислотних акумуляторів при достатньо довгому терміні експлуатації. Також застосування свинцево-кислотних акумуляторів виправдане з метою здешевлення побутових систем малої потужності, де не є критичними масогабаритні параметри [13].

Нікель-кадмієві АКБ історично є однолітками свинцево-кислотних. Однак початок їх використання відбувся із запізненням через труднощі з виробництвом та подолання технологічних недоліків. В основі роботи цього типу акумуляторів лежить електрохімічна реакція гідроксиду нікелю, кадмію та води [11].

До переваг нікель-кадмієвих АКБ можна віднести:

- Можливість проведення відносно швидкого та простого заряджання АКБ після тривалого зберігання.

- Кількість циклів повного заряду-розряду більше 1000.

- Можливість роботи у широкому температурному діапазоні: від -50 до $+60^{\circ}\text{C}$.

- Нормальна робота після повного розряду. – Відсутність спеціальних вимог до перевезення та зберігання.

- Можливість зберігання в розрядженому стані.

До недоліків таких АКБ належать:

- Ефект пам'яті та заходи по боротьбі з ним.

- Відносно значний саморозряд під час довгого зберігання.

- Токсичність застосованих матеріалів та спеціальна утилізація.

Номинальна напруга елемента становить 1,2 В. Через це потрібно з'єднувати певну кількість елементів для отримання бажаної напруги, що у свою чергу підвищує вартість системи. Знайти приклади застосування цих акумуляторів у складі автономних сонячних електростанцій не вдалося, проте вони застосовуються разом із сонячними панелями у складі деяких аерокосмічних систем [15].

Приклади деяких наявних на ринку зразків цього типу АКБ та їх параметрів наведено в табл. 5.

Таблиця 5

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів	Масогабарити ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExeed EBH100 [12]	1,2	100	20 2050	106x164x345, 6,9	270–4320
EverExeed EBL100 [13]	1,2	100	20 2050	80x141x365, 13,7	270–19 000
Changhong DMH120 [14]	1,2	100	15 1200	93x123x309, 5,65	-

Як контролер заряду для таких батарей було запропоновано алгоритм з використанням нечіткої логіки (Fuzzy Logic) [13]. Так, автори доводять на основі моделювання підвищення ККД системи та подовження терміну роботи АКБ до 3000 циклів заряду-розряду.

Нікель-метал-гідридні акумулятори загалом подібні до нікель-кадмієвих, проте мають багато відмінностей. Катод таких батарей виконано з гідриду металу. Розроблені як заміна нікель-кадмієвих акумуляторів.

Переваги:

- Відсутність ефекту запам'ятовування.
- Екологічно безпечні.
- Дещо вища ємність у таких самих габаритних розмірах, що і в нікель-кадмієвих АКБ.

Недоліки:

- Значно більший саморозряд, ніж у нікель-кадмієвих АКБ.
- Ресурс на рівні 300 циклів заряду-розряду (до 1500 для акумуляторів з низьким саморозрядом).

Зразки цього типу акумуляторів, які застосовувалися б у системах альтернативної енергетики, не відомі. Також у вільному доступі відсутній детальний опис промислового зразка цього типу акумулятора з описом його характеристик, як це було зроблено для інших типів АКБ. Через це більш глибоке порівняння цього типу пристроїв з аналогами в межах поточного огляду не здійснювалося [16].

Перший літій-іонний акумулятор було випущено компанією Sony в 1991 році.

Через підвищення зарядної напруги такі акумулятори можуть займатися, тому їх часто обладнують вбудованими контролерами заряду. В більш складних моделях такі контролери можуть відслідковувати температуру акумулятора, запобігаючи перегріванню, обмежувати струм та глибину заряду.

У разі порушення режимів заряду або розряду АКБ може спалахнути чи навіть вибухнути. Гасіння такого типу пожежі є дуже складним, оскільки типові методи (вода, вуглекислотний вогнегасник) реагують з компонентами акумулятора. Тому найоптимальнішим способом подолання такого типу пожежі – блокувати доступ повітря до полум'я. Для цього типу АКБ було запропоновано контролер заряду з використанням нечіткої логіки [11]. Як свідчить моделювання та експериментальні дані, ефективність роботи такої системи підвищується, а час, необхідний на процес заряджання акумулятора, зменшується на 23 %.

У 2015 році компанія Tesla презентувала свої АКБ для побутового використання у складі систем альтернативної енергетики Tesla powerwall [15].

У табл. 4 наведено параметри деяких існуючих літій-іонних акумуляторів. Виробник Changhong оснащує свої акумулятори системою керування батареєю (BMS (battery management system)), що забезпечує захист від надмірного заряду, перевантаження за струмом, збір інформації, контроль температури та інше.

Таблиця 6

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів	Масогабарити ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
Changhong 4- 2IFP11200328	12,8	100	10+ 1500+	425x425x90, 15	-
Changhong 15IFP09155225- 7	48	140	10+ 1500+	830x395x315, 100	-
Sony Module IJ1001M	51,2	42	10+ 1500+	215x160x522, 27	34556
Winston WBLYP60AHA	4	100	3000+	214x179x106, 3,5	4596
LG CHEM RESU 3.3	48	63	2000+	452x402x120, 31	75479

Головна відмінність літій-залізо-фосфатних АКБ від літій-іонних АКБ полягає в тому, що матеріалом, з якого виготовлено катод, є літій-залізо-фосфат. В основі роботи лежить електрохімічна реакція літій-залізо-фосфату з карбоном. У табл. 5 наведені параметри декількох таких акумуляторів.

Таблиця 7

Найменування	Напруга, В	Ємність, А·год	Ресурс роботи, р, зарядів*	Масогабарити, ДхШхВ, мм, кг	Вартість, грн
EverExceed EV48100-T	48	100	15+ 3000+	451x221x65, 15	139556
BLV-12V- 105AH	12	105	-	340x270x65, 3658	
Victron energy 24V/100Ah	24	100	-	592x154x278, 2,6	150785
Victron energy 24V/60Ah	24	60	-	214x179x106, 3,5	35698

Переваги:

- Незначний саморозряд.
- Не потребують регламентного обслуговування.
- Екологічно безпечні.
- Наявність готових модулів із вбудованими контролерами заряду та

BMS.

До недоліків цього типу акумуляторів можна віднести:

- Високу вартість.
- Ефект запам'ятовування.
- Зменшення ємності при порушенні температурних умов заряду-розряду

Параметри для порівняння АКБ. Першим параметром для порівняння різних типів АКБ введемо відношення вартості однієї ампер-години – питому ємнісну вартість A . Значення цього параметра розрахуємо за формулою (1):

$$A = \frac{V}{C} \quad (6)$$

де V – вартість, грн; C – електрична ємність, А·год. Результати розрахунків цього параметра наведено в табл. 6. Як видно з наведених значень, найбільша вартість однієї ампергодини у деяких моделей літій-іонних та літій-залізо-фосфатних акумуляторів. Проте ці моделі мають певні додаткові особливості (система BMS, можливість з'єднання в єдину збірку, наявність інтерфейсів RS-232/CAN, контролер заряду та ін.). Найменш дорогими з розглянутих акумуляторів є свинцево-кислотні. Це є наслідком широкої номенклатури, поширеністю та відносно нижчою технологічною складністю виготовлення [16].

Таблиця 8

№	Акумулятор	Тип	А, грн /А*год	В, (А*год)/ см ³	V, см ³
1	Challenger A12-200	AGM	57,39	7,29	27436,32
2	Ventura GPL 12-200	AGM	51,39	6,77	29568,17
3	Leoch DJM 12120	AGM	67,99	20,26	5923,13
4	SIAP PzS 4 APH 420	VRLA	9,50	48,49	8660,52
5	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55
6	Ventura VG12- 20	GEL	58,64	6,49	30796,25
7	Challenger OPzV2-500	GEL	16,98	28,5	17542,55
8	EverExceed EBH100	NiCd	21,6	16,7	5997,48
9	EverExceed EBL100	NiCd	80	24,29	4117,2
10	Sony Module IJ1001M	Li-ion	927,52	5,6	17956,8
11	Winston WB- LYP60AHA	Li-ion	43	24,6	4060,2
12	LG CHEM RESU 3.3	Li-ion	1161,73	3,1	20502
13	EverExceed EV48100-T	LiFePO4	1362,4	15,43	6478,62
14	BLV-12V- 105AH	LiFePO4	28,12	17,57	5976
15	Victron energy 24V/100Ah	LiFePO4	1423,5	3,94	25334,7
16	Victron energy 24V/60Ah	LiFePO4	537,72	14,77	4060,37

Другим параметром для порівняння розглянутих типів акумуляторів проаналізуємо номінальну напругу однієї комірки. Порівняльна діаграма наведена на рис. 2.

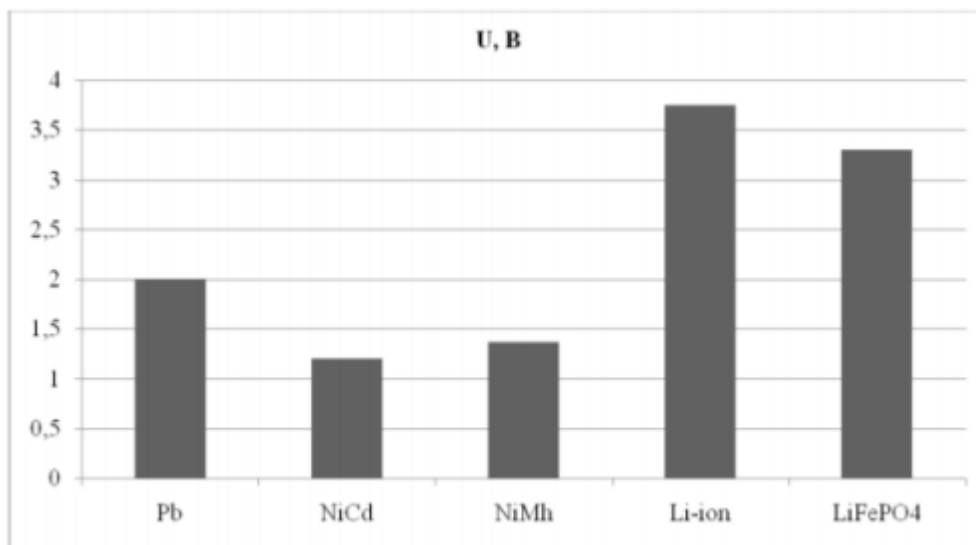


Рис. 16. Номінальні напруги однієї комірки

Як видно з рис. 16, найбільшу напругу однієї комірки мають літій-іонні та літійзалізо-фосфатні акумулятори. Це дозволяє обійтись меншою кількістю комірок для одержання тієї ж вихідної напруги елемента або підвищити її. Як додатковий параметр для порівняння АКБ різних типів розглянемо об'ємну ємність V – відношення ємності АКБ до її об'єму. Результати розрахунків даних параметрів також наведені в табл. 8. Як видно з наведених даних, найвищі значення мають свинцево-кислотні акумулятори. Нижчі показники пояснюються тим, що літій-іонні акумулятори мають у своєму складі контролери заряду, систему захисту батареї та інші модулі, крім власне акумулятора. За даними табл. 6 було побудовано діаграми, що ілюструють співвідношення ємнісної вартості та об'ємної ємності для різних типів АКБ (рис. 17 та рис. 18).

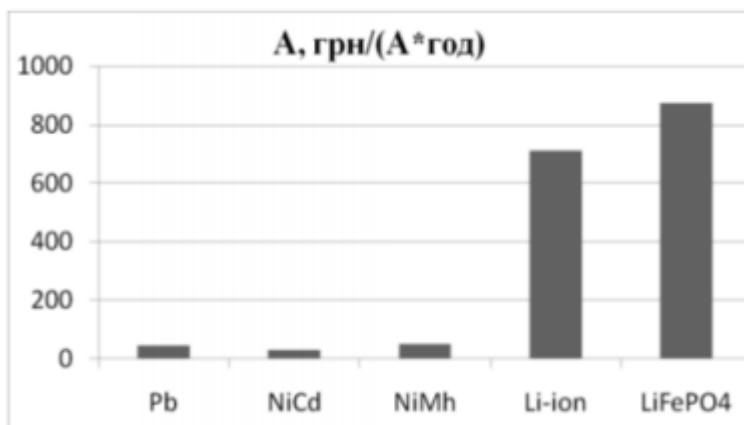


Рис. 17. Ємнісна вартість АКБ різних типів

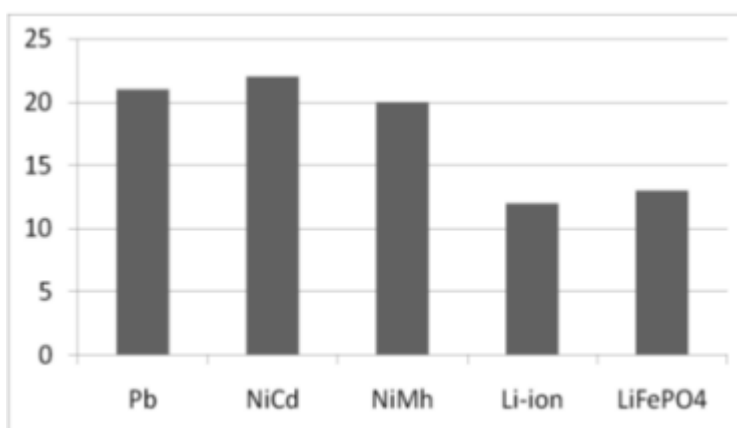


Рис. 18. Об'ємна ємність АКБ різних типів

Загалом, останній показник не є критичним під час вибору акумулятора, оскільки маса та габарити для стаціонарних систем не є настільки значущими, як для бортових систем.

Також важливим критерієм під час вибору АКБ є її ресурс. Як видно з наведених вище даних, всі типи батарей забезпечують досить довгий термін експлуатації в буферному режимі. Стійкість акумуляторів до роботи в режимі розряд-заряд різниться. Так, свинцево-кислотні АКБ більш чутливі до глибоких розрядів та менш стійкі до роботи в режимі розряд-заряд при глибині розряду більше 20 %. Інші з розглянутих типів акумуляторів більш стійкі до такого режиму роботи. Проте у складі автономної системи електроживлення з фотоелектричними перетворювачами АКБ працюватимуть у буферному режимі. Отже, найбільш важливим буде термін експлуатації АКБ.

З-поміж усіх розглянутих моделей найбільший термін використання мають нікель кадмієві АКБ. Строк експлуатації літєвих батарей сягає 10–15 років, тоді як свинцево-кислотні акумулятори мають цей показник на рівні 12 років. Як видно з наведених показників, свинцево-кислотні акумулятори не надто відстають від більш сучасних та екологічних типів АКБ. А використання типів AGM та GEL дозволяє позбавитись від суттєвих труднощів в експлуатації, що були характерні для моделей з рідким електролітом [16].

Висновки та пропозиції. Проаналізувавши наведені вище фактори, можна дійти висновку, що через найменшу питому ємнісну вартість, задовільну напругу однієї комірки, середній термін експлуатації, порівняно з іншими типами АКБ, високу об'ємну ємність, оптимальним варіантом для заданого застосування є свинцево-кислотні АКБ. Додатковою перевагою цього типу акумуляторів є їх широка доступність та значний асортимент різноманітних моделей. Такі ж недоліки, як низька екологічність та необхідність регламентного обслуговування, або подолані в сучасних моделях, або є не суттєвими, враховуючи інші переваги. Перспективним також бачиться застосування у складі автономних систем електроживлення на основі фотоелектричних перетворювачів літєвих АКБ, проте їх широке застосування стримується високою вартістю. Саме через це свинцево-кислотні АКБ є найбільш поширеним типом акумуляторів в наявних на світовому ринку готових рішеннях для автономних сонячних електростанцій побутового рівня.

Розділ 2.8 Вибір та види інверторів

Вимоги, що встановлюються до інверторів, що входять до складу систем з використанням сонячних модулів умовно можна поділити на чотири групи: загальні вимоги до перетворювачів у складі систем електроживлення з відновлювальними джерелами енергії, визначені мережею, визначені особливостями роботи сонячних модулів, визначені схемою організації системи електроживлення. Основною вимогою визначеною особливостями роботи модулів сонячних батарей є забезпечення неперервної роботи в точці максимальної потужності.

Відстеження знаходження вихідної вольт-амперної характеристики у точці максимальної потужності має бути автоматизованим та зазвичай виконується зміною коефіцієнту заповнення імпульсу керування підвищуючого імпульсного перетворювача у вхідному колі інвертора [16]. Важливою умовою для підтримання режиму відбору максимальної потужності є мінімізація пульсацій вихідної напруги сонячної панелі та, відповідно, забезпечення неперервності вхідного струму конвертора.

У літературних джерелах наведено розрахунки за якими для модуля сонячної батареї з вихідною напругою 35 В величина пульсацій вихідної напруги має бути нижчою за 8.5% для отримання коефіцієнту використання сонячних батарей у 98% [16]. Загальними вимогами до конверторів основною задачею яких є перетворення сталої вихідної Одним напруги можна назвати зменшення втрат енергії в процесі перетворення напруги та вимоги до надійності перетворювачів. із схемотехнічних рішень, що дозволяють водночас зменшити втрати енергії та підвищити загальну надійність перетворювача, є мінімізація кількості ключів, що беруть участь у процесі перетворення. Дана методика є особливо важливою для інверторів, задачею яких є перетворення вихідної енергії сонячних панелей, оскільки для забезпечення можливості роботи конвертора у точці відбору максимальної потужності сонячної батареї зазвичай до складу схеми конвертора включають підвищуючий перетворювач сталої напруги, що встановлюється у вхідне коло конвертора та вносить комутаційні та омичні втрати на власному силовому ключі та нелінійних елементах що входять до його складу до загальних втрат на складових елементах конвертора. Вимоги визначені будовою систем базуються на особливостях організації підключення модулів до перетворювача та перетворювача до користувачької мережі.

Загальна структурна схема будь-якої системи електроживлення з використанням сонячних батарей наведена на Рис. 21, і включає в себе масив сонячних батарей, конвертор, що включає в себе конвертор, що складається з інвертора, вихідного пасивного фільтру, підвищуючого перетворювача сталою струму, трансформатора та систему керування [9].

Вибір топології системи відбувається, перш за все, виходячи з необхідної вихідної потужності, економічних параметрів та особливостей ландшафту розташування системи[13]. Найбільш розповсюдженою з наведених є топологія з багатолінійним підключенням через широкі можливості зі зміни кількості підключених сонячних панелей та рівня вихідної потужності. Будова системи з такою структурою передбачає підключення декількох модулів з відокремленими перетворювачами сталої напруги паралельно до спільного інвертора, що дозволяє використання модульних каскадних багаторівневих топологій з відокремленими джерелами вхідної сталої напруги [15].

ТАБЛИЦЯ 9

Вимоги до конвертора	Короткий зміст вимоги
Визначені мережею	Величина коефіцієнту нелінійних спотворень на рівні визначеному міжнародними та місцевими стандартами Дані
Визначені особливостями роботи сонячних модулів	Можливість забезпечення роботи сонячних панелей у точці відбору максимальної потужності, підвищення вхідної напруги перетворювача
Загальні вимоги до перетворювачів у системах з відновними джерелами енергії	Забезпечення мінімальних втрат при перетворенні енергії
Визначені схемою організації системи електроживлення	Врахування особливостей будови системи електроживлення

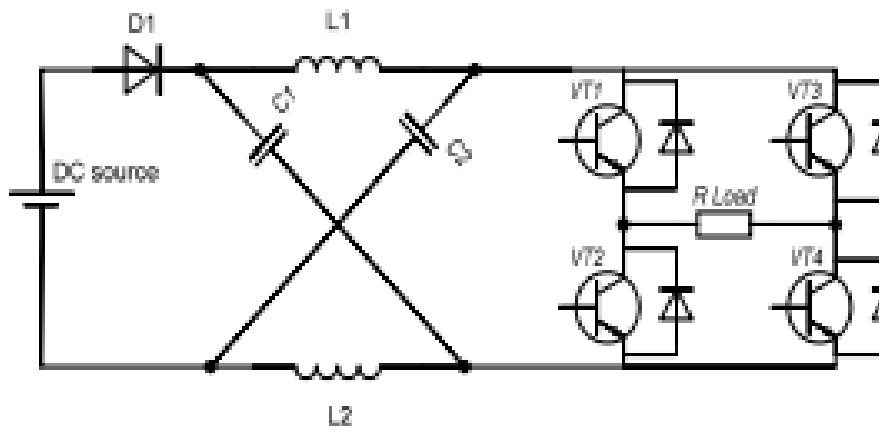


Рис. 19. Інвертор з імпедансним ланцюгом у вхідному колі



Рис. 20. Структура системи електроживлення з використанням сонячних батарей у якості первинного джерела енергії

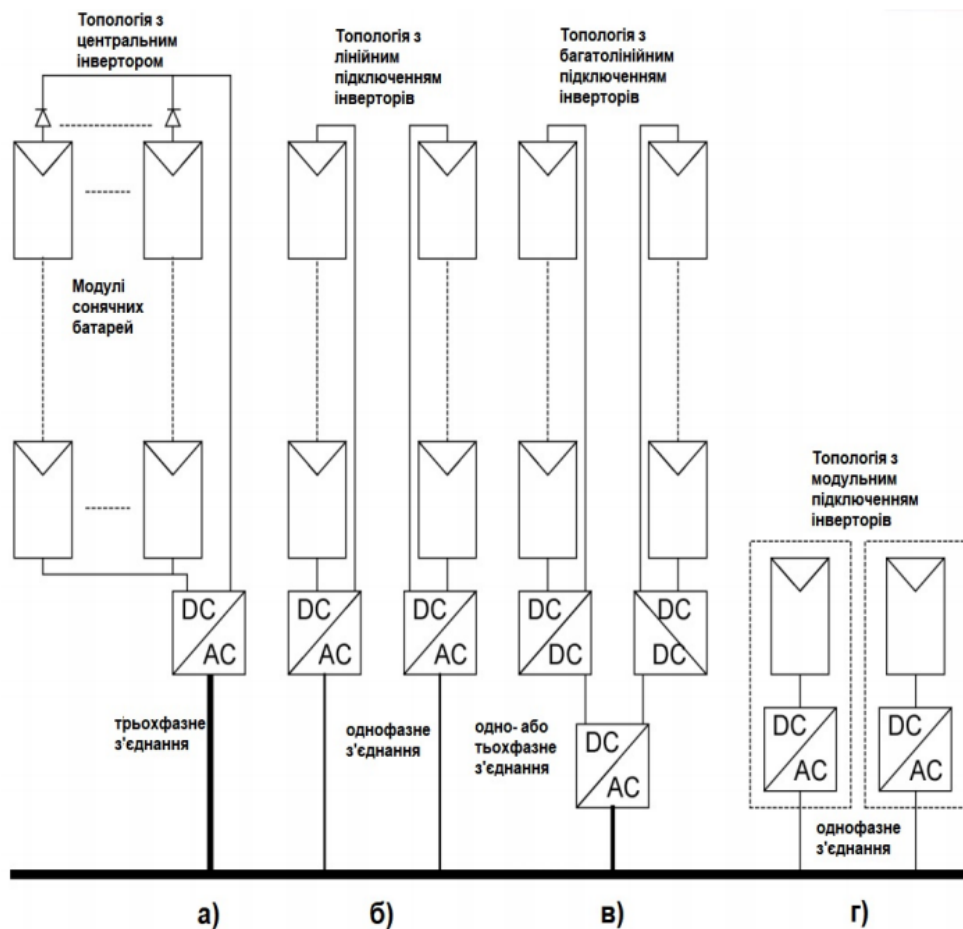


Рис. 21. Класифікація топологій систем електроживлення з використанням сонячних панелей

Підключення інвертора до загальної мережі змінного струму зобов'язує до виконання стандартів, що визначають параметри якості напруги мережі. Серед даних стандартів можна виділити європейські стандарти IEC 61727 «Characteristics of the Utility Interface for Photovoltaic (PV) Systems», EN 61000-3-2 «Limits for Harmonic Current Emission (Equipment Input Current < 16 A per Phase)», IEEE 1547 «Standard for Interconnecting Distributed Resources With Electric Power Systems» та IEEE 519-1992 «IEEE Recommended Practices and Requirements for Harmonic Control in Electrical Power Systems» [15]. Основні параметри якості вихідної напруги інверторів систем електроживлення з сонячними панелями зведено до Таблиця 10.

Таблиця 10.

Назва стандарту	IEC 61727	IEEE 1547
Максимальне значення КНС	5%	5%
Амплітуда вихідної напруги	85-110% (196В-253В)	88-110%
Частота вихідної напруги 5	50±1 Гц	2,1 кГц

З наведених параметрів можна визначити, що загальними вимогами є обмеження КНС вихідного струму на рівні 5%. Для досягнення визначених параметрів з КНС необхідне збільшення вихідного фільтра інвертора, проте його масо габаритні параметри можуть бути зменшені шляхом застосування топології інвертора з якомога нижчим рівнем КНС, якими є топології каскадних багаторівневих інверторів [13].

Об'єднуючи визначені вимоги отримуємо, що рекомендованою до застосування може бути модульна каскадна багаторівнева топологія, що містить у своєму складі перетворювачі здатні підвищувати вхідну напругу без встановлення додаткового підвищувача.

Можливим схемо технічним варіантом вирішення даної задачі може стати каскадний багаторівневий інвертор з використанням z- або квазі-z-інверторів у якості складових модулів. Використання квазіz-інверторів дозволяє додатково зменшити навантаження на елементи кола, що зменшує масо габаритні параметри результуючого пристрою.

Фактично, даний інвертор являє собою комбінацію топології з імпедансним ланцюгом у вхідному колі з каскадною багаторівневою топологією, що дозволяє водночас досягти підвищення вхідної напруги та забезпечення роботи в точці відбору максимальної потужності за рахунок роботи кожного з модулів у режимі «пробою», що дозволяє накопичувати енергію в елементах імпедансного ланцюга з наступною її передачею до навантаження, та зменшити рівень коефіцієнту нелінійних спотворень завдяки можливості формування псевдо-синусоїдальної форми напруги у навантаженні шляхом додавання вихідних напруг модулів у навантаженні відповідно до принципів роботи каскадного багаторівневого інвертора [17].

Практична перевірка даної тези шляхом симуляції трирівневого каскадного інвертора з відокремленими джерелами вхідної напруги з використанням квазі-зінверторів у якості складових модулів підтвердила можливість одночасного підвищення амплітуди вихідної напруги та зменшення рівня КНС порівняно з результатами однорівневих імпедансних інверторів. Вхідна напруга кожного з модулів складала +12 В, була підвищена до +20 В на виході кожного з модулів та синтезована додаванням напруги кожного з модулів у квазі-синусоїдальну змінну вихідну напругу навантаження амплітуда якої склала 60 В. Форма та спектр результуючої напруги на навантаженні наведені на Рис. 22 та Рис. 23 відповідно. Порівняльна таблиця значень КНС отриманого результату з результатами однорівневих топологій наведена у Таблиця 11. Додаткового зменшення рівня КНС для каскадного інвертора можливо домогтися застосуванням методу синтезу вихідної напруги інвертора шляхом розкладання спектру бажаної вихідної напруги інвертора з застосуванням ОБ-перетворення [19].

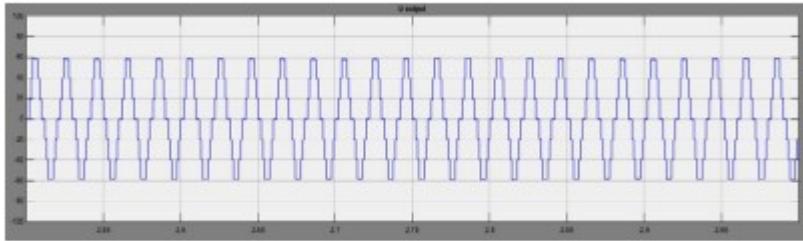


Рис. 22. Форма вихідної напруги трирівневого каскадного інвертора з використанням квазі-z-інверторів у якості складових модулів

ТАБЛИЦЯ 11 ЗНАЧЕННЯ КНС ВИХІДНОЇ НАПРУГИ

Топологія	Визначене значення КНС
Z-інвертор	29.19%
Квазі-z-інвертор	29%
Каскадний багаторівневий квазі-z-інвертор	19.69%

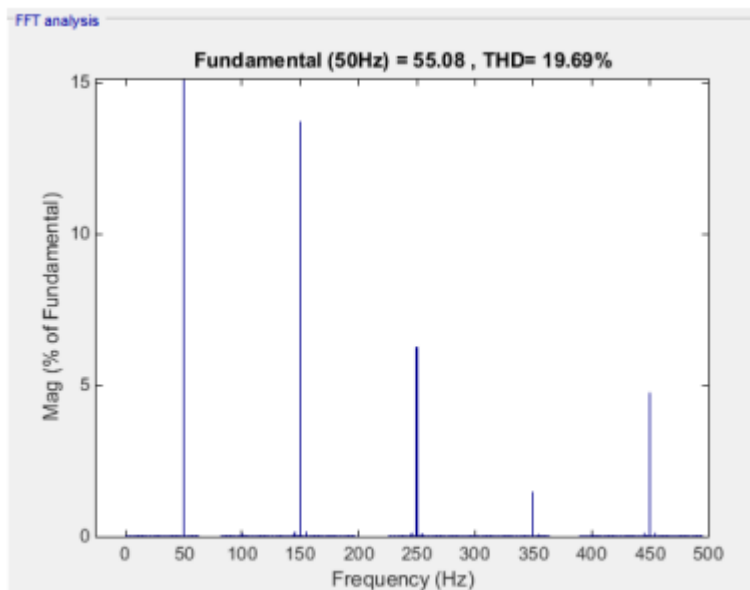


Рис. 23. Спектр вихідної напруги зі значенням КНС трирівневого каскадного інвертора з використанням квазі-z-інверторів у якості складових модулів

На основі визначених та структурованих вимог до інверторів запропоновано застосування каскадного багаторівневого інвертора з відокремленими вхідними джерелами напруги з використанням квазі-z-інверторів у якості складових модулів у якості базової топології що задовольняє

всім визначеним вимогам. Можливість зниження рівня КНС порівняно з іншими широко застосовними топологіями інверторів підтверджена результатами симуляції роботи моделі перетворювача в середовищі Simulink. Забезпечення величини КНС на рівні визначеному міжнародними стандартами можливе за застосування пасивного вихідного фільтру, що є складовою будь-якої існуючої схеми конвертора у складі автономних систем електроживлення, проте за застосування багаторівневої топології інвертора його масогабаритні параметри можуть бути зменшені. Можливості з додаткового зменшення КНС для даної топології без збільшення розмірів вихідного фільтру є додатковою перевагою що не може бути використана за застосування топологій іншого типу [16].

Висновок до розділу 2

Під час роботи над другим розділом, нами проаналізовано процес перетворення різних видів енергії в електричну – генерування електроенергії. Сонячна енергія може генеруватися двома основними способами: Фотогальванічним та системи концентрованої сонячної енергії. В розділ наведені схеми. На даний час широкого поширення отримали 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі.

Розглянули систему концентрованої сонячної енергії. Використовують дзеркала для концентрації сонячних променів. Ці промені нагрівають рідину, яка створює пар для приводу турбіни і вироблення електроенергії.

За останні кілька років спостерігається багато інновацій в фотоелектричних технологіях.

Широкий вибір існуючих на сьогодні акумуляторних батарей (АКБ) призводить до необхідності вибору конкретного їх типу для кожного специфічного рішення, з урахуванням їх переваг на недоліків.

Розділ 3. Основні характеристики сонячного колектора

Сонячний колектор це пристрій для збору енергії випромінювання Сонця у видимому та інфрачервоному спектрі. Сонячні колектори застосовують для опалення промислових і побутових приміщень, гарячого водопостачання виробничих процесів, побутових потреб. Системи сонячного теплопостачання вважають одними з самих надійних і довговічних за умови, якщо вони правильно розраховані і якісно змонтовані.

Будь-яка помилка може призвести до того, що система не буде виробляти бажану кількість теплової енергії або взагалі швидко вийде з ладу. Термін ефективної експлуатації сонячних колекторів в Україні 7 місяців з квітня по жовтень. Основні види сонячних колекторів – плоскі і трубчасті вакуумні. Більшість обирають трубчастий вакуумний колектор, оскільки вони мають більший високий ККД та нижчий рівень тепловтрат. Завдяки високій теплоізоляції вакуумні сонячні колектори працюють дуже ефективно при низьких температурах навколишнього середовища. Переваги вакуумних колекторів перед плоскими починають виявлятися при температурі повітря нижче -15°C . При від'ємних температурах повітря вакуумні колектори альтернативи не мають. Сонячні теплові системи на основі вакуумних колекторів можуть застосовуватися як для гарячого водопостачання, так і для опалення будинку [17].

При цьому в літній період можна повністю отримувати гарячу воду від сонячного нагрівача. В інший час року за рахунок енергії сонця можна отримувати до 60% гарячої води. Сонячна опалювальна установка на основі вакуумних сонячних колекторів може успішно підтримувати мінімально задану температуру будинку навесні і восени. У зимовий період можна розраховувати на деяку частку теплової енергії для опалення. Але вона буде незначна у грудні та січні. Тому зазвичай сонячну опалювальну систему розраховують на весняно–осінній період, а взимку вона буде підтримувати і допомагати основній системі опалення (газ, дрова, біопаливо, рідке паливо). Для забезпечення безперебійності роботи системи теплопостачання, сонячні колектори потрібно використовувати разом з резервними джерелами тепла –

котлами (твердопаливними, газовими, електричними) і теплоакumuляційними баками. Перевагами сонячних систем тепlopостачання є малий період їх окупності – від 3 до 5 років і високий середній термін експлуатації сонячних колекторів – до 30 років [17].

Розділ 3.1. Особливості плоских сонячних колекторів

Плоскі колектори широко використовують з причини невисокої вартості.

Плоскі колектори прості і надійні, термін їх роботи може досягати 50 років. Вони являють собою прямокутні панелі, розмір кожної близько 2 м кв. Їх ціна прийнятна, а ККД за умови високоселективного покриття досягає 50 %. Більш ранні моделі, пофарбовані в чорний колір, забезпечували ККД, що не перевищує 30 %. Цей показник нестабільний – чим нижче буде температура, до якої необхідно нагрівати рідину, тим вище виявиться ККД сонячного колектора [17].

Конструкція плоского сонячного колектора

Плоский сонячний колектор складається з наступних елементів:

- легкий корпус;
- мідний гідравлічний абсорбер з поглинаючою панеллю;
- прозора ізоляція (солярне скло, здатне пропускати сонячне світло);
- теплоізоляційна підкладка з мінеральної вати;
- елементи кріплення.

Корпус

Призначення корпусу – з'єднувати всі частини сонячного колектора, захищати їх від несприятливого середовища, давати можливість приєднати конструкцію до дому. Найчастіше його роблять із анодованого алюмінію, він виглядає як рама, що закрита зі зворотного боку плоскою пластиковою або алюмінієвою панеллю. Існують моделі, виконані з тонких листів алюмінію з відштампованим корпусом. У них безліч ребер і вигинів, що забезпечують такому піддону велику жорсткість [17].



Рис . 24. Будова колектора

Деякі конструкції можуть кріпитися навіть до стіни, але більшість моделей укладають на скатний дах, адже її кут нахилу оптимальний по відношенню до сонця. Якщо установка сонячних колекторів була запланована ще до спорудження будинку, доцільно вбудовувати їх в покрівлю відразу при її монтажі. Це полегшить роботу і дозволить заощадити на матеріалах [17].

Деякі виробники мансардних вікон також займаються випуском вбудованих плоских сонячних панелей. Це дозволяє «закамуфлювати» колектори, надавши покрівлі акуратний і стильний вигляд.

Солярне скло

Сторона колектора, яка повернута до сонця, покрита солярним склом. Вона пропускає багато сонячного світла. Такий ефект досягається завдяки низькому вмісту заліза в склі. Цей показник важливий, адже від його величини залежить ефективність роботи конструкції. Якщо скло буде відбивати промені, частина енергії загубиться. Створення оптимальних за складом солярних стекол займає розуми багатьох вчених [17].



Рис. 25 Вид колектора.

Велика площа сонячних колекторів не завжди є доцільною. Хоча вона і дозволяє вловлювати максимальний обсяг сонячного випромінювання, але таке скління має бути високоміцним. Скло в ньому необхідно зробити товстими, здатними чинити опір вітру, граду, дощу, навантажень власної ваги і снігу. Важлива стійкість до ударів і вібрацій. Велике за площею скло швидше запилиться, що знижує ККД конструкції, його потрібно часто очищувати [17].

Більшість виробників переходить на гартовані міцні стекла, здатні самоочищатися. Це практичне рішення. Ультрафіолет випалює органічний наліт, а дощ змиває осад, в результаті скло залишається чистим. На зовнішню поверхню наноситься діоксид титану, який осушує скло, він також запобігає утворенню патьоків, плям, бруду, розводів.

Мідний абсорбер

Під склом розташовується мідний абсорбер. Це пластина з високоселективним покриттям. До неї припаяні мідні теплопровідні трубки, з'єднані між собою особливим чином. Через них проходить рідина, яка є теплоносієм. Все це забезпечує високу ефективність роботи сонячного колектора.

Тильна сторона абсорбера, мідь



Фронтальна сторона абсорбера з напиленням TiNOX, Німеччина



Рис. 26. Будова абсорбера

Від сонячного випромінювання мідна пластина нагрівається, рідкий теплоносіє забирає це тепло, постійно циркулюючи між теплоакumuлюючим баком і колекторами. Цей процес повторюється, поки енергії вистачає для нагріву води.

Високоселективне покриття абсорбера буде ізоляцією для теплового випромінювання, але при цьому воно прозоре для інфрачервоного [17]. Це означає, що отримана за допомогою колектора енергія не йтиме. Наприклад, при високій хмарності різниця в ефективності моделей з селективним покриттям і без нього становить близько 45 %.

Теплоізоляційна підкладка

На території нашої країни випромінювання сонця розсіяне (крім південних регіонів), тому краще зупинити вибір на плоских колекторах з високоселективним покриттям. Але щоб утримати теплову енергію крім нього в конструкції передбачена мінеральна підкладка, розташована на задній стінці.

Вона витримує високі температури, не здатна до займання, випаровування. Вона не вимагає заміни в процесі експлуатації.

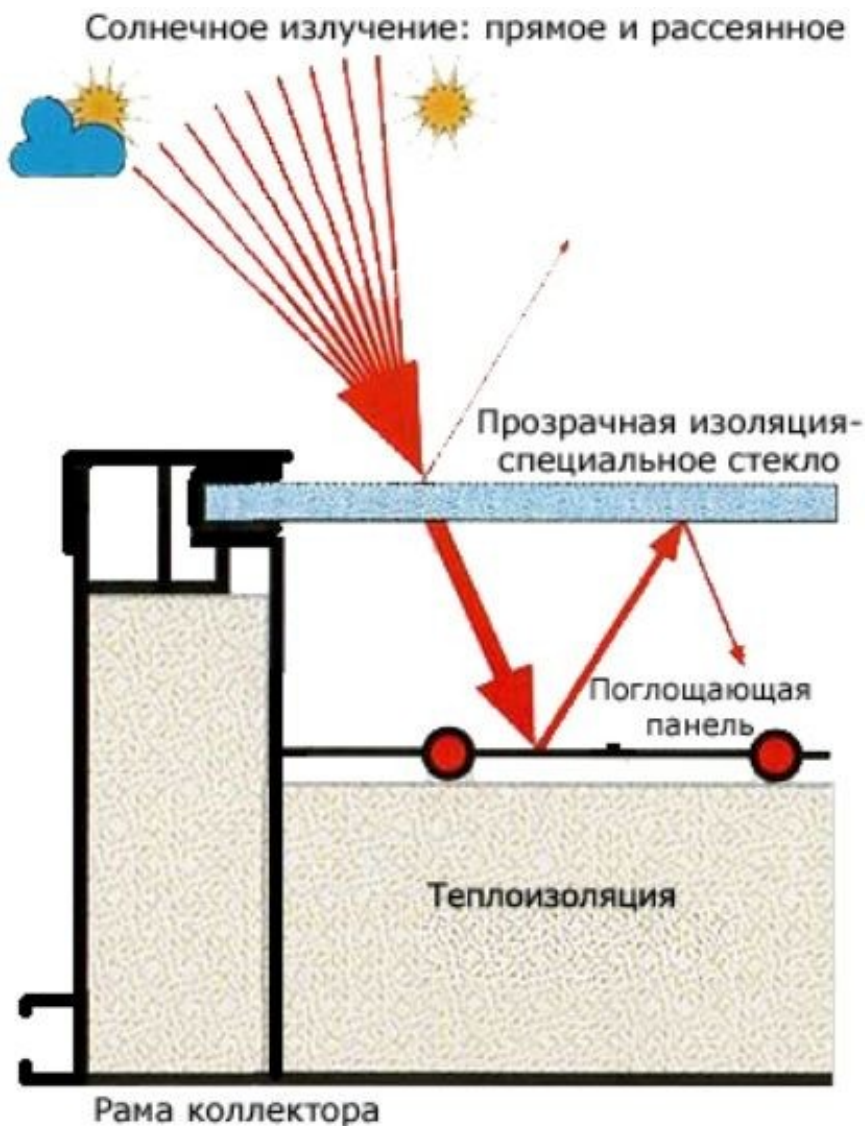


Рис. 27. Вид роботи теплоізоляційної підкладки

Незважаючи на багато переваг, плоскі моделі не позбавлені й недоліків. Тому Ви повинні знати про них наступні факти:



Рис. 28. Сонячні панелі на даху

- Взимку колектори будуть покриватися снігом, тому їх необхідно буде очищати самостійно.
- При сухій погоді панелі будуть покриватися пилом.
- Сильний вітер може зірвати колектор, так як він має високу парусність, потрібно подбати про надійне кріплення.
- Такі моделі максимальну кількість енергії збирають тільки в полудень. Вранці і ввечері їх ККД знижується. Виробники запропонували спеціальні електроприводи, які відстежують переміщення сонця і повертають панелі в його сторону. Але ціна таких систем невиправдано висока.

На основі викладеної інформації Ви зможете прийняти рішення про покупку плоских сонячних колекторів. Пам'ятайте, що Ви завжди можете зробити вибір на користь вакуумних моделей.

Розділ 3.2. Вакуумний сонячний колектор

Вакуумні колектори встановлюють в умовах, коли потрібна висока температура, або в комплексних системах для нагріву води та обігріву приміщень.

Від звичайних геліосистем вакуумний сонячний колектор відрізняється способом переробки сонячної енергії. Класична батарея просто приймає світло і перетворює його в електрику.

Колектор ж складається з скляних трубок з відтвореним всередині вакуумом. В єдину систему вони об'єднуються за допомогою спеціальних стикувальних вузлів. Вакуумні сонячні колектори працюють цілий рік, на відміну від плоских, найбільш відомих, на будь-якій широті і при будь-якій температурі зовнішнього середовища. Рівень втрат сонячної батареї, поміщеної в вакуум, знижений до мінімуму. В середині кожної трубки розташовується канал з одного або двох мідних стержнів з теплоносієм. Вловлюючи сонячні промені, діючий елемент нагріває матеріал - теплоносій, в такий спосіб забезпечуючи роботу колектора [17].

Вакуумний сонячний колектор, розміщений на даху приватного будинку, буде забезпечувати гарячою водою мешканців протягом усього року, а в сезон холодів дозволить комфортно опалювати приміщення, не витрачаючи на це великих фінансових коштів. За рахунок такої конструкції рівень енерговіддачі значно зростає, а тепловіддача істотно знижується, так як вакуумний прошарок дозволяє зберегти близько 95% вловлюється сонячної енергії. Крім того, зменшується залежність продуктивності колектора від сезонності, температури навколишнього середовища і різних погодних умов, як то: пориви вітру, мінлива хмарність, випадання опадів і ін. Коефіцієнт поглинання енергії вакуумної трубкою становить 96%. Колектор акумулює енергію прямих і розсіяних сонячних променів, інфрачервоне випромінювання, яке проходить через хмари.

Вакуумна теплова трубка (рис. 29) 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 [17].

Для того, щоб підтримувати вакуум, застосовують барієвий газопоглинач, який в виробничих умовах підлягає впливу високих температур. Через це нижній край вакуумного термосу покривається шаром чистого барію, який поглинає CO, CO₂, N₂, O₂, H₂ та H₂O, що можуть виділятися з труби в процесі зберігання та експлуатації. Цей шар є дуже добрим візуальним детектором стану вакууму в трубці геліоколектора. Тобто, коли вакуум порушується, барієвий шар зі сріблястого робиться білим. Такий індикаторний механізм дає можливість легко визначити, чи ціла труба в вакуумному сонячному колекторі, чи має тріщину [17].

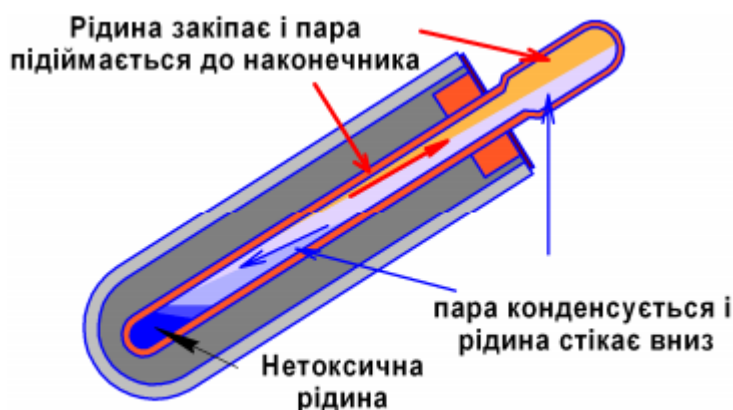


Рис.29. - Теплообмін в тепловій трубці сонячного колектора

Абсорбування сонячного тепла проходить у мідній трубці, яка розташована всередині вакуумної труби. Спосіб передачі тепла від мідної трубки до головного теплопроводу сонячного колектора також простий. Мідна труба є порожнистою і містить всередині запатентовану неорганічну й зовсім нетоксичну рідину. При нагріванні ця рідина закипає і починає випаровуватися. Це відбувається навіть при мінусових температурах, оскільки в трубці, як ви пам'ятаєте, створено вакуум. Нагріта пара піднімається до верхнього наконечника (конденсатора) теплової трубки, де передає тепло теплоносію (антифризу), що циркулює в трубці теплопроводу. Потім пара конденсується й стікає вниз - процес починається знову.

Труби геліоколектора мають круглу форму, завдяки чому кількість сонячної енергії, яка падає на сонячний колектор практично не змінюється протягом дня.

Саме тому загальна кількість сонячного випромінювання, яке поглинає геліоколектор є значно більшою, якщо порівнювати таку систему з плоским сонячним колектором. Така форма труб забезпечує чудове поглинання енергії оскільки сонячні промені завжди падають на поверхню вакуумного сонячного колектора строго під прямим кутом, при цьому відбивання зводиться до мінімуму. Труби розміщуються в колекторі паралельно одна одній, кут їх нахилу відносно горизонту залежить від географічної широти місцевості, де встановлюється сонячна система опалення. Правильно орієнтовані трубки протягом дня пасивно рухаються за сонцем. Такий сонячний водонагрівач зовсім не вимагає обслуговування під час експлуатації [17].

Сонячна система також є простою у ремонті: якщо виникне така потреба, вакуумну трубку можна легко поміняти, не зупиняючи при цьому сонячний колектор. При необхідності трубки можна додавати (при недостатці тепла) чи частково знімати (якщо тепло поглинається в надлишку), зменшуючи геліополе, що, зауважте, абсолютно неможливо в геліосистемах з плоскими колекторами.

Геліоколектори відмінно справляються з завданням забезпечення будинку гарячою водою, підігрівом басейнів, теплиць, працюють в системах вентиляції, кондиціонування та опалення будівель. Геліосистема складається з таких основних частин (рис.30 а, б):

- вакуумний сонячний колектор;
- насосний вузол для перекачки теплоносія від геліоколектора до бака акумулятора;
- контролер, який керує роботою геліосистеми;
- бак акумулятор гарячої води;
- піковий догрівач (тепловий насос, електричний тен чи інше джерело)

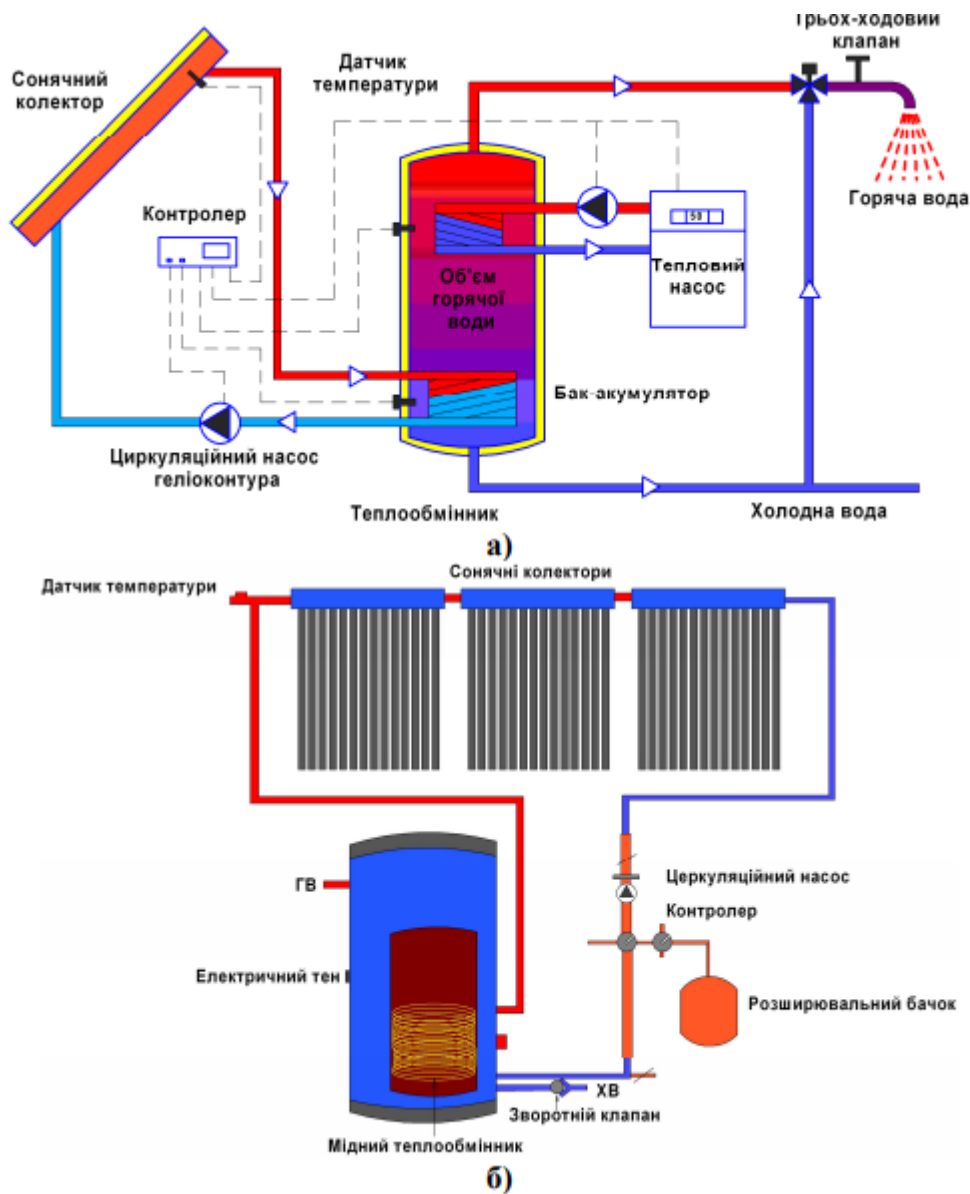


Рис.30. - Схеми геліосистем

Сонячні колектори здатні забезпечити безкоштовною тепловою енергією з квітня по жовтень. В інший період року вони дають частину теплової енергії, іншу частину забезпечує піковий догрівач: електричний тен, тепловий насос чи газовий котел. Існують сонячні колектори трьох типів: - вакуумні з тепловими трубами типу “Heat pipe”; - вакуумні з тепловими трубами надвисокої теплопровідності; - вакуумні з тепловими трубами типу-U. Конструкція вакуумного сонячного колектора з тепловими трубами типу “Heat pipe” показана на рис. 31.

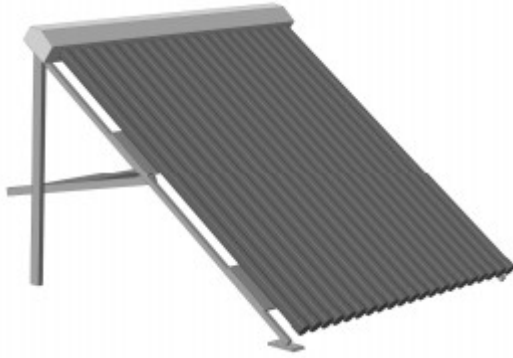


Рис. 31. Сонячний колектор з тепловими трубами типу “Heat pipe”

В сонячних системах з замкнутим контуром, як правило, використовується теплообмінник, який може розміщуватися як всередині, так і ззовні бака-акумулятора гарячої води. Сонячний водонагрівач з незамкненим контуром часто використовується в теплих кліматичних зонах, де не має небезпеки замерзання. Сонячні колектори з тепловими трубами типу “Heat pipe” підходять як для закритих, так і відкритих геліосистем, так як має функції контролю тиску, температури та захист від замерзання [17].

Батареї можна встановлювати на будь-якій вільній площі, відкритою з південного боку. Безпосередньо на даху будівель таким чином, щоб найбільш ефективно використовувати площу даху для збору енергії під кутом до горизонту, рівним географічній широті місцевості. Вакуумної сонячної батареї площею 2-4 кв. м вистачає, щоб забезпечити в ясний день нагрів бака води ємністю 100-300 літрів, на 50-60 градусів в туманні дні - на 20-40 градусів, тобто через два дні температура води в баку досягає 90-98 градусів. Відзначимо також дуже низькі тепловтрати - при повній відсутності сонця і температурі зовнішнього повітря мінус 30 вода в установці не замерзає протягом трьох діб.

Наявність мікрокомп'ютерної системи управління дозволяє забезпечити функціонування всієї установки в автоматичному режимі, не вимагаючи втручання людини. Термін служби такої установки - 15-25 років [17].

Відсутності витрат на паливо і електроенергію робить її серйозним конкурентом традиційним системам вироблення тепла і гарячої води. Крім забезпечення гарячою водою, колектор може застосовуватися в зв'язці з водяними "теплыми підлогами з соломи" - для обігріву приміщень. За дослідженнями Датського технологічного інституту, вакуумні сонячні батареї були визнані найефективнішими з усіх моделей на світовому ринку, найбільш підходящими для холодного клімату, що забезпечують середньорічну економію витрат енергії для опалення житла до 70%.

Розділ 3.3 Розрахунок сонячної установки

Сонячна системи будинку складається з колекторів, насосного блоку, розширювального баку, регулятора, баку-акумулятора та іншого устаткування для забезпечення безперебійної роботи в будь-який час та пору року. При цьому для роботи колектора зовсім не потрібне яскраве сонце, він може нагрівати теплоносії і взимку, і в хмарну погоду [17].

Нагріта вода використовується як для опалювання, так і для гарячого водопостачання, а також за потреби і для підігріву води. У середньому в літню пору один квадратний метр теплового колектора дозволяє нагріти об'єм води в $V=50$ літрів до 55°C при її вихідній температурі $10-15^{\circ}\text{C}$. Хоча в зимовий час кількість нагрітої води знижується, проте, 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°C . При встановленні сонячні колектори можуть бути суміщеними з існуючою конструкцією даху, стіни тощо. Проектування сонячного будинку підпорядковане принципу максимального раціонального отримання сонячної енергії та ефективної її акумуляції [17].

Площа сучасного колектора складає $2,5 \text{ м}^2$, вага від 30 до 60 кг. Звичайно колектор встановлюють на даху будинку, під кутом $40-50$ градусів, або вмонтовують у дах, де він одночасно служить як і покриття.

Найкраще місце для установки - південні схили даху. Матеріал і конструкція даху будинку не мають ніякого значення. Колекторний контур виконується з міді або чорної сталі, є ізольованим, діаметр якого визначається на основі його довжини і кількості колекторів. Він заповнюється спеціальною незамерзаючою рідиною, яку не треба зливати при низьких температурах і яка завжди знаходиться в постійній готовності до роботи. Рідина-теплоносіє, а це - «співдружність води й антифризу», прямує в бак-акумулятор гідравлічно сполучений з сонячним колектором. Бак (геліобойлер) приймає тепло і нагріває воду [17].

За день вода з бака може кілька разів проходити через колектор, нагріваючись до розрахункового рівня температури, залежного від співвідношення між об'ємом бака і площею сонячного колектора, а також від кліматичних умов. Одним із важливих елементів сонячної системи є розширювальний бачок, що компенсує об'ємні зміни у баку-акумуляторі, які виникають при змінюванні температури теплоносія. Циркуляція води в замкнутому контурі «сонячний колектор - бак - сонячний колектор» може здійснюватися примусово за допомогою невеликого циркуляційного насоса або природним чином за рахунок різниці гідростатичного тиску в стовпах холодної і нагрітої води.

Інший замкнутий цикл: «бак - опалювальні радіатори - система гарячого водопостачання - бак». Робота насосного блоку регулюється регулятором за температурою в колекторі і баку-акумуляторі. Слід зазначити, що сонячні нагрівальні системи легко поєднуються з будь-якими іншими системами опалювання (електричним чи газовим котлом) і дозволяють істотним чином економити енергоресурси [17].

Розрахунок

Дані:

Задана температура гарячої води: $t_{\text{вих}} = 45 \text{ }^\circ\text{C}$

Вхідна температура води: $t_{\text{вх}} = 10 \text{ }^\circ\text{C}$

Питома теплоємність води $C = 1,16 \cdot 10^{-3} \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{кг} \cdot \text{K}$.

Визначаємо витрату теплоти за формулою , кВт*год/день.

$$Q_{ГВ} = m * C * (t_{вих} - t_{вх})$$

Де денна витрата води m = необхідної води (л/день)

Допустимо що споживачу потрібно 2000 л/день, тоді

$$Q_{ГВ} = 2000 * 1,16 * 10^{-3} * (45 - 10) = 81,2 \text{ кВт} * \text{год/день} \quad (3)$$

Площа абсорбера визначаємо за формулою, m^2

$$A = \frac{Q_{ГВ}}{Ps * \eta}$$

Де Ps - середнє значення доступної сонячної енергії

$\eta=0,5$ – середній ККД сонячної установки

Для літнього періоду $Ps=3,5$ кВт/год/ m^2 день

$$A = \frac{81,2}{3,5 * 0,5} = 46,4 \text{ м}^2 \quad (4)$$

Отримана площа- це робоча поверхня

Робоча площа одного абсорбера = $1,76 \text{ м}^2$

Отже нам потрібно 27 колекторів на літній період.

Зимовий період

$Ps=2,5$ кВт/год/ m^2 день

$$A = \frac{81,2}{2,5 * 0,5} = 64,96 \text{ м}^2 \quad (5)$$

Для зимовго періоду вмстачить 37 колекторів.

Висновок до розділу 3

В результаті порівняння сонячних колекторів різних конструкцій за їх ефективністю, площею та продуктивністю, ми визначили найоптимальніші умови їх експлуатації:

— відкриті абсорбери ефективно працюють лише в разі їх використання для сезонного підігрівання води в басейнах, коли необхідна температура води всього на $5...20$ °С вища, ніж температуру зовнішнього повітря;

— плоскі сонячні колектори з селективним покриттям мають дуже низький ККД в зимовий період, тому найбільше підходять для сезонного гарячого водопостачання;

— використання вакуумних колекторів для сезонного ГВП не забезпечує переваг перед плоскими колекторами. Більше того, в більшості кліматичних умов з енергетичних міркувань використання плоских СК однаковою з вакуумними габаритною площею є переважним. Переваги вакуумних СК починають виявлятися за високих температур і за низької інтенсивності сонячної радіації,

тому їх можна рекомендувати для цілорічного теплопостачання об'єкту.

Розділ 4. Тепловий акумулятор

Тепловий акумулятор - пристрій або сукупність пристроїв, що забезпечує оборотні процеси накопичення, зберігання і віддавання теплової енергії відповідно до вимог споживача [18].

Теплові акумулятори можуть виконувати наступні завдання:

- компенсація піків споживання теплової енергії;
- вирівнювання (оптимізація) графіків виробництва теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії ;
- накопичення теплової енергії, яка буде використана під час відключення (відсутності) енергопостачання.

Акумулятор тепла складається з:

- теплоакumuлюючого матеріалу (ТАМ);
- теплоізолюючого резервуару для збереження ТАМ;
- системи для зарядки і розрядки;
- допоміжного обладнання.

Акумулятори тепла розрізняють:

за природою ТАМ:

- Термохімічні акумулятори тепла, засновані на виділенні або поглинанні теплоти при оборотних хімічних і фотохімічних реакціях;
- Теплоємнісні акумулятори тепла, в яких використовується теплоємність ТАМ без зміни агрегатного стану;
- Акумулятори тепла на фазовому переході, в яких використовується прихована теплота плавлення речовини;

за періодом зарядки і розрядки:

Короткострокові акумулятори тепла (до 3 днів);

- Середньострокові акумулятори тепла (до 1 місяця);
- Довгострокові акумулятори тепла;

за рівнем робочої температури:

- Низькотемпературний акумулятори тепла (до 100 ° С);
- Середньотемпературний акумулятори тепла (від 100 до 400 ° С);
- Високотемпературний акумулятори тепла (понад 400 ° С).

Розділ 4.1 Вибір теплового акумулятора

При виборі форми тепло акумулятора в плані потрібно намагатися максимально спростити його форму. Оскільки найбільші тепловтрати відбуваються через стіни, бажано, щоб площа їхніх поверхонь була найменшою. Загальновідомо, що при однаковому об'ємі найменшу площу поверхні має куля. Однак будувати тепло акумулятор у формі кулі в прагненні значно зменшити тепловтрати не раціонально, тому що розрахувати і конструктивно виконати тепло акумулятор кулеподібної форми дуже складно. Для реального будівництва найкращим чином підходить конфігурація тепло акумулятора у формі куба, оскільки в ньому площа зовнішніх поверхонь найменша. Тому для подальших розрахунків вибираємо саме таку форму [18].

Розглянемо на прикладі розрахунок об'єму тепло акумулятора, розташованого під будинком і який заряджається від сонячних колекторів. Приймаємо наступні вихідні дані для розрахунку об'єму сезонного тепло акумулятора:

1. Тепловий потік на опалення при розрахунковій зовнішній температурі на опалення – $Q_{CO} = 8080$ Вт;

2. Тепловий потік на гаряче водопостачання на 1 людину $q_h = 247$ Вт/люд;

3. Температура найхолоднішої п'ятиденки $t'_o = t_{zovn.5} = -22$ °С;

4. Тривалість опалювального періоду $z_{oc} = 176$ діб;

5. Середня температура зовнішнього повітря за опалювальний сезон $t_{oc} = -0,1$ °С;

6. Розрахункова температура внутрішнього повітря $t_{вн} = 20 \text{ }^\circ\text{C}$;
7. Сезонний бак-акумулятор герметичний;
8. Температуру води на ГВП приймаємо $t_{гвп} = 55 \text{ }^\circ\text{C}$;
9. Кількість осіб, що проживає, $n = 5$;
10. Норма гарячої води з температурою $55 \text{ }^\circ\text{C}$ $g_{гвп} = 85 \text{ л/люд}$.

Схема системи теплопостачання наведена на рис. 32.

Першим кроком у розрахунку об'єму сезонного теплоакумулятора є визначення кількості теплоти, яку необхідно акумулювати. Кількість теплоти, яку необхідно акумулювати в сезонному теплоакумуляторі, складається з теплоти, яка потрібна для системи опалення, та теплоти, яка потрібна для системи гарячого водопостачання, за розрахунками класичного графіку теплового навантаження [18].

$$W_{co} = \frac{24 \cdot 10^{-3} Q_{co} S_{oc} abc}{t_{вн} - t_{зовн}} \text{ кВт*год/рік}$$

де 3,6 - перевідний коефіцієнт;

Q_{co} – розрахункова теплова потужність системи опалення, Вт;

24 – кількість годин у добі;

t_{oc} – середня температура зовнішнього повітря опалювального сезону, $^\circ\text{C}$;

S_{oc} – кількість градусо-днів опалювального сезону;

$t_{вн}$ – розрахункова температура внутрішнього повітря, $^\circ\text{C}$;

$t_{зовн}$ – середня температура зовнішнього повітря найхолоднішої п'ятиденки, $^\circ\text{C}$;

$a = 1$ - коефіцієнт, який необхідно враховувати, якщо система опалення обладнана приладами автоматичного зменшення теплової потужності у неробочий час;

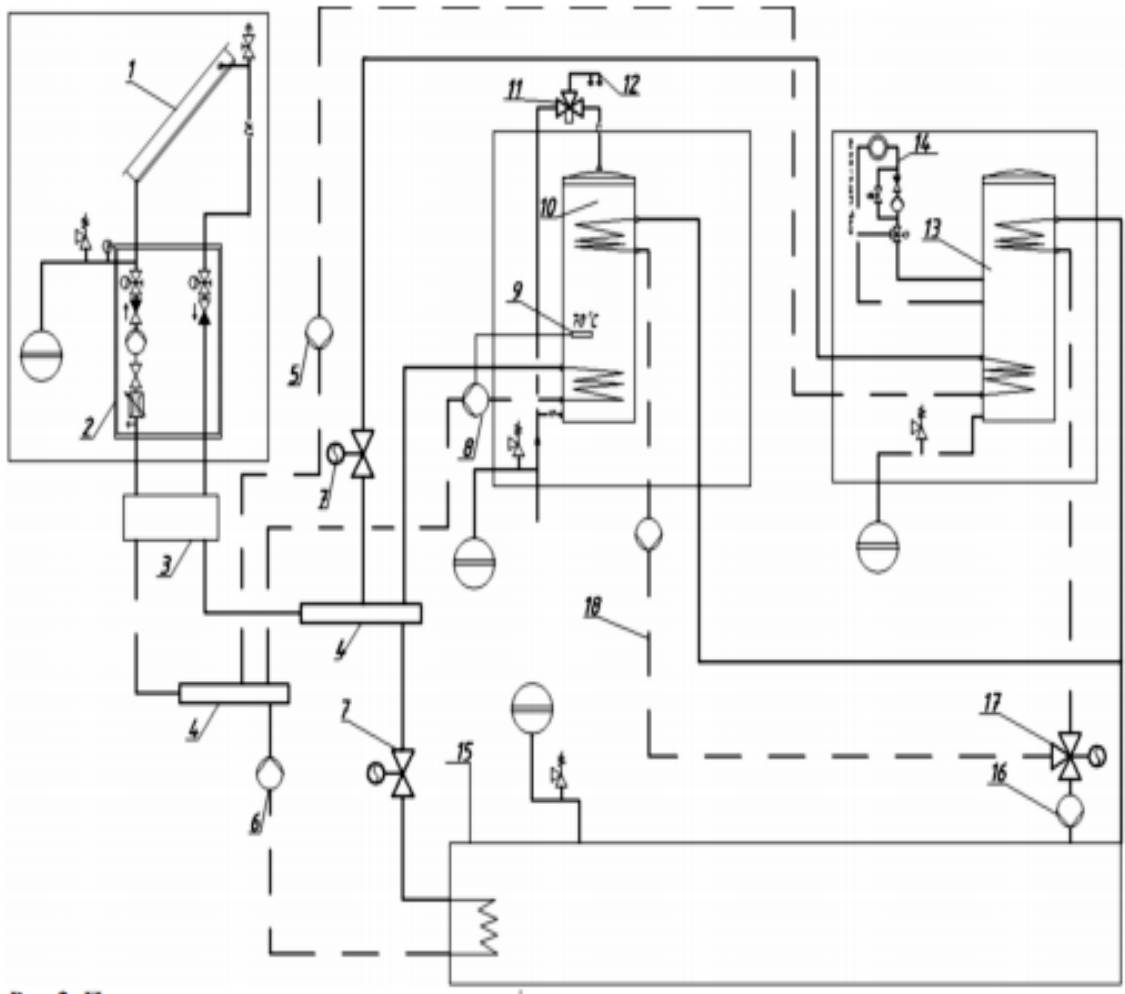


Рис.32. Принципова схема системи децентралізованого теплопостачання з сезонним акумулятором теплоти та сонячними колекторами:

- 1 – система сонячних колекторів;*
- 2 – насосний вузол системи сонячних колекторів;*
- 3 – гідравлічна стрілка;*
- 4 – розподільчий колектор;*
- 5 – насос на буферну ємність системи опалення;*
- 6 – насос на сезонний акумулятор теплоти;*
- 7 – двохпозиційний клапан;*
- 8 – насос бойлера гарячого водопостачання (ГВП);*
- 9 – термічний датчик вмикання/вимикання насоса по температурі;*
- 10 – бойлер ГВП;*

11 – термозмішувальний клапан системи ГВП (для отримання постійної температури гарячої води);

12 – до споживачів системи ГВП;

13 – буферна ємність системи опалення;

14 – контур системи опалення;

15 – сезонний акумулятор теплоти;

16 – насос теплопостачання систем ГВП та опалення від сезонного акумулятора теплоти;

17 – трьохходовий переключаючий клапан;

18 – байпасна лінія з насосом для системи ГВП для використання буфера системи опалення в теплий період року як короткостроковий акумулятор теплоти для системи ГВП

$b = 0,9$ - коефіцієнт, котрий необхідно враховувати, якщо більше 75 % опалювальних приладів обладнані автоматичними терморегуляторами; $c = 1$ – коефіцієнт, який треба врахувати, якщо на абонентському ввіді (в ІТП) встановлені прилади автоматичного пофасадного регулювання [18].

Визначимо кількість градусо-діб опалювального сезону:

$$S_{oc} = (t_{вн} - t_{o,c})Z_{o,c} \text{ град-діб.}$$

За формулою (7)

$$S_{oc} = (20 + 0,1) \cdot 176 = 3537,6 \text{ град.-діб. (7)}$$

Тоді річна витрата теплоти системою опалення становить:

$$W_{co} = \frac{24 \cdot 10^{-3} \cdot 8080 \cdot 3537,6 \cdot 1 \cdot 0,9 \cdot 1}{20 - (-22)} = 14700 \text{ кВт* год/рік (8)}$$

Витрата теплоти в системі гарячого водопостачання впродовж опалювального періоду:

$$W_{hm}^p = 24 \cdot 10^{-3} Q_{hm} Z_{oc} \text{ кВт*год}$$

де Q_{hm} – навантаження на систему ГВП, Вт, що визначається за формулою:

$$Q_{hm} = q_h \cdot n \text{ (9)}$$

Розрахунок ведемо на $n = 5$ осіб. Середній тепловий потік на ГВП $Q_{hm} = 1235$ Вт.

$$W_{hm}^P = 24 * 10^{-3} * 1235 * 176 = 5220 \text{ кВт*год (10)}$$

Витрата теплоти в системі гарячого водопостачання впродовж неопалювального періоду W_{hm}^P визначається за формулою (10) але замість значення Z_{oc} підставляємо значення $365 - Z_{oc}$, а середній тепловий потік на ГВП:

$$Q_{hm}^S = Q_{hm} \frac{t_h - t_x^3}{t_h - t_x} \beta \quad (11)$$

де t_h – температура гарячої води в системі ГВП, приймаємо $55 \text{ }^\circ\text{C}$;

t_x – температура холодної води в опалювальний період, $^\circ\text{C}$;

$t_x \text{ л}$ – температура холодної води в неопалювальний період, $^\circ\text{C}$;

β – коефіцієнт, який враховує зміну середньої витрати гарячої води в неопалювальний період, порівнюючи з опалювальним періодом.

Оскільки даний об'єкт – котедж, – то $t_x = t_x \text{ л} = 5 \text{ }^\circ\text{C}$, а коефіцієнт $\beta = 1$.

Тобто

$$Q_{hm} = Q_{hm}^S = 1235 \text{ Вт (12)}$$

$$W_{hm}^{Pl} = 24 * 10^{-3} * 1235 * 189 = 5600 \text{ кВт*год (13)}$$

Річна витрата теплоти:

$$W_{річ} = W_{co} + W_{hm}^{Pl} + W_{hm}^P = 14700 + 5600 + 5220 = 25520 \text{ (14)}$$

Загальна кількість теплоти, яку необхідно акумулювати, в сезонному теплоакумуляторі:

$$W_{заг} = W_{co} + W_{hm}^P = 14700 + 5220 = 19920 \text{ (15)}$$

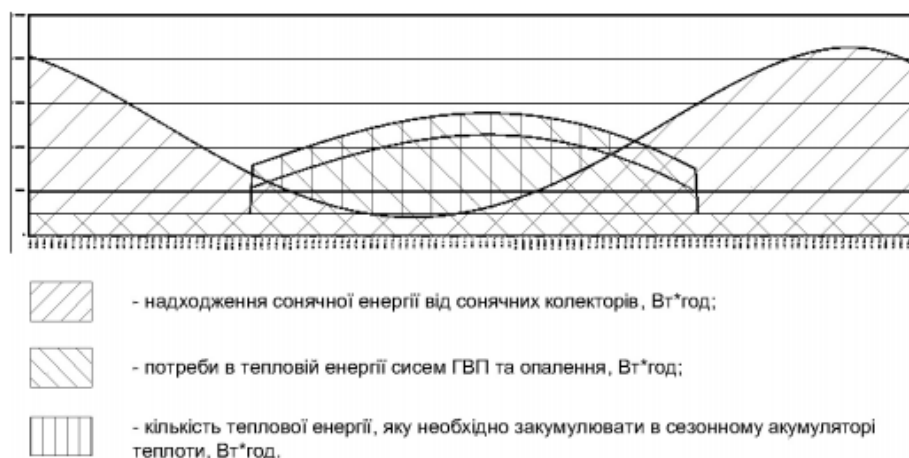


Рис. 33. Графік теплового навантаження на системи опалення, ГВП та теплонадходження від системи сонячних колекторів

Розраховуємо кількість теплоти, необхідну для покриття потреб на ГВП в день:

$$W_{\text{ГВП}}^{\partial} = G_{\text{ГВП}} c_{\text{в}} (t_{\text{г}} - t_{\text{х}}) \quad \text{Дж} \quad (16)$$

де – $G_{\text{ГВП}}$ кількість гарячої води в день, л/день;

$c_{\text{в}}$ – питома теплоємність води, $c_{\text{в}} = 4187$ Дж/(кг °С);

$t_{\text{г}}$ – температура гарячої води, $t_{\text{г}} = 55$ °С;

$t_{\text{х}}$ – температура холодної води, $t_{\text{х}} = 5$ °С.

$$G_{\text{ГВП}} = g_{\text{ГВП}} * n$$

Кількість гарячої води на день

$$G_{\text{ГВП}} = 85 \cdot 5 = 425 \text{ л/день.} \quad (17)$$

Тоді

$$W_{\text{ГВП}}^{\partial} = 425 * 4187 * (55 - 5) = 88973750 \text{ Дж/день} \quad (18)$$

або $24,72 \text{ кВт*год/день}$

Розраховуємо кількість теплоти, необхідну для покриття потреб на опалення в день:

$$W_{\text{оп}}^i = 24 * 3600 Q_{\text{оп}}^i = 86400 Q_{\text{оп}}^i \quad (19)$$

де Q - навантаження на опалення (рис. 35) залежно від температури зовнішнього повітря, Вт.

Наступним кроком буде визначення кількості сонячної енергії, що надходить. Для цього потрібно визначити площу сонячного колектора і річне надходження сонячної радіації.

На основі дослідницьких даних складені графіки надходження сонячної радіації, з яких визначаємо річне надходження сонячної радіації (рис. 35 [18] та рис.36 [18]).

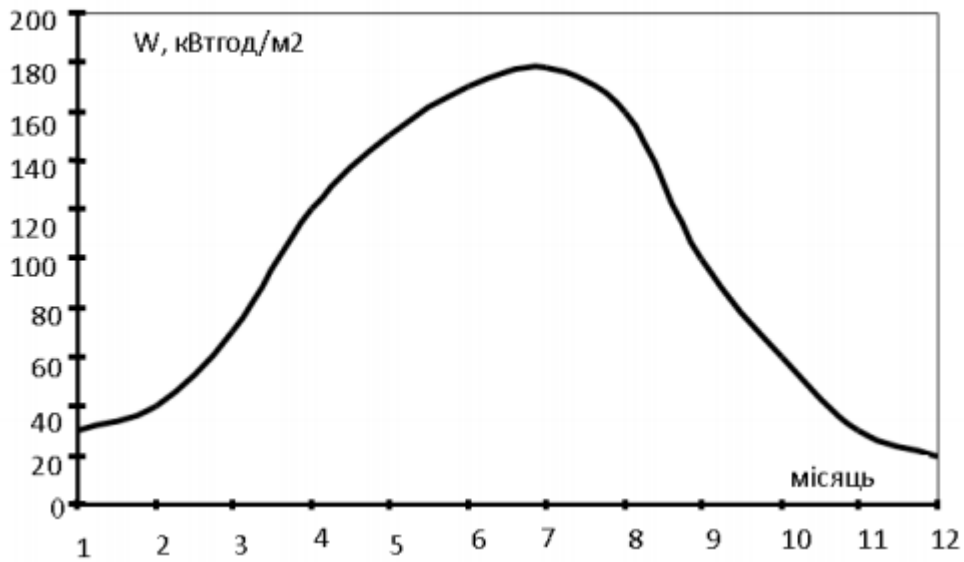


Рис. 35. Середньорічне надходження сонячної енергії

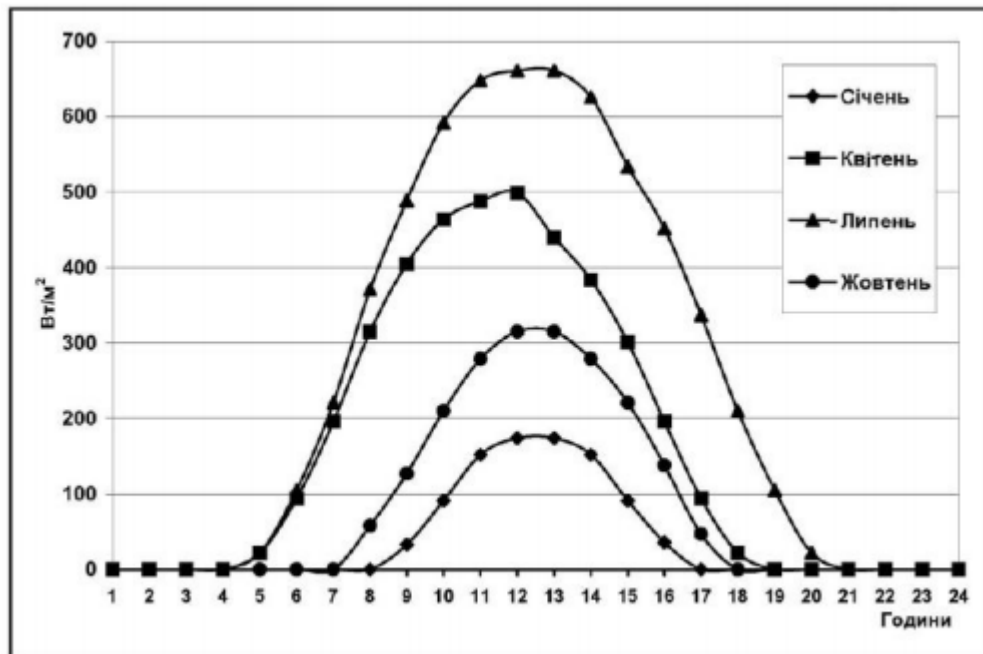


Рис.36. Інтенсивність добової сумарної сонячної радіації в м.Київ

Розраховуємо необхідну площу сонячних колекторів:

$$A = \frac{W_{\text{річ}}}{W_{\text{літ}}^{c.p.} \cdot \eta} \quad (20)$$

де $W_{\text{річ}} = 25700$ кВт·год/рік – річна витрата теплоти на опалення та ГВП;.

$W_{\text{літ}}^{c.p.} = 830$ кВт·год/рік – річне надходження сонячної радіації;

η – ККД сонячного колектора, що для плоских колекторів дорівнює 0,6

[18].

Числові значення, отримані за розрахунковими даними табл. 3, враховуючи те, що період зарядки теплоакумулятора триває з кінця квітня до початку жовтня.

Тоді

$$A = 25700 / (830 \cdot 0,6) = 52 \text{ м}^2 \text{ . (21)}$$

Таблиця 12

Місяць	Кількість днів у місяці	Надходження сонячної радіації на сіяць $\text{кВт} \cdot \text{год} / (\text{м}^2 \cdot \text{рік})$	Середньомісячне добове надходження радіації $\text{Вт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$	Середньомісячне добове надходження радіації $\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2$
Липень	31	176,00	3406,45	3,41
Серпень	31	147,00	2845,16	2,85
Вересень	30	104,00	2080,00	2,08
Жовтень	31	62,80	1215,48	1,22
Листопад	30	24,70	494,00	0,49
Грудень	31	18,40	356,13	0,36
Січень	31	26,70	516,77	0,52
Лютий	28	41,70	893,57	0,89
Березень	31	85,30	1650,97	1,65
Квітень	30	113,00	2260,00	2,26
Травень	31	161,00	3116,13	3,12
Червень	30	181,00	3620	3,62
Липень	31	176,00	3406,45	3,41

Теплота, яку необхідно закумуляувати, визначається як

$$W_{\text{ак}} = W_{\text{заг}}^{\text{к}} - W_{\text{с.о.п.}} \text{ ГДж, (22)}$$

Загальна площа сонячних колекторів становить 52 м^2 . За рис 36. кількість теплоти від сонячних колекторів в опалювальний період, з урахуванням ККД сонячних колекторів 0,6, $W_{\text{с.о.п.}} = 6428 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ або 23,14 ГДж.

За формулою (23)

$$W_{\text{ак}} = 69,47 - 23,14 = 46,33 \text{ ГДж}, \quad (23)$$

Маса теплоакумулювального матеріалу та об'єм сезонного теплоаккумулятора визначаються за залежностями:

$$G = \frac{W_{\text{ак}}}{c(t_{\text{зар}} - t_{\text{роз}})}, \text{ кг} \quad (24)$$

$$V = G/\rho, \text{ м}^3 \quad (25)$$

де

G – кількість теплоакумулювального матеріалу, кг;

$t_{\text{зар}}$ – температура теплоносія при зарядці баку, °С;

$t_{\text{роз}}$ – температура теплоносія при розрядці баку, °С;

c – питома теплоємність теплоакумулювального матеріалу, Дж/(кг·°С);

ρ – густина теплоакумулювального матеріалу, кг/м³. Значення густини та питомої теплоємності приймаємо за [7]. Тоді

$$G = \frac{46,33 \cdot 10^9}{1130 \cdot (140 - 55)} = 482353 \text{ Кг} \quad (26)$$

$$V = 482353 / 2242 = 215, \text{ м}^3 \quad (27)$$

При розміщенні теплоаккумулятора під будинком найефективніша форма для нього – паралелепіпед зі співвідношенням ширини, довжини і висоти 1,58:1,58:0,4, але з шириною і довжиною не більше розмірів будинку в плані. При розміщенні теплоаккумулятора довільно в ґрунті найефективніша форма для нього – куб.

Висновок до розділу 4

В цьому розділі ми аналізували теплові акумулятори. Теплові акумулятори можуть виконувати компенсація піків споживання теплової енергії; вирівнювання (оптимізація) графіків виробництва теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії; накопичення теплової енергії, яка буде використана під час відключення (відсутності) енергопостачання.

При виборі форми теплоаккумулятора в плані потрібно намагатися максимально спростити його форму. Оскільки найбільші тепловтрати відбуваються через стіни, бажано, щоб площа їхніх поверхонь була найменшою.

Розглянули на прикладі розрахунок об'єму теплоаккумулятора, розташованого під будинком і який заряджається від сонячних колекторів. На основі яких, можна стверджувати, що при розміщенні теплоаккумулятора під будинком найефективніша форма для нього – паралелепіпед зі співвідношенням ширини, довжини і висоти 1,58:1,58:0,4, але з шириною і довжиною не більше розмірів будинку в плані. При розміщенні теплоаккумулятора довільно в ґрунті найефективніша форма для нього – куб.

Загальний висновок

В першому розділі було проаналізовано літературні джерела, і можемо сказати, що на сьогодні сонячна електроенергетика – один з найбільш швидкозростаючих секторів альтернативної енергетики, які активно розвиваються у світі.

Проаналізували дані про способи отримання електрики і тепла з сонячного випромінювання. Вважаю, що в майбутньому з величезною швидкістю у всіх розвинутих країнах пошириться течія використання сонячних батарей. Наразі для України найперспективнішими є два основних напрями використання сонячної енергії для перетворення в теплову та електричну енергію.

В Україні сонячне теплозабезпечення має достатній досвід використання, а технологічний потенціал вітчизняної промисловості дає змогу розв'язати завдання масового виробництва геліотехнічного обладнання.

За літературними даними, можемо стверджувати, що Україна належить до енерго-дефіцитних країн, оскільки за рахунок власних паливно-енергетичних ресурсів вона задовольняє свої потреби лише на 47–49 %. За рахунок власного видобутку покривається 10–12 % потреб у нафті та 20–25 % – у природному газі. Тому необхідно приділяти увагу розвитку альтернативних джерел енергії

У майбутньому для розширення перспектив сонячної енергетики Україна може перейняти вдалий досвід наших іноземних колег. Вважаю, необхідно брати приклад з розвитку сонячних технологій в Китаї, який всього за п'ять років із аутсайдерів ринку став світовим лідером за потужністю сонячних електростанцій.

1) Альтернативні джерела енергії є потенційно економічно ефективними, але в країні відсутній достатній для промислового застосування досвід масштабної промислової експлуатації.

2) Сонячне випромінювання є основним напрямком розвитку світової та української енергетики, який необхідно розвивати.

3) Успішний розвиток сонячної енергетики як у світовому масштабі, так і в Україні, можливий при належній сировинній базі, основу якої складає полікристалічний та монокристалічний кремній, тому необхідне впровадження інновацій у електронне машинобудування.

4) Становлення вітчизняної сонячної енергетики в перспективі є визначальним для енергетичної та економічної незалежності України.

Під час роботи над другим розділом, нами проаналізовано процес перетворення різних видів енергії в електричну – генерування електроенергії.

Сонячна енергія може генеруватися двома основними способами:

Фотогальванічним та системи концентрованої сонячної енергії. В розділ наведені схеми. На даний час широкого поширення отримали 3 види фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей на їх основі.

Розглянули систему концентрованої сонячної енергії. Використовують дзеркала для концентрації сонячних променів. Ці промені нагрівають рідину, яка створює пар для приводу турбіни і вироблення електроенергії.

За останні кілька років спостерігається багато інновацій в фотоелектричних технологіях.

Широкий вибір існуючих на сьогодні акумуляторних батарей (АКБ) призводить до необхідності вибору конкретного їх типу для кожного специфічного рішення, з урахуванням їх переваг на недоліків.

В результаті порівняння сонячних колекторів різних конструкцій за їх ефективністю, площею та продуктивністю, ми визначили найоптимальніші умови їх експлуатації:

— відкриті абсорбери ефективно працюють лише в разі їх використання для сезонного підігрівання води в басейнах, коли необхідна температура води всього на 5...20 °С вища, ніж температуру зовнішнього повітря;

— плоскі сонячні колектори з селективним покриттям мають дуже низький ККД в зимовий період, тому найбільше підходять для сезонного гарячого водопостачання;

— використання вакуумних колекторів для сезонного ГВП не забезпечує переваг перед плоскими колекторами. Більше того, в більшості кліматичних умов з енергетичних міркувань використання плоских СК однаковою з вакуумними габаритною площею є переважним. Переваги вакуумних СК починають виявлятися за високих температур і за низької інтенсивності сонячної радіації,

тому їх можна рекомендувати для цілорічного теплопостачання об'єкту.

В цьому розділі ми аналізували теплові акумулятори. Теплові акумулятори можуть виконувати компенсація піків споживання теплової енергії; вирівнювання (оптимізація) графіків виробництва теплової енергії шляхом накопичення надлишкової енергії; накопичення теплової енергії, яка буде використана під час відключення (відсутності) енергопостачання.

При виборі форми теплоакумулятора в плані потрібно намагатися максимально спростити його форму. Оскільки найбільші тепловтрати відбуваються через стіни, бажано, щоб площа їхніх поверхонь була найменшою.

Розглянули на прикладі розрахунок об'єму теплоакумулятора, розташованого під будинком і який заряджається від сонячних колекторів. На основі яких, можна стверджувати, що при розміщенні теплоакумулятора під будинком найефективніша форма для нього – паралелепіпед зі співвідношенням ширини, довжини і висоти 1,58:1,58:0,4, але з шириною і довжиною не більше розмірів будинку в плані. При розміщенні теплоакумулятора довільно в ґрунті найефективніша форма для нього – куб.

Можна з впевненістю говорити про те, що сонячні електростанції безпечні для домашнього та промислового використання. Потрібно розуміти, що перехід на сонячні батареї – це майбутнє, яке активно використовується в державах по всьому світу. Міфи про сонячну енергетику існували давно через відсутність достатніх досліджень в даній сфері. Один з них найпоширеніший – несприятливий вплив на навколишнє середовище. Якщо Ви вирішили встановити сонячні панелі, можете це робити сміливо. Вони не представляють загрози та шкоди.

Список використаної літератури

1. Кудря С. О. Перспективи заміщення традиційних паливно-енергетичних ресурсів за рахунок використання енергії, виробленої на об'єктах альтернативної енергетики / С. О. Кудря, Б. Г. Тучинський, А. Р. Щокін // Енергоінформ. – 2006. – № 18 (357).
2. Гелетуха Г. Г. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1 / Г. Г. Гелетуха, Т. А. Железна // Промышленная теплотехника. – К., 2010. – № 3. – С. 73–79
3. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (офіційний сайт) [Електронний ресурс] URL: <http://www.sae.gov.ua>.
4. Леміш М. В. СУТНІСТЬ ТА ШЛЯХИ ВИРІШЕННЯ ПРОБЛЕМИ УТИЛІЗАЦІЇ ТА РЕЦИКЛІНГУ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ/ Збірник тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Економіка, фінанси, облік та право: стратегічні пріоритети розвитку в умовах глобалізації»
5. РОЗВИТОК СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УКРАЇНІ Кузьміна М.М. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія ПРАВО. Випуск 29. Том 1. 2014 с.183-186*
6. Олейко В.М. Енергетичний потенціал НВДЄ областей України / В.М. Олейко, Н.Є. Стрельбіцька // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит. – №3 (85). – 2011. – С. 35–42.
7. Альтернативний міністр. Інтерв'ю з М. Пашкевичем, головою Державного агентства енергоефективності // Інвестгазета. – №14. – С. 25–27.
8. Возняк О.Т., Янів М.Є.. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". № 664. Теорія і практика будівництва. 2010. Львів. С.7-10*
9. URL : <https://ecotown.com.ua/news/Potentsial-alternatyvnoyi-enerhetyky-ukrayinskoj>

10. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики / В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, В.Ф. Жердецький, В.І. Маліновський, Г.В. Притуляк // Оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях. – 2011. – № 2. – С. 141-157.

11. Дзяди́кевич Ю.В. Споживання електроенергії в житлово-комунальній сфері / Ю.В. Дзяди́кевич, Б.Р. Гевко, Ю.С. Никеруй // Энергосбережение, Энергетика, Энергоаудит. – 2011. – № 1. – С. 20-23.

12.

13. Гуртов В. А. Твердотельная электроника / В. А. Гуртов. – Москва, 2005. – 492 с.

14. Кожем'яко В.П., Домбровський О.Г., Жердецький В.Ф., Маліновський В.І., Притуляк Г.В.. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів сонячної енергетики. оптико-електронні пристрої та компоненти в лазерних і енергетичних технологіях. 2011. с.141-157

15. URL : <https://karbon-cns.com.ua/uk/degradaciiya-sonyachnih-moduliiv-prichini-ta-nasliidki.html>

16. Федін І.С. Вибір топології інвертора для автономних систем електроживлення з використанням сонячних панелей. Електронні системи та сигнали. №3. Київ. 2020. С. 48-52

17. Музичук В.І., Музичку М.М., Рябошапка В.Б.. Геліосистеми з використанням високоефективних вакуумних сонячних трубок. Збірник наукових праць. №8. 2011. с. 83-86

18. Лухтура, Ф.И.Оприменении импульсного подводатепла в системах теплоснабжения / Ф. И. Лухтура Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2018. – № 45 (1321). – С. 32-40.