

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

(підпис) Сергій БЛАЖЕНКО
(ім'я та прізвище)

«До захисту допущено»
Завідувач кафедри

(підпис) Сергій БАЛЮТА
(ім'я та прізвище)

« ___ » _____ лютого 2024 р.

« ___ » _____ лютого 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності _____ 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми _____ «Електротехнічні системи електроспоживання»

на тему: **«Модернізація системи теплоелектропостачання (теплоелектрозабезпечення) житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів)»**

Виконав: здобувач 2 курсу, групи ЕЛ-2-7М

Санюк Сергій Анатолійович
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

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

(підпис)

Консультанти _____
(прізвище, ініціали)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

(підпис)

(прізвище, ініціали)

(підпис)

Рецензент _____
Володимир ТЕЛИЧКУН
(прізвище, ініціали)

(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував незарядженої допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

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

Кафедра Електропостачання та енергоменеджменту

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
(код і назва)

Освітньо-професійна програма «Електротехнічні системи електроспоживання»
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач

кафедри ЕПЕМ

/Сергій БАЛЮТА/

“20” листопада 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Санюк Сергій Анатолійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи **«Модернізація системи теплоелектропостачання (теплоелектрозабезпечення) житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів)»**

Керівник роботи Серьогін Олександр Олександрович, проф., докт. тех. наук
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “20” листопада 2023 року №940-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 09 лютого 2024 року

3. Вихідні дані до роботи:

Проектування сонячної електростанції на даху житлового комплексу _____

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) _____

Принципи роботи сонячних систем

Проектування сонячної електростанції для модернізації ЖК

Модернізація ЖК на базі сонячної електростанції на прикладі житлового будинку

5. Перелік графічного матеріалу

Презентація до пояснювальної записки – 19 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № | Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|---|--|-------------------------------|----------|
| 1 | Отримання завдання на магістерську роботу | 20.11.2023 | |
| 2 | Вступ | 21-23.11.2023 | |
| 3 | Огляд літератури для виконання теоретичної частини | 24-30.11.2023 | |
| 5 | Розгляд питання дипломної роботи | 01-30.12.2023 | |
| 6 | Висновок | 02-10.01.2024 | |
| 7 | Оформлення пояснювальної записки | 11-20.01.2024 | |
| 8 | Оформлення графічної частини роботи (презентація) | 21-31.01.2024 | |
| 9 | Подання готової роботи для перевірки на плагіат | 09.02.2024 | |

Здобувач

_____ (підпис)

Сергій САНЮК
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олександр СЕРЬОГІН
(прізвище та ініціали)

Анотація

В дипломній роботі було розглянуто питання модернізації системи теплоелектропостачання (теплоелектрозабезпечення) житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів), розглянуті теоретичні питання та зроблені розрахунки модернізації системи теплоелектропостачання житлового комплексу на базі сонячних батарей, зроблені відповідні висновки з приводу розгляду даного питання.

Ключові слова: система електропостачання, втрати електричної енергії, енергозбереження, енергоефективність, сонячні панелі, сонячна електростанція.

Annotation

In the diploma work, the issue of modernization of the heat and electricity supply system (heat and electricity supply) of the residential complex based on solar batteries (collectors) theoretical questions were considered and calculations were made for the modernization of the heat and electricity supply system of a residential complex based on solar batteries, and appropriate conclusions were drawn regarding the consideration of this issue.

Key words: power supply system, loss of electrical energy, energy saving, energy efficiency, solar panels, solar power plant..

ЗМІСТ

| | |
|--|--------------|
| ВСТУП..... | 8-10 |
| ПЕРЕЛІК ТЕРМІНІВ І СКОРОЧЕНЬ..... | 11 |
| 1. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ..... | 12-50 |
| 1.1. Загальні дані про сонячну енергетику..... | 12-15 |
| 1.2. Принцип дії фотоелектричного перетворювача..... | 15-17 |
| 1.3. Загальна конструкція та основні параметри ФЕП..... | 17-19 |
| 1.4. Види сонячних батарей..... | 19-27 |
| 1.5. Сонячні електростанції та їх ключові елементи..... | 27-42 |
| 1.6. Сонячна інсоляція..... | 42-45 |
| 1.7. Сонячні колектори..... | 45-50 |
| Висновки до розділу 1..... | 50 |
| 2. ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ..... | 50-57 |
| 2.1. Потенціал житлових комплексів для модернізації сонячною енергетикою..... | 50-53 |
| 2.2. Визначення доступної площі для встановлення сонячних панелей та колекторів..... | 53-54 |
| 2.3. Проведення енергетичного аудиту житлового комплексу..... | 54-55 |
| 2.4. Розробка проєкту сонячної електростанції для житлового комплексу..... | 55-57 |
| Висновки по розділу 2..... | 57 |

| | |
|--|-------|
| 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ (КОЛЕКТОРІВ) НА ПРИКЛАДІ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ..... | 58-80 |
| 3.1. Проектування сонячної електростанції на даху будинку. | 58-63 |
| 3.2. Підбір компонентів сонячної електростанції. | 63-75 |
| 3.3. Аналіз ефективності та окупності проекту | 75-80 |
| Висновки по розділу 3. | 80 |
| ВИСНОВКИ. | 82-83 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ. | 83-84 |

ВСТУП

Електроенергія є найбільш універсальним видом енергії. Широке застосування електроенергії в усіх галузях промисловості, транспорті і використанні в бітут пояснюється відносною простотою її вироблення, передачі, розподілом між споживачами і легкістю перетворення в інші види енергії – теплову, механічну, світлову і т. д.

Виготовлення електричної енергії часто супроводжується спалювання інших енергетичних ресурсів у вигляді вуглеводнів.

Але структура джерел енергії протягом останніх десятиліть істотно змінюється: зростає значення атомної енергії. Робляться спроби повнішого використання енергії вітру, морських припливів, сонячного тепла.

Проте досі найбільший внесок у загальний енергетичний фонд, використовуваний людиною, належить речовинам, нагромадженим внаслідок фотосинтетичного процесу. Із часом цей енергетичний фонд – вугілля, нафта – наближається до виснаження, і тільки Сонце залишається стабільним джерелом енергії. Фотосинтез – єдиний процес, здатний постійно відновлювати енергетичні ресурси планети. Тому є підстави вважати його основою відновлювальних джерел енергетичних засобів. Сонце випромінює таку кількість енергії, якої вистачило б на задоволення не лише сучасних, але й майбутніх потреб людства, коли б існувала можливість утилізувати повністю всю енергію, що досягає поверхні Землі.

У багатьох місцях земної кулі загальна енергія випромінювання становить 7 208 Дж*м² на рік (2 000 кВт*год/м² на рік). Кількість сонячної енергії, що надходить на Землю, у 10 000 разів перевищує сучасний рівень енергоспоживання.

Наближаючись до межі вичерпання викопних енергетичних ресурсів людство все частіше стало задумуватись над використанням альтернативних джерел енергії для забезпечення стабільності розвитку та уникнення енергетичної кризи, спричиненої закінченням природних запасів вуглеводів. Одним із перспективних напрямів альтернативних джерел енергії, що в останні роки набуло популярності і в Україні - є сонячна енергетика. Завдяки екологічному процесу генерації електроенергії сонячні енергетичні системи дають можливість забезпечити локальні області електричною енергією у великому обсязі, завдяки практично не вичерпним можливостям світлового випромінювання. Дослідження і промислове виготовлення продукції в цій області на сьогодні активно розвиваються в таких країнах як США, Німеччина, Японія, Корея, Китай і становлять великий внесок енергетичного виробітку в світі [1] так і в Україні.

Сонячна електроенергетика один з найбільш стрімко зростаючих напрямів альтернативної енергетики. Великий потенціал розвитку сонячної енергетики обумовлений необхідністю забезпечення національної енергетичної незалежності, екологічної безпеки та збільшенням ціни на традиційні джерела енергії. Сонячну енергетику можна поділити на дві галузі:

1) використання для теплоенергетики, що передбачає нагрівання теплоносіїв (сонячні теплові колектори) і подачі його на компоненти обігріву безпосередньо за рахунок теплового випромінювання

2) сонячна електроенергетика або фотовольтаїка - передбачає перетворення випромінювання сонця в електричну енергію, а саме застосування явища внутрішнього фотоефекту в напівпровідникових матеріалах - сонячних батареях (СБ) та модулів з великою активною площею. В якості напівпровідникового матеріалу ФЕП використовуються зазвичай кремній (Si), зважаючи на його низьку ціну, широку поширеність в природі та досліджений технологічний маршрут виготовлення. Фотовольтаїка є найбільш цікавою і перспективною, як з точки зору отримання електроенергії, так і з погляду на простоту технологічного процесу, параметри надійності, технологічність та гнучкість операцій отримання

електроенергії від сонячного випромінювання.

В даній роботі розглядається тема як за допомогою сонячної енергетики можна модернізувати житлові комплекси, знизити споживання викопних ресурсів та позитивно вплинути на навколишнє середовище.

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ

- ФЕП - фотоелектричний перетворювач
СЕ - сонячний елемент
ВАХ - вольт-амперна характеристика
СБ - сонячні батареї
ЕРС - електрорушійна сила
ККД - коефіцієнт корисної дії
СЕС - сонячна електростанція
АКБ - акумуляторна батарея
MPPT - пошук точки максимальної потужності (Maximum Power Point Tracking)

1. ПРИНЦИПИ РОБОТИ ТА ХАРАКТЕРИСТИКИ СОНЯЧНИХ СИСТЕМ .

1.1. Загальні дані про сонячну енергетику

Отримання електроенергії завдяки сонячній радіації можливе через непряме перетворення, наприклад, нагріванням води у колекторах, нагріванням до пароподібного стану дзеркальними концентраторами з подальшою подачею пари в турбіну.

Найбільш поширеним видом перетворення сонячної енергії в електричну є пряме перетворення з використанням фотоелектричного ефекту – фотоефекту. Хоча воно й потребує значних площ для розміщення фотоелементів і акумуляторів для запасання електричної енергії для темної пори доби.

Сонячна енергетика – використання сонячної енергії для отримання енергії в будь-якому зручному для її використання вигляді. Вона використовує поновлюване джерело енергії і є екологічно чистою, тобто такою, що не виробляє шкідливих відходів.

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

В отриманні сонячної енергії є як позитивні, так і негативні сторони. До переваг сонячної енергії потрібно зарахувати:

1. Відновлюваність.

Насамперед, сонячна енергія є поновлюваним джерелом енергії, на відміну від викопних видів палива – вугілля, нафти, газу.

2. Достатність.

Потенціал сонячної енергії величезний – поверхня Землі опромінюється 120 тис. тераватами сонячного світла. А це у 10 тисяч разів перевищує теперішню загальносвітову потребу в ній.

3. Постійність.

Солярна енергія невичерпна і постійна. Тривалість існування Сонця оцінюється у 6,5 млрд років, а отже сонячну енергію неможливо перевитратити в процесі задоволення потреб людства в енергоносіях.

4. Доступність.

Сонячна енергія хоч і частково, але доступна в кожній точці світу.

5. Значний термін експлуатації.

Виробники сонячних панелей гарантують їхню працездатність протягом довгого часу 30–50 років.

6. Екологічна чистота.

У світлі останніх тенденцій в боротьбі за екологічну чистоту Землі, сонячна енергетика є найбільш перспективною галуззю, що частково заміняє енергію, одержувану від невідновлюваних паливних ресурсів і, тим самим, виступає важливим етапом на шляху захисту клімату від глобального потепління. Виробництво, транспортування, монтаж і використання сонячних електростанцій практично не супроводжується шкідливими викидами в атмосферу. Навіть якщо вони і присутні в незначній мірі, то в порівнянні з традиційними джерелами енергії, їхній вплив на навколишнє середовище можна вважати майже відсутнім.

7. Безшумність.

У системах на сонячному ресурсі немає ніяких рухомих вузлів, як, наприклад, в турбогенераторах. Вироблення електроенергії відбувається безшумно.

8. Економічність.

Використання сонячних батарей як автономного джерела енергії забезпечує власникам приватних будинків відчутну економію.

9. Низькі експлуатаційні витрати.

10. Широкі межі застосування.

Це і вироблення електроенергії в регіонах, де відсутнє підключення до централізованої системи електропостачання, і опріснення води в Африці, і постачання енергією супутників на навколоземній орбіті та ін.

11. Застосування інноваційних технологій.

Із кожним роком технології виробництва сонячних батарей стають все більш досконалішими. Сучасні досягнення у сфері нанотехнологій і квантової фізики дозволяють говорити про можливе збільшення у найближчий час потужності сонячних панелей у 3 рази.

Проте сонячна енергетика має і недоліки:

1. Висока вартість на етапі будівництва.

Сонячна енергія належить до розряду дорогого ресурсу. Через те, що, наприклад, облаштування будинку сонячними елементами обходиться чимало на початковому етапі, багато держав заохочують використання цього екологічно чистого джерела енергії видачею кредитів і оформленням так званого зеленого тарифу. Окупність сонячної енергетичної установки може сягати 15 років.

2. Мінливість.

Оскільки сонячне світло відсутнє в нічний час, а також у похмурі та дощові дні, сонячна енергія не може бути основним джерелом електроенергії. Проте, порівняно, наприклад, із вітрогенераторами, це все-таки більш стабільний варіант.

3. Висока вартість акумулювання енергії.

4. Деяке забруднення навколишнього середовища.

Незважаючи на те, що в порівнянні з виробництвом і переробкою інших видів енергоресурсів сонячна енергія найбільш дружня до природного

середовища, деякі технологічні процеси виготовлення сонячних панелей супроводжуються викидом парникових газів, трифторида азоту і гексафториду сірки.

5. Застосування дорогих і рідкісних компонентів.

При виробництві сонячних панелей застосовують, наприклад, телурид кадмію (CdTe) або селенід міді-індію галію (CIGS), які є рідкісними і дорогими речовинами, що тягне за собою подорожчання системи альтернативного енергопостачання загалом.

6. Мала щільність потужності. Невеликий ККД, до 25%.

1.2. Принцип дії фотоелектричного перетворювача

Фотоелектричний елемент - напівпровідниковий матеріал, принцип роботи якого базується на розділенні згенерованих фотонів електричним полем та який призначений для перетворення енергії випромінювання в електричну [4].

В основі процесу перетворення сонячної енергії лежить фотоелектричний ефект, який спричиняється впливом фотонів на заряджені частинки напівпровідника. Неоднорідну структуру напівпровідника створюють за допомогою легування домішками матеріалу. В результаті, на легованій домішками n-типу (наприклад фосфором) пластині виникає надлишок електронів, а при легуванні домішками p-типу (бором) – надлишок дірок. Поглинаючи енергію падаючих фотонів, електрони починають переміщуватись, і це спричиняє утворення струму. Окрім того на пластині напівпровідника наносять тонкі смужки металічного провідника (мідь, алюміній), які відводять згенерований струм до споживача електроенергії. Очевидно, що чим більше падаючих фотонів поглинається напівпровідником, тим більше генерується електричної енергії, однак продуктивність ФЕП залежить від багатьох факторів.

Сутність внутрішнього фотоефекту, завдяки якому відбувається поглинання випромінювання падаючих фотонів, полягає у виникненні напруги на системі між двома електродами, які нанесені на цю систему. В основі процесу генерації напівпровідникових ФЕП лежать два основних явища: утворення вільних носіїв заряду в результаті поглинання квантів електромагнітного випромінювання та завдяки внутрішнім електричним полям ФЕП відбувається розділення згенерованих світлом носіїв заряду та їх виведення через електроди в зовнішній коло.

Розглянемо структуру фоточутливого елемента на основі $p-n$ переходу та принцип його роботи на рис. 1.1. $p-n$ перехід формується в завдяки дифузії або імплантації фосфору чи стибію в пластині кремнію p -типу. Нижній контакт приладу представляє собою металізацію, а верхній - періодичні лінії контакту. Саме така конструкція забезпечує низький опір елемента та значну поверхню для опромінення світлом. Потім наносять антивідбиваюче покриття, що є прозорим для світла та виконує захисну функцію.

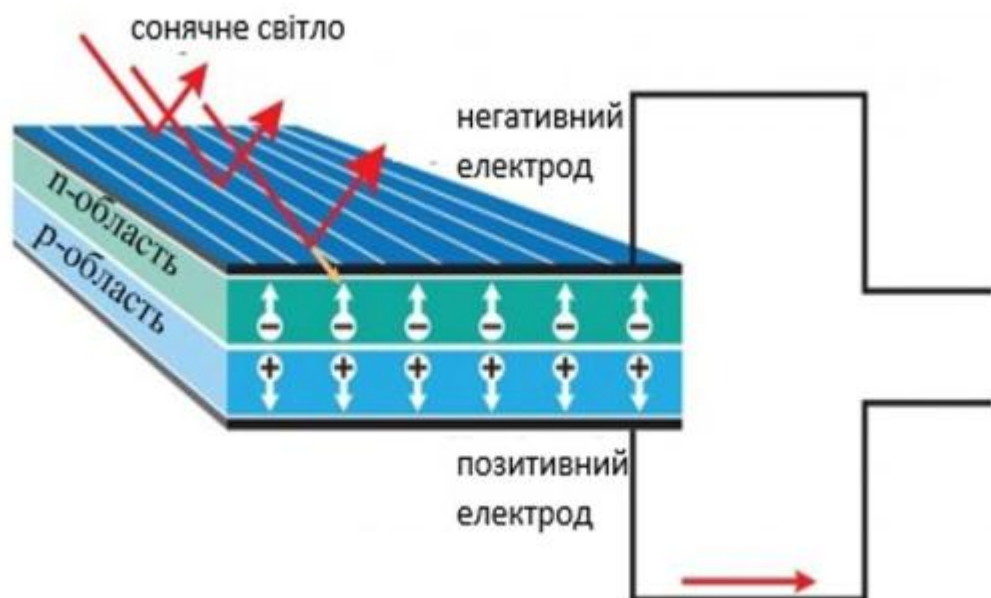


Рисунок 1.1 - Схема роботи фотоелемента

При освітленні елементу сонячної батареї, кванти світла з різною енергією, яка відповідає енергії поглинання відповідного матеріалу, поглинаються поверхнею і проходять в область просторового заряду. Зіткнення фотонів з атомами створюють вільні носії заряду, що називають процесом генерації фотоносіїв, а після цього розділяються під дією напруженості електричного поля який виникає $p-n$ переходу. Електрони рухаються у n -область, а дірки у p -область. Тоді у p -області виникає надмірна концентрація позитивно заряджених частинок, а в n - електронів. Між областями утворюється різниця потенціалів, яка називається фотоелектрорушійною силою (Рис. 1.1).

Фото-ЕРС буде збільшуватись через нагромадження фотоносіїв у сусідніх областях $p-n$ переходу. Однак такий процес надмірного нагромадження фотоносіїв обмежений. В результаті зменшення потенціального бар'єру за рахунок фото-ЕРС, розпочинається дифузія позитивно заряджених частинок з p -області в n -область і електронів з n в p .

Коли світлове випромінювання зростає, кількість згенерованих фотоносіїв збільшується і в наслідку збільшується ЕРС, проте граничне її значення не може перевищити потенціальний бар'єр.

1.3. Загальна конструкція та основні параметри ФЕП

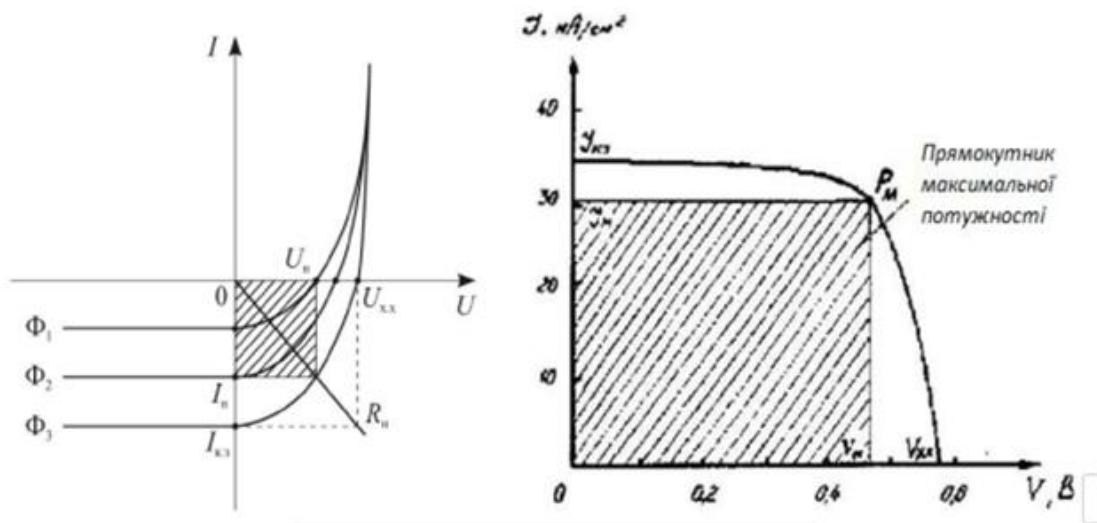
До складу комірки сонячного елемента входять такі основні частини (рис.1.2):

- $p-n$ перехід;
- контакти;
- структурована поверхня;
- антивідбиваюче покриття.

Вольт-амперні характеристики (рис.1.2) фотоелемента такі ж самі, як і

характеристики фотодіода. Ділянка ВАХ у 4-му квадраті показують режим генерації фото-ЕРС.

Якщо зовнішній ланцюг фотоелемента замкнути, то в ньому буде протікати струм, величина якого залежить від опору навантаження. Якщо опір навантаження дорівнює нулю, тоді струм буде максимальним (струм короткого замикання). При розірваному колі буде діяти максимальна ЕРС (напруга холостого ходу).



ВАХ фотоелементів. Рисунок 1.2

До основних параметрів відносяться:

- струм короткого замикання - максимальний струм, що протікає в замкненому колі при нульовому опорі навантаження;

- напруга холостого ходу - максимальна фото-ЕРС при розімкнутому зовнішньому колі;

- коефіцієнт заповнення (fill factor) - відношення потужності навантаження до максимальної потужності;

- коефіцієнт корисної дії (ККД) - відношення максимальної потужності, до потужності оптичного випромінювання, яке потрапляє на робочу поверхню.

Важливою характеристикою СБ є світлова, що показує як зі збільшенням

поток випромінювання зростає струм короткого замикання та напруга холостого ходу.

Ефективність (ККД) сонячних елементів показує, яку частину сонячної енергії падаючого на нього світла він може перетворити в електрику. Розрізняють ККД по активній площі поверхні і ККД по загальній площі поверхні:

$$\eta_{\text{акт}} = \frac{P_{\text{ел}}}{S_{\text{акт}} \times \Phi_0} \quad (1.1)$$

$$\eta_{\text{заг}} = \frac{P_{\text{ел}}}{S_{\text{заг}} \times \Phi_0} \quad (1.2)$$

де $P_{\text{ел}}$ - електрична потужність, що виробляється сонячним елементом при опромінненні; Φ_0 - щільність потоку падаючого на сонячний елемент світла; $S_{\text{акт}}$ і $S_{\text{заг}}$ - площа активної (доступною світла) і загальної (що включає як поверхню, доступну світла, так і ділянки поверхні, затінені електродної сіткою або скрайбірування від поглинає шару) поверхні сонячного елемента.

Струм короткого замикання ($I_{\text{к.з.}}$) - це максимальний струм, що протікає через виходи сонячного елемента при їх короткому замиканні. Вимірюється в мА. Щільність струму короткого замикання визначається як відношення струму короткого замикання до площі поверхні сонячного елемента.

Фактор заповнення (FF) показує, яка частина потужності, виробленої сонячним елементом, використовується в навантаженні. Значення фактору заповнення визначається вибором режиму роботи сонячного елемента, тобто значеннями струму що протікає через навантаження $I_{\text{роб}}$ і напруги сонячного елемента $U_{\text{роб}}$ в робочому режимі. Значення FF може бути знайдено як відношення потужності на навантаженні, підключеної до виходів сонячного елемента, до повної електричної потужності, виробленої сонячним елементом.

1.4. Види сонячних батарей

За матеріалом і технологією виробництва сонячні елементи можна поділити на такі види:

1) кремнієві:

- монокристалічні;
- полікристалічні;
- аморфні;

2) плівкові:

- на основі телуриду кадмію;
- на основі селеніду міді-індію;
- полімерні.

Для виробництва монокристалічних кремнієвих сонячних елементів використовують очищений кремній. Після того як очищений монокристал твердне, його поділяють на супер тонкі пластини, товщиною до 300 мкм.

Вигляд монокристалічного кремнієвого сонячного елемента наведено на рисунку 1.3.

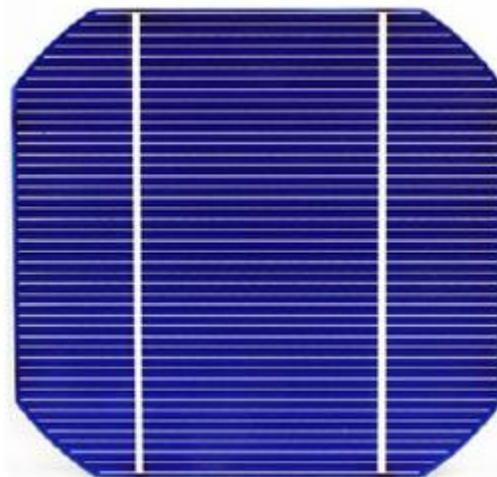


Рисунок 1.3 – Монокристалічний кремнієвий сонячний елемент

Готові пластини з'єднують тонкою сіткою з електродів у батареї. Сонячні панелі з таких елементів мають вигляд силіконових стільників, або осередків, з'єднаних в одну структуру. Такі батареї мають високий коефіцієнт корисної дії (ККД) – до 20 %. Процес їхнього виготовлення технологічно складний і дорогий .

Середня площа, що її займає система у 1 кВт на базі монокристалічних панелей, становить 7 м². Сфери застосування найрізноманітніші, від міні котеджів і туристичних комплектів до мегаватних станцій. Найчастіше застосовується в проектах зі встановленою потужністю до 10 кВт.

Традиційно монокристалічні модулі вставлені в алюмінієву рамку і закриті протиударним склом. Колір монокристалічних фото-елементів темно-синій або чорний. Вигляд такої панелі показано на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Панель із монокристалічних кремнієвих сонячних елементів

Полікристалічні сонячні елементи виробляються на основі полікристалічного кремнію, отриманого методом повільного охолодження – спрямованої кристалізації і розпиляного на пластини. Середня площа, займана системою в 1 кВт на базі полікристалічних панелей становить 8,3 м².

Коштує цей вид панелей значно дешевше, ніж попередній. Водночас для виготовлення потрібно менше енергії, а це ще раз благотворно діє на ціну. Але ККД таких батарей нижче – до 18 %. Це пов'язане з утвореннями всередині полікристала, які знижують ефективність.

Вигляд полікристалічного кремнієвого сонячного елемента наведено на рисунку 1.5, а панелі – на рисунку 1.6.

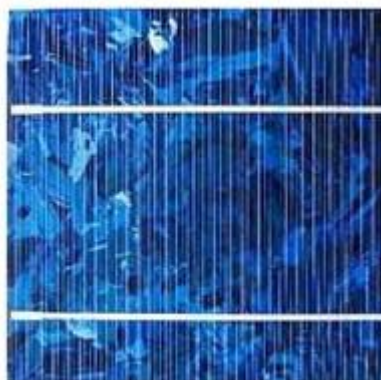


Рисунок 1.5 – Полікристалічний кремнієвий сонячний елемент



Рисунок 1.6 – Панель з полікристалічних кремнієвих сонячних елементів

Сонячні елементи з аморфного кремнію можна віднести як до кремнієвих (матеріал виготовлення – кремній), так і до плівкових, оскільки виготовлені вони за принципом виробництва плівкових батарей, але все ж відмінності є.

Тут використовуються не кристали кремнію, а так званий силан (кремневодень). Його наносять на підкладку всередині батарей. ККД таких сонячних батарей набагато нижчий від розглянутих вище і складає 5–12 % (теоретичний поріг – 16 %).

Проте є і переваги, серед яких:

- набагато краще оптичне поглинання (у 20 разів);
- краща робота за відсутності прямого сонячного опромінення (коли похмуро);
- еластичність панелей.

Вигляд сонячного елемента і панелі з аморфного кремнію наведено на рисунках 1.7 і 1.8 відповідно.

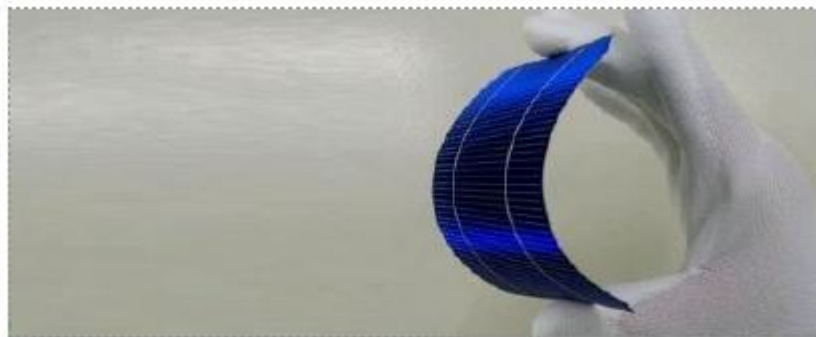


Рисунок 1.7 – Сонячний елемент з аморфного кремнію

Бувають також поєднання моно- і полікристалічних панелей з аморфними. Таке поєднання дозволяє з'єднати переваги двох різних типів. Наприклад, батареї краще працюють, коли сонця недостатньо для звичайних кристалічних батарей .

Плівкові панелі є наступним кроком у розвитку джерел живлення на сонячній енергії. Крок, який продиктований насамперед необхідністю зниження цін на виробництво батарей і прагненням до підвищення їхньої енергоефективності.



Рисунок 1.8 – Сонячна панель з аморфного кремнію

Кадмій – це матеріал, що має високий рівень світлопоглинання. Як матеріал для сонячних батарей космічної галузі був відкритий в 70-х роках минулого століття. На сьогоднішній день він застосовується вже не тільки в космосі, а й активно використовується в сонячних панелях звичайного, домашнього користування.

Найголовнішою проблемою у використанні кадмію є його отруйність. Однак дослідження говорять про те, що рівень забруднення, що йде в атмосферу, занадто малий, щоб завдавати шкоди здоров'ю людини.

Плівкові сонячні елементи на основі селеніду міді-індію використовують селенід, мідь, індій. Деякі з компаній замінюють невелику кількість елементів індію галієм. Причиною такого підходу є застосування його у виробництві плоских моніторів. Галій має схожі властивості, однак ККД панелі менший.

Сонячна батарея на основі селеніду міді-індію здатна перетворити 15–20 % падаючого на неї сонячного випромінювання в електричну енергію. За ККД цей вид мало відстає від монокристалічної кремнієвої батареї. Основним недоліком цього виду панелей є велика вартість, що зумовлена використанням міді та індію.

Полімерні сонячні батареї – новітні установки створенні для перетворення світлової енергії в електричну. На відміну від традиційних варіантів панелей вони не використовують в своєму складі кремнію, а створені на основі спеціальної плівки, полімерів і електродів з алюмінію.

Особливості полімерної сонячної батареї:

1) дешевизна: ціна на полімерні сонячні батареї приблизно в два рази менша, аніж на кристалічні варіанти;

2) зручність: полімерні сонячні панелі можна легко гнути, різати ножем чи клеїти на будь-які поверхні, що дозволяє використовувати такі установки в будь-яких похідних умовах, підвищити їхню мобільність і навіть заряджати пристрої на ходу;

3) екологічне виробництво: виготовлення полімерних панелей повністю безпечно для навколишнього середовища – за дослідженнями вчених, викиди від виготовлення таких установок на 3/4 менше, ніж від кремнієвих варіантів;

4) не надто високий коефіцієнт корисної дії: поки що максимум, чого вдалося досягти вченим – лише 5–6 %. Це менше, аніж у кремнієвих аналогів, але прогрес не стоїть на місці і полімерні сонячні батареї постійно розвиваються, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому моделей потужніших за кремнієві аналоги.

Вигляд полімерних сонячних панелей наведено на рисунку 1.9.



Рисунок 1.9 – Полімерні сонячні панелі

Тонкоплівкові фотовольтажні модулі фірми ThinFilmTechnology є найпродуктивнішими сонячними батареями з доступних в Україні. Їхній ККД близький до 25 %.

Виготовляються вони за передовою американською технологією всього на декількох заводах у світі.

Одною з головних переваг цих панелей є вироблення енергії за розсіяного сонячного світла і в похмуру погоду. Обмеженням є площа, яку вони займають, оскільки 1 кВт встановленої потужності займе 18,3 м².

Також панелі довговічні, не мають металевих частин – важать в 2 рази менше, ніж традиційні фотомодулі.

Вигляд тонкоплівкового сонячного елемента наведено на рисунку 1.10.



Рисунок 1.10 – Тонкоплівковий фотовольтажний модуль

Побудова сонячних станцій на базі тонкоплівкових фотовольтажних модулів дозволяє досягти максимального ефекту за мінімальних інвестицій. Продуктивність станції, побудованої на основі ThinFilmTechnology, збільшується на 30 % порівняно з монокристалічними панелями і на 50 % порівняно з полікристалічними.

Фотоелектричні перетворювачі на основі сполуки миш'яку з галієм (GaAs), як відомо, мають більш високий теоретичний ККД, ніж кремнієві. Це

забезпечується за рахунок більш високого рівня поглинання сонячного випромінювання.

Такі перетворювачі мають значно меншу порівняно з кремнієм товщину. Принципово досить мати товщину 5–6 мкм для отримання ККД порядку не менше 20 %, тоді як товщина кремнієвих елементів не може бути меншою за 50–100 мкм без помітного зниження їхнього ККД. Це дозволяє розраховувати на створення легких плівкових фотоперетворювачів, для виробництва яких потрібно порівняно мало вихідного матеріалу.

Експериментальні залежності ККД від температури говорять про те, що підвищення температури останніх до 150–180 °С не призводить до істотного зниження їхнього ККД і оптимальної питомої потужності. У той же час для кремнієвих елементів підвищення температури вище 60–70 °С є майже критичним – їхній ККД падає вдвічі.

Проте, на відміну від кремнію, галій є вельми дефіцитним матеріалом, що обмежує можливості виробництва фотоелектричних перетворювачів на основі GaAs в кількостях, необхідних для широкого впровадження. Широко їх застосовують у космічній галузі де, зрозуміло, ефективність і маса устаткування мають вирішальне значення.

На завершення слід зазначити, що прогрес не стоїть на місці, у всьому світі ведуться масштабні дослідження у цій галузі, що дозволяє стверджувати про створення в найближчому майбутньому все потужніших моделей сонячних батарей.

1.5. Сонячні електростанції та їх ключові елементи

Сонячна електростанція – це інженерна споруда, що використовується для перетворення сонячної радіації (випромінювання) в електричну енергію.

Такі електростанції бувають двох видів: фотоелектричні, що безпосередньо перетворюють сонячну енергію в електроенергію за допомогою фотоелектричного модулю, та термодинамічні, що перетворюють сонячну енергію в теплову, а потім в електричну. Зрозуміло, що ми розглядаємо фотоелектричні сонячні станції.

Узагальнену структурну схему фотоелектричної сонячної електростанції наведено на рисунку 1.11.

Сонячне випромінювання потрапляє на сонячний модуль, сонячні панелі якого перетворюють його в електричний струм постійної напруги.

Контролер регулює напругу і струм, що надходять від сонячного модуля та накопичуються в акумуляторі та подається до інвертора.

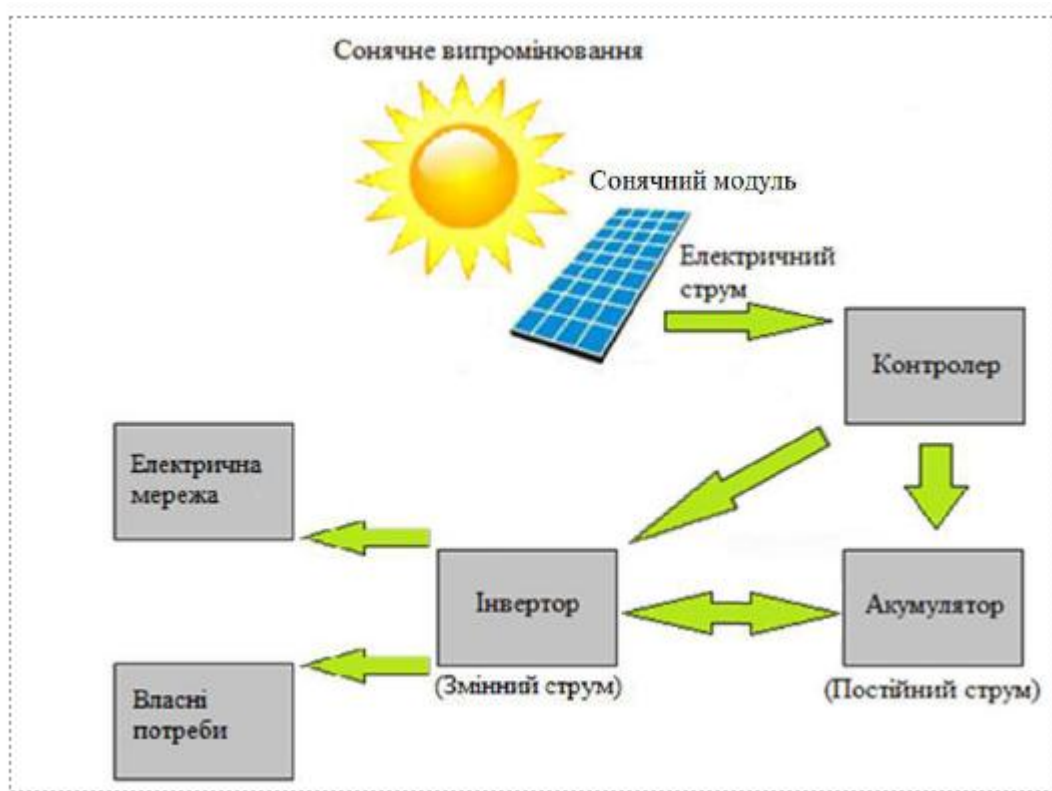


Рисунок 1.11 – Узагальнена структурна схема фотоелектричної сонячної електростанції

Акумулятор (акумуляторна батарея) накопичує електричну енергію для забезпечення живлення навантаження за відсутності сонячного опромінення. Акумулятор може бути відсутнім у складі сонячної електростанції.

Інвертор перетворює електричний струм постійної напруги в електричний струм змінної напруги, що використовується на власні потреби (живить навантаження), або надходить до електричної мережі (надлишки від власних потреб).

Існують три основні схеми підключення сонячних електростанцій:

- 1) автономна схема (off-grid);
- 2) підключення до мережі (on-grid);
- 3) схема резервного живлення.

Автономна схема, наведена на рисунку 1.12, використовується для живлення споживачів, де немає централізованого електропостачання.

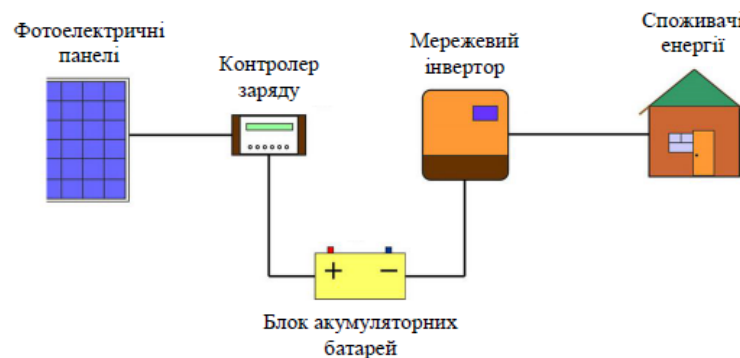


Рисунок 1.12 – Автономна схема підключення сонячної електростанції (off-grid)

В установках цього типу вироблена електроенергія накопичується в акумуляторі та використовується потім у темний час доби або в період слабкої дії сонячного випромінювання. Необхідно, щоб енергія сонячного випромінювання забезпечувала одночасне живлення електроенергією навантажень та заряду акумулятора.

У додатку А, як приклад, наведено параметри одного з акумуляторів, призначеного для роботи в складі сонячних електростанцій.

Схема on-grid, показана на рисунку 1.13, забезпечує не тільки живлення навантажень, й продаж надлишку електроенергії в централізовану електромережу за «зеленим» тарифом.

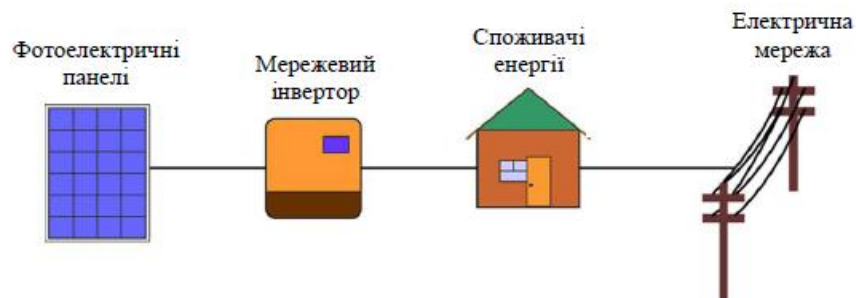


Рисунок 1.13 – Схема підключення сонячної електростанції до мережі (on-grid)

Цей вид сонячної системи не потребує накопичення енергії в акумуляторі: весь струм відразу передається (продається) в мережу згідно «зеленого» тарифу, а навантаження живляться від централізованої мережі. Кількість відданої в мережу електроенергії і спожитої з мережі обліковується окремими лічильниками.

Оформлення «зеленого» тарифу для домашніх господарств має два обмеження: сонячні батареї мають бути розміщені на даху або інших частинах будівель (не на землі), а загальна потужність не повинна перевищувати 30 кВт.

Схема резервного живлення, показана на рисунку 1.14, використовується у випадку вірогідності ненадійної роботи мережі централізованого електропостачання – відхилення якості енергії від стандартної та можливого відключення. До інвертора підключаються всі джерела електроенергії – централізована мережа, фотоелектричні панелі, іноді і резервний електрогенератор

(дизельна електростанція або бензогенератор). Найчастіше основним джерелом електроенергії в такій схемі виступають фотоелектричні панелі.

У разі відключення мережі або недостатнього рівня мережевої напруги навантаження живиться від фотоелектричної установки або акумулятора. Резервні сонячні електростанції слугують для електропостачання найбільш важливих навантажень – освітлення, персональні комп'ютери, засоби зв'язку та ін.

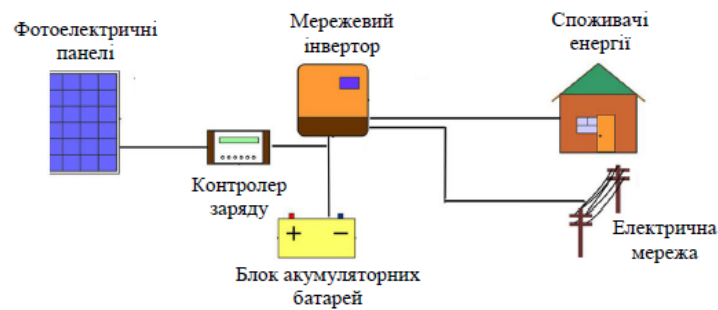


Рисунок 1.14 – Схема резервного живлення

Окрім безперебійного електроживлення така схема забезпечує і експорт надлишку виробленої електроенергії в мережу (продаж за «зеленим» тарифом), якщо сонячна електростанція виробляє більше електроенергії, ніж необхідно для живлення навантаження на даний час, а акумуляторні батареї повністю заряджені.

Контролер заряду для сонячних панелей є електронним пристроєм, що забезпечує автоматичний заряд акумуляторної батареї стабільним струмом та нормування напруги, яка виробляється фотоелементами, відповідно до напруги, потрібної для накопичення енергії акумулятором з урахуванням його стану. У випадках, коли, наприклад, акумулятор повністю зарядився, контролер знизить напругу для уникнення перезарядки.

Контролер заряду, приклад зовнішнього вигляду якого показано на рисунку 1.15, є невід'ємним елементом сонячної електростанції, від якого залежить не

тільки працездатність системи, але й ефективність перетворення сонячного світла в електроенергію.

Існує декілька типів контролерів заряду, що використовуються для сонячних батарей, це так звані ШІМ- та МРРТ- контролери.



Рисунок 1.15 – Зовнішній вигляд контролера заряду АКБ

ШІМ-контролери в активній стадії процесу заряду використовують так звану широтно-імпульсну модуляцію (ШІМ) струму заряду (PWM – power wide modulation). Такі контролери підтримують функцію температурної компенсації струму заряду акумуляторної батареї за допомогою зовнішніх датчиків для оптимального режиму заряду батарей. Батарея заряджається до 100 %.

Процес заряду акумуляторної батареї ШІМ-контролером розбивається на чотири стадії, проілюстровані на рисунку 1.16.

Перша стадія полягає у заряді батареї максимальним струмом. На цій стадії акумуляторна батарея отримує максимальний струм, який здатні видати сонячні модулі, а напруга на батареї плавно зростає.

Друга стадія полягає у ШІМ-заряді. Коли напруга на батареї досягає певного рівня, контролер починає підтримувати постійне значення напруги, зменшуючи зарядний струм за допомогою ШІМ-технології. Така дія дозволяє

запобігти перегріву і газоутворенню в акумуляторах, а також провести повний заряд. Струм поступово зменшується відповідно до заряду акумуляторної батареї.



Рисунок 1.16 – Ілюстрація роботи акумуляторної батареї сонячної електростанції.

Третя стадія має назву вирівнювання (так звана еквалізація) за якої більшість батарей з рідким електролітом покращують свою роботу при періодичному заряді-розряді, водночас вирівнюються напруги на різних банках батареї і відбувається очищення пластин та перемішування електроліту. Еквалізація в деяких ШІМ-контролерах є опціональною, або ручною функцією.

Четверта стадія – це стадія підтримання заряду: коли батарея повністю заряджена, зарядна напруга зменшується для запобігання подальшому нагріву або газоутворенню в батареї. Батарея підтримується в зарядженому стані (stand by).

Таким чином, використання ШІМ-контролерів дозволяє оптимально заряджати акумуляторні батареї, відповідно до вимог виробників батарей.

MPPT-контролери є останнім поколінням контролерів заряду із найкращою технологією перетворення енергії, що генерується від фотомодулів. Аббревіатура MPPT у перекладі з англійської Maximum power point tracker – стеження за точкою максимальної потужності (ТММ). Ці контролери самі вибирають

оптимальне співвідношення напруги і струму, отриманих від фотомодулів. Такі контролери знімають більш високу напругу з сонячних батарей і конвертують її в оптимальну напругу для заряду батареї. Отже, ММРТ-контролери перетворюють зайву напругу в корисний струм, наприклад, у сонячний день, а у хмарний день навпаки. Коли напруга на фотомодулі є нижчою напруги заряду батареї, контролер автоматично піднімає напругу зменшуючи при цьому зарядний струм і акумулятор заряджається (лише не так інтенсивно). Тому застосування МРРТ-контролерів дозволяє отримувати від сонячних батарей на 15–30 % більше електроенергії порівняно з іншими контролерами.

Якщо розглянути стандартну вольт-амперну характеристику фотоелектричного модуля, наведену на рисунку 1.17, то можна відзначити, що вироблена електроенергія може бути збільшена, якщо контролер заряду відстежуватиме точку максимальної потужності фотомодуля.

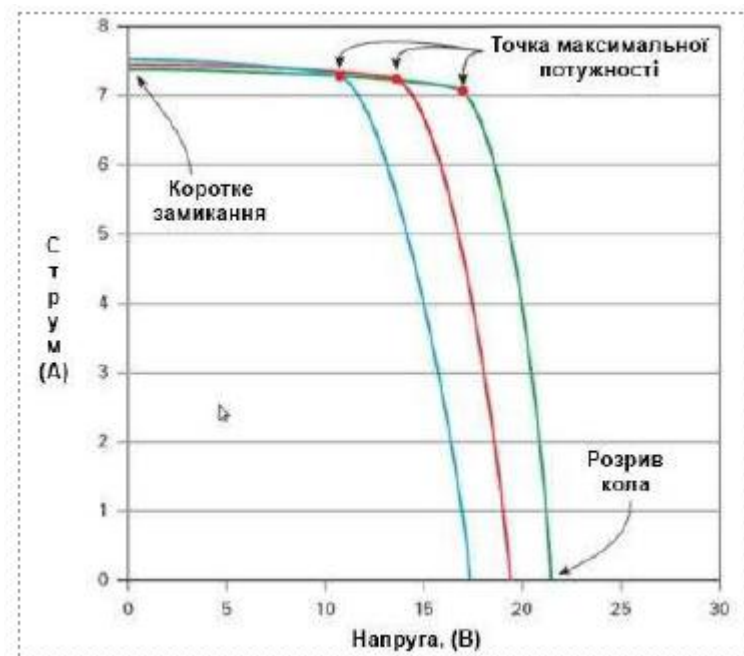


Рисунок 1.17 – Стандартна вольт-амперна характеристика фотоелектричного модуля

MPPT-контролер увесь час стежить за струмом і напругою на фотомодулях, перемножує їхнє значення і визначає струм-напругу, за яких потужність сонячної батареї є максимальною. Процесор аналізує стадії заряду, у яких знаходиться акумулятор (наповнення, насичення, вирівнювання, підтримка) і на підставі цього регулює струм, що подається безпосередньо на батарею. Точка максимальної потужності може обчислюватися різними способами. Контролер зазвичай послідовно знижує напругу від точки холостого ходу до напруги на акумуляторі. Точка максимальної потужності буде знаходитися десь у проміжку між цими значеннями.

Положення точки максимальної потужності залежить від певної низки чинників: освітленості, температури модуля, різномірності використовуваних модулів тощо.

Контролер час від часу намагається злегка «відійти» від знайденої точки в обидва боки, і якщо потужність при цьому збільшується, то він переходить на роботу в цій точці. За допомогою постійного перетворення напруги контролер підтримує різні напруги на вході і виході.

Кількість додатково отриманої енергії, яку видають MPPT-контролери, складно оцінити. Основними чинниками, що впливають на додаткове вироблення, є температура і рівень зарядженості акумуляторної батареї. Найбільша добавка буде помітною за низьких температур модуля і розрядженій батареї.

З наведеного на рисунку 1.18 графіку видно, як може змінюватися напруга в точці максимальної потужності за різних температур модуля. Чим більше нагрітий сонячний модуль, тим нижча його напруга та відповідно, вироблювана енергія.

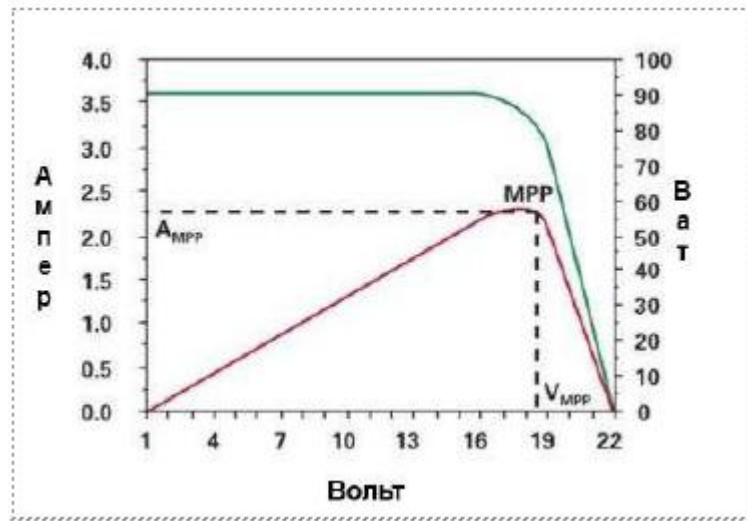


Рисунок 1.18 – ВАХ фотоелектричного модуля

Через це зазвичай при використанні МРРТ-контролерів сонячні модулі збирають на більш високу напругу. Основна маса контролерів відстежує точку максимальної потужності в досить широких межах. Таке рішення дозволяє збільшувати вироблення енергії сонячною батареєю за низької освітленості. Проте, не варто робити занадто велику різницю між вхідною і вихідною напругою, оскільки це призводить до зниження ККД контролера.

Основні переваги контролерів МРРТ:

- відсутність втрат при заряді АКБ;
- оптимальна робота при затіненні частини площі сонячних панелей;
- підвищена віддача за слабкої освітленості і за хмарної погоди;
- можливість використання більш високої вхідної напруги від фотомодулів;
- зменшення перетину кабелів;
- збільшення дистанції від панелей до контролера.

Номінальний струм контролера необхідно вибирати з запасом на 20–25 % від найбільшого струму акумулятора для урахування можливого зростання ККД панелей.

Зазначимо, що контролери часто поставляються разом з інвертором.

У додатках Д і Е можна ознайомитися з параметрами подібних за потужністю ШІМ- і МРРТ-контролерів заряду.

Відповідно до типу схеми сонячної електростанції можливі такі типи інверторів:

- інвертори для автономних систем;
- інвертори для мережевого використання;
- гібридні.

Автономні інвертори використовуються в повністю самостійних робочих комплектах. Автономний інвертор працює тільки спільно з сонячними панелями в комплекті з акумуляторними батареями. У перебігу світлового дня вироблена сонячними панелями енергія через контролер заряду надходить в акумуляторні батареї і накопичується в них. Інвертор перетворює постійну напругу акумуляторів, наприклад 24 В, у змінну напругу 220 В і передає на навантаження. В автономних інверторах із вбудованим контролером заряду накопичення в акумуляторах енергії і її передача на навантаження здійснюється трохи інакше: енергія, що надходить із сонячних панелей в інвертор-контролер, насамперед живить навантаження, а її надлишок накопичується в акумуляторах. Існують інвертори, у яких можна виставляти пріоритети зарядки і навантаження.

Мережевий інвертор працює тільки спільно з мережею змінного струму без використання акумуляторних батарей. Вироблена сонячними панелями енергія через інвертор відразу надходить у мережу. Функція заряджання або живлення від акумуляторів не передбачена.

Гібридний інвертор поєднує в собі обидві можливі схеми підімкнення. Він працює з сонячними панелями й акумуляторними батареями, але він так само може бути підімкнений до мережі 220 В для живлення від неї навантаження і заряджання акумуляторних батарей. Можливий вибір режимів і пріоритетів

зарядження або навантаження. Наприклад, можна налаштувати інвертор так, що спочатку енергія з сонячних батарей буде живити електроприлади. Енергія, що залишилася, буде заряджати акумулятори. Водночас, якщо енергії від сонячних батарей недостатньо для навантаження, вона буде добиратися із мережі змінного струму або спочатку з акумуляторів, а вже потім із мережі.

Інвертори також можна розділити на трансформаторні (низькочастотні) і безтрансформаторні (високочастотні).

Головною відмінністю перших є наявність трансформатора на виході інвертора, призначеного для підвищення напруги до мережевого значення (220/380 В). У безтрансформаторних пристроях функції трансформатора виконує електроніка.

Решта відмінностей двох технологій:

- безтрансформаторна архітектура дозволяє домогтися ефективності в 98 % порівняно з 80–92 % трансформаторної;
- власне споживання безтрансформаторних інверторів значно менше, ніж у трансформаторних;
- безтрансформаторні інвертори більш уразливі до поломок, оскільки електронні блоки менш надійні, ніж пасивний трансформатор;
- трансформаторні пристрої підтримують більш високий струм заряду, що збільшує швидкість зарядження батарей і їхню кількість;
- трансформаторні пристрої мають більшу масу і розміри порівняно з безтрансформаторними;
- безтрансформаторні інвертори мають більш низьку вартість порівняно з трансформаторними.

Багато сучасних інверторів також мають додаткові функції. Вимірювання: на дисплеї відображаються напруги і струми, частота і потужність.

Можливість автоматичного запуску і зупинки резервного генератора (наприклад дизельного) залежно від напруги батареї. Часто ця функція реалізована у вигляді опції як окремий блок до інвертора. Високоякісні інвертори можуть заряджати акумулятори від мережі тільки в певний час, або запускати генератор тільки в денний час, щоб не створювати шуми вночі.

Високоякісні інвертори можуть задавати або динамічно змінювати зарядний струм для уникнення перевантаження генератора. Вони також мають багатостадійні зарядні пристрої, що забезпечують безпечний повний заряд акумуляторної батареї, необхідний для збільшення терміну їхнього використання.

Паралельне з'єднання: деякі інвертори можуть бути з'єднані паралельно для збільшення потужності.

Інвертори мережевого типу не мають можливості під'єднання до них акумуляторних батарей. Вони також не зможуть працювати, у разі зникнення напруги мережі, наприклад, через аварію. Зроблено це для того, щоб убезпечити від ураження електричним струмом персонал, який буде займатися відновленням ліній електропередач.

У разі необхідності живлення електроприймачів за аварійного відімкнення електроенергії, його потрібно забезпечити від сонячних панелей, а отже потрібен мережевий інвертор із резервуванням.

Основні характеристики мережевих інверторів:

– номінальна вихідна потужність – потужність, що отримується від певного інвертора;

– вихідна напруга – показник, що визначає, до якої мережі за напругою може бути підімкнений інвертор. Для невеликих інверторів побутового призначення вихідна напруга зазвичай становить 240 В. Інвертори промислового призначення розраховані на 208, 240, 277, 400 або 480 В, крім того, їх можна під'єднувати до 3-фазної мережі;

– максимальна ефективність – найвища ефективність перетворення енергії, яку може забезпечити інвертор. Максимальний ККД більшості мережових інверторів становить понад 94 %, у деяких – до 97 %;

– зважена ефективність – середня ефективність інвертора. Цей показник краще характеризує ефективність роботи інвертора. Він є важливим, оскільки інвертори, здатні перетворювати енергію за різних вихідних напруг змінного струму, мають різну ефективність за кожного значення напруги;

– максимальний вхідний струм – максимальне значення постійного струму, що його виробляє сонячна панель. Якщо сонячна панель вироблятиме струм, що перевищує це значення, інвертор його не використовуватиме;

– максимальний вихідний струм – максимальне значення безперервного змінного струму, що його виробляє інвертор. Цей показник використовують для визначення мінімального (номінального) значення перевантаження за струмом пристроїв захисту (наприклад, вимикачів або запобіжників);

– діапазон відстеження напруги максимальної потужності – діапазон напруги постійного струму, у якому буде працювати точка максимальної потужності мережевого інвертора;

– мінімальна вхідна напруга – мінімальна напруга, необхідна для вмикання інвертора та його роботи. Цей показник особливо важливий для сонячних систем, тому що розробник системи має бути впевнений, що для створення цієї напруги в кожному ланцюжку послідовно з'єднано достатню кількість сонячних модулів;

– ступінь захисту IP – характеризує ступінь захисту корпусу від проникнення зовнішніх твердих предметів і води.

Для станцій невеликої потужності генерація буде відбуватися в мережу 380 В. Якщо потрібна велика потужність, то кілька таких блоків встановлюються паралельно. Залежно від потужності станція через підвищувальний трансформатор може бути підімкнена до мереж 6–10 кВ. На поточний момент

окупність такої станції становить близько 5–7 років. Станції великої потужності (від 1 МВт) у разі використання китайських комплектуючих можна окупити за 3 роки.

У разі завдання економії електроенергії така система містить усі ті самі сонячні батареї і мережеві інвертори (без резервування), але генерує енергію для «внутрішніх» потреб, тому вузол обліку тут не обов'язковий. Станція під'єднана до внутрішньої мережі підприємства (або приватного господарства) і генерує енергію безпосередньо в навантаження. Отже, завдяки додатковому джерелу генерації знижується споживання від мережі. Таке рішення актуальне для підприємств із постійним високим денним споживанням. Так само воно дозволяє компенсувати піки споживаної потужності.

В автономних мережах великої потужності немає можливості використовувати великий масив сонячних панелей для заряджання акумуляторів. Так само навантаження розподіляється по значній території. Зважаючи на це логічно і генеруючу потужність розподілити по території за доступними площами. Таке стало можливим за використання двонапрямлених інверторів (інвертор – зарядний пристрій), що можуть не тільки перетворювати постійний струм з акумуляторних батарей у змінний, але і направляти надлишки енергії з мережі в акумулятори, а також регулювати потужність джерел генерації, підімкнених на стороні змінного струму. Такими джерелами електроенергії можуть бути не тільки сонячні батареї, але й вітрогенератори або гідротурбіни з мережевими інверторами. Головною вимогою є наявність у такого мережевого інвертора окремого режиму роботи в автономних мережах.

Приклади внутрішньої конструкції інверторів різної потужності наведено на рисунках 1.19, 1.20.



Рисунки 1.19, 1.20 – Приклади конструкції інверторів сонячної електростанції

1.6. Сонячна інсоляція

Сонячна інсоляція – це кількість сонячної радіації, що поступає на 1 м.кв. поверхні, розташованої перпендикулярно до сонячних променів, за один

світловий день.

Сонячна інсоляція, яка надходить на поверхню змінюється, оскільки залежить від декількох чинників, таких як: висота сонця, хмарність або інші природні явища, кут падіння сонячних променів (ранок, обід, вечір). Зважаючи на перераховані фактори, для отримання найбільш достовірних даних слід користуватися середніми показниками в залежності від пори року і місця розташування. Сумарна сонячна інсоляція дає можливість розрахувати, яку кількість сонячної радіації (кВт * год / м.кв * день) отримає сонячний колектор або сонячна батарея в той чи інший місяць року.

Для оцінки рівня інсоляції використані супутникові дані NASA в період з 1985 по 2005 роки (рис. 1.21).



Рисунок 1.21 – Рівні сонячної інсоляції в Україні

Дані про сонячну інсоляцію по регіонах дозволяють оцінити продуктивність сонячного колектора і сонячних батарей.

Для кожного міста України інсоляція різна і залежить від регіону та пори року. На карті позначено кількість сонячної енергії яке падає сумарно за рік на горизонтальну поверхню площею 1 кв.м. Поверхня має нахил в сторону екватора під кутом, який дорівнює географічній широті місця, де проводились заміри.

Цифра в кожній області на карті передбачає вимір інсоляції у відповідному обласному центрі.

Або ж дані по місяцях згідно даних NASA за останні 20 років (Таблиця 1.1):

| місто | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Рік |
|-----------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| Симферополь | 1,27 | 2,06 | 3,05 | 4,3 | 5,44 | 5,84 | 6,2 | 5,34 | 4,07 | 2,67 | 1,55 | 1,07 | 3,58 |
| Винница | 1,07 | 1,89 | 2,94 | 3,92 | 5,19 | 5,3 | 5,16 | 4,68 | 3,21 | 1,97 | 1,1 | 0,9 | 3,11 |
| Луцк | 1,02 | 1,77 | 2,83 | 3,91 | 5,05 | 5,08 | 4,94 | 4,55 | 3,01 | 1,83 | 1,05 | 0,79 | 2,99 |
| Днепропетровск | 1,21 | 1,99 | 2,98 | 4,05 | 5,55 | 5,57 | 5,7 | 5,08 | 3,66 | 2,27 | 1,2 | 0,96 | 3,36 |
| Донецк | 1,21 | 1,99 | 2,94 | 4,04 | 5,48 | 5,55 | 5,66 | 5,09 | 3,67 | 2,24 | 1,23 | 0,96 | 3,34 |
| Житомир | 1,01 | 1,82 | 2,87 | 3,88 | 5,16 | 5,19 | 5,04 | 4,66 | 3,06 | 1,87 | 1,04 | 0,83 | 3,04 |
| Ужгород | 1,13 | 1,91 | 3,01 | 4,03 | 5,01 | 5,31 | 5,25 | 4,82 | 3,33 | 2,02 | 1,19 | 0,88 | 3,16 |
| Запорожье | 1,21 | 2 | 2,91 | 4,2 | 5,62 | 5,72 | 5,88 | 5,18 | 3,87 | 2,44 | 1,25 | 0,95 | 3,44 |
| Ивано-Франковск | 1,19 | 1,93 | 2,84 | 3,68 | 4,54 | 4,75 | 4,76 | 4,4 | 3,06 | 2 | 1,2 | 0,94 | 2,94 |
| Київ | 1,07 | 1,87 | 2,95 | 3,96 | 5,25 | 5,22 | 5,25 | 4,67 | 3,12 | 1,94 | 1,02 | 0,86 | 3,1 |
| Кировоград | 1,2 | 1,95 | 2,96 | 4,07 | 5,47 | 5,49 | 5,57 | 4,92 | 3,57 | 2,24 | 1,14 | 0,96 | 3,3 |
| Луганск | 1,23 | 2,06 | 3,05 | 4,05 | 5,46 | 5,57 | 5,65 | 4,99 | 3,62 | 2,23 | 1,26 | 0,93 | 3,34 |
| Львов | 1,08 | 1,83 | 2,82 | 3,78 | 4,67 | 4,83 | 4,83 | 4,45 | 3 | 1,85 | 1,06 | 0,83 | 2,92 |
| Николаев | 1,25 | 2,1 | 3,07 | 4,38 | 5,65 | 5,85 | 6,03 | 5,34 | 3,93 | 2,52 | 1,36 | 1,04 | 3,55 |
| Одесса | 1,25 | 2,11 | 3,08 | 4,38 | 5,65 | 5,85 | 6,04 | 5,33 | 3,93 | 2,52 | 1,36 | 1,04 | 3,55 |
| Полтава | 1,18 | 1,96 | 3,05 | 4 | 5,4 | 5,44 | 5,51 | 4,87 | 3,42 | 2,11 | 1,15 | 0,91 | 3,25 |
| Ровно | 1,01 | 1,81 | 2,83 | 3,87 | 5,08 | 5,17 | 4,98 | 4,58 | 3,02 | 1,87 | 1,04 | 0,81 | 3,01 |
| Сумы | 1,13 | 1,93 | 3,05 | 3,98 | 5,27 | 5,32 | 5,38 | 4,67 | 3,19 | 1,98 | 1,1 | 0,86 | 3,16 |
| Тернополь | 1,09 | 1,86 | 2,85 | 3,85 | 4,84 | 5 | 4,93 | 4,51 | 3,08 | 1,91 | 1,09 | 0,85 | 2,99 |
| Харьков | 1,19 | 2,02 | 3,05 | 3,92 | 5,38 | 5,46 | 5,56 | 4,88 | 3,49 | 2,1 | 1,19 | 0,9 | 3,26 |
| Херсон | 1,3 | 2,13 | 3,08 | 4,36 | 5,68 | 5,76 | 6 | 5,29 | 4 | 2,57 | 1,36 | 1,04 | 3,55 |
| Хмельницкий | 1,09 | 1,86 | 2,87 | 3,85 | 5,08 | 5,21 | 5,04 | 4,58 | 3,14 | 1,98 | 1,1 | 0,87 | 3,06 |
| Черкасы | 1,15 | 1,91 | 2,94 | 3,99 | 5,44 | 5,46 | 5,54 | 4,87 | 3,4 | 2,13 | 1,09 | 0,91 | 3,24 |
| Чернигов | 0,99 | 1,8 | 2,92 | 3,96 | 5,17 | 5,19 | 5,12 | 4,54 | 3 | 1,86 | 0,98 | 0,75 | 3,03 |
| Черновцы | 1,19 | 1,93 | 2,84 | 3,68 | 4,54 | 4,75 | 4,76 | 4,4 | 3,06 | 2 | 1,2 | 0,94 | 2,94 |

Таблиця 1.1 - Таблиця сонячної інсоляції по містах України.

За допомогою такої таблиці можна дуже просто оцінити продуктивність, наприклад, сонячного колектора на 2 м.кв. в липні, встановленого в місті Луцьк .Вироблення = 2 м.кв. • 31 днів • 4,94 кВт•год / м.кв / день = 306,28 кВт•год - середня кількість сонячної енергії, яку отримає наш колектор.

Сонячна інсоляція важлива для будь-якої сонячної електростанції, як для автономної, так і для мережевої, оскільки саме від неї залежить вироблення всіх встановлених сонячних батарей і ефективна робота всього комплексу обладнання СЕС.

1.7. Сонячні колектори

Сонячна енергетика є актуальним напрямом дослідження в галузі теплопостачання. У паливно-енергетичній сфері перспективними є розробки установок, які перетворюють енергію Сонця на теплову чи електричну. Інноваційним є рішення інтегрувати ці установки в зовнішні огороження. Сьогодні під час будівництва архітектурних ансамблів світова спільнота надає перевагу сучасним, надлегким, вишуканим, прозорим скляним фасадам. Зважаючи на цю модну тенденцію, доцільно шукати нові альтернативні технологічні підходи, які дадуть змогу поєднати установку сонячного електро- та теплопостачання із конструкцією скляного фасаду.

Колектори – це генератори теплоти, які багато в чому відрізняються від традиційних джерел. Найбільша відмінність полягає в тому, що джерелом енергії для отримання теплоти є не традиційне паливо, а сонячне випромінювання.



Рис 1.22. Вакуумний сонячний колектор

Успішна робота сонячної установки залежить не тільки від колекторів, а й від раціонального використання всіх компонентів, що є в системі. Тому для ефективного використання колекторів розглянемо основні характеристики та критерії оцінки.

Почнемо з коефіцієнта корисної дії (ККД).

ККД сонячного колектора називається частка сонячного випромінювання, що потрапляє на площу апертури колектора, яка перетворюється на корисну теплову енергію.

Площею апертури називається поверхня колектора, яку ефективно діє сонячне випромінювання. Коефіцієнт корисної дії залежить також від робочого стану колектора. Частина сонячного випромінювання, що потрапляє на сонячний колектор, втрачається внаслідок відбиття та поглинання на прозорому покритті та внаслідок відбиття на абсорбері. Щодо інтенсивності сонячного випромінювання,

що потрапляє на колектор та потужності випромінювання, перетворюється на тепло на абсорбері, можна розрахувати оптичний коефіцієнт корисної дії (η_0).

Тепловтрати розраховуються за допомогою коефіцієнтів теплових втрат k_1 і k_2 та різниці температур ΔT між абсорбером та навколишнім середовищем. Всі ці характеристики вказуються у технічному паспорті на колектор.

Таким чином, коефіцієнт корисної дії колектора:

$$\eta = \eta_0 - (k_1 \cdot \Delta T) / E_G - (k_2 \cdot \Delta T^2) / E_G.$$

Відповідно до цих характеристик і значення інтенсивності сонячного випромінювання E_G , можна відобразити коефіцієнт корисної дії у вигляді графіка (рис. 1.23).

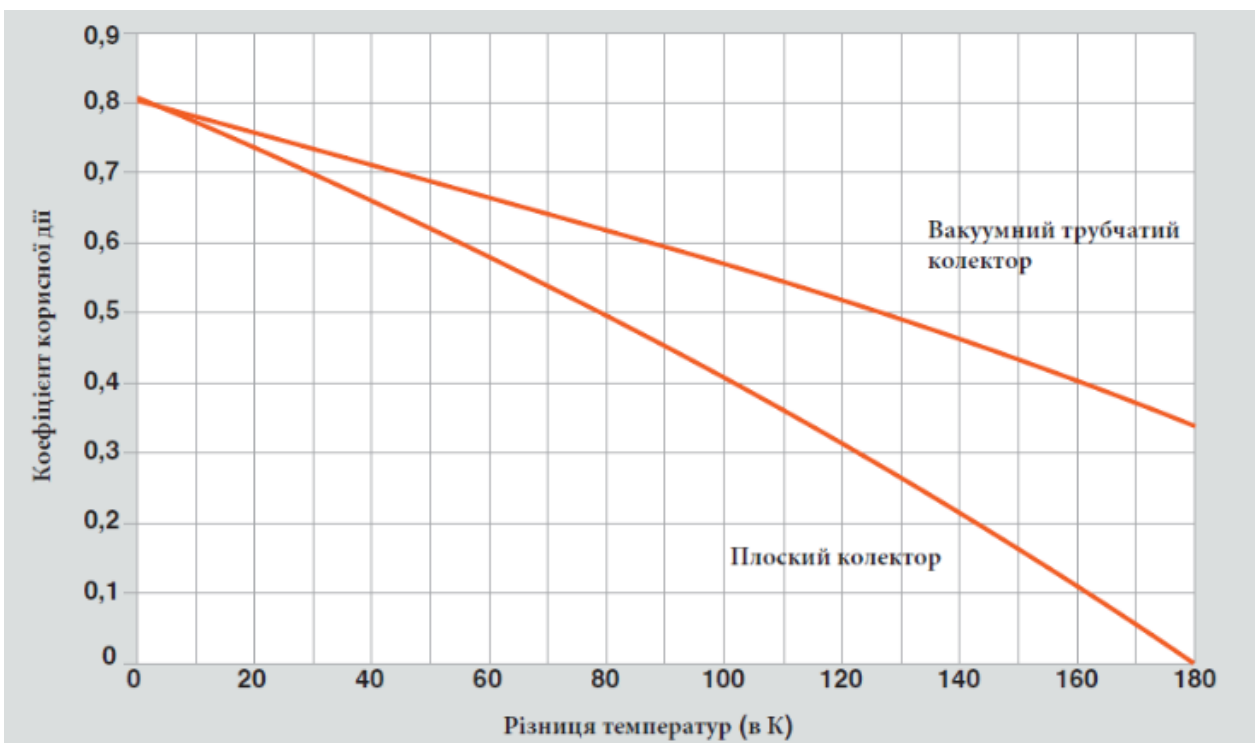


Рис. 1.23. Залежність ККД колектора від різниці температур.

Максимальний ККД досягається в тому випадку, якщо різниця температур колектора та температури навколишнього середовища дорівнює нулю і колектор не має теплових втрат у навколишнє середовище.

Температура стагнації. Якщо відбір теплоти від колектора припиняється (не циркулює теплоносій, насос не працює), то колектор нагрівається до так званої температури стагнації. У цьому випадку теплові втрати дорівнюють випромінюванню, продуктивність колектора дорівнює нулю. Плоскі колектори досягають температури стагнації при температурі вище 200°C , а трубчасті вакуумні - близько 300°C .

Потужність сонячного колектора.

Максимальна потужність колектора визначається як добуток оптичного коефіцієнта корисної дії η_0 та максимального значення падаючого випромінювання 1000 Вт/м^2 .

Розрахункова потужність визначається проектування сонячної системи. Вона використовується для підбору обладнання, і перш за все для підбору теплообмінника. В якості нижньої межі рекомендується питома потужність колектора – 600 Вт/м^2 – при низьких температурах, тобто в режимі експлуатації з очікувано високим ККД.

Ще трапляється поняття встановленої потужності. Вона становить 700 Вт/м^2 площі абсорберу (усереднена потужність при максимально падаючому випромінюванні).

Продуктивність сонячного колектора визначається як добуток середньої очікуваної потужності (кВт) на відповідну одиницю часу (рік). Отримане значення у кВт на рік відносять до квадратного метра площі колектора або площі апертури та набувають значення у кВт год/м². Це значення, віднесене до кількості днів, є важливим для визначення параметрів бак-акумулятора сонячної системи.

Питома продуктивність колектора на рік вказується в кВт год на м² площі і є важливою характеристикою визначення параметрів і режиму експлуатації установки. Чим вище значення, тим більше теплоти виробляється для системи теплоспоживання. Це значення особливо високе, якщо поверхня колектора оптимально орієнтована і немає затінення. Для підвищення продуктивності та експлуатаційних характеристик доцільно збільшити кут нахилу, оскільки оптимальна продуктивність має вирішальне значення для перехідного та зимового сезону. Влітку, якщо сонячна система використовується лише для нагрівання води, збільшення кута нахилу колектора дозволяє зменшити надлишок енергії. Таким чином, протягом року теплота виробляється рівномірніше і продуктивність сонячної системи виявляється вищою, ніж у разі вибору орієнтації колектора на максимальне випромінювання.

Сонячні колектори повинні мати захист від перегріву. У плоских колекторах це спеціальне покриття яке змінює свої властивості в залежності від температури. Якщо температура колектора піднімається вище за задане значення, відбувається зміна кристалічної структури, що забезпечує велику тепловіддачу. Температура колектора падає і сонячні колектори не перегріваються. У вакуумних трубчастих колекторах захист від закипання працює за допомогою саморегулюючої теплової трубки. Вона запобігає конденсації теплоносія в трубках, коли їх температура підвищується. Захист від перегріву Therm Protect працює без додаткових компонентів. Це полегшує проектування сонячних теплових систем та забезпечує безпечну роботу з сонячними колекторами. Загальна схема роботи колектора в циркуляційній системі сонячного теплопостачання зображена на рисунку 1.24

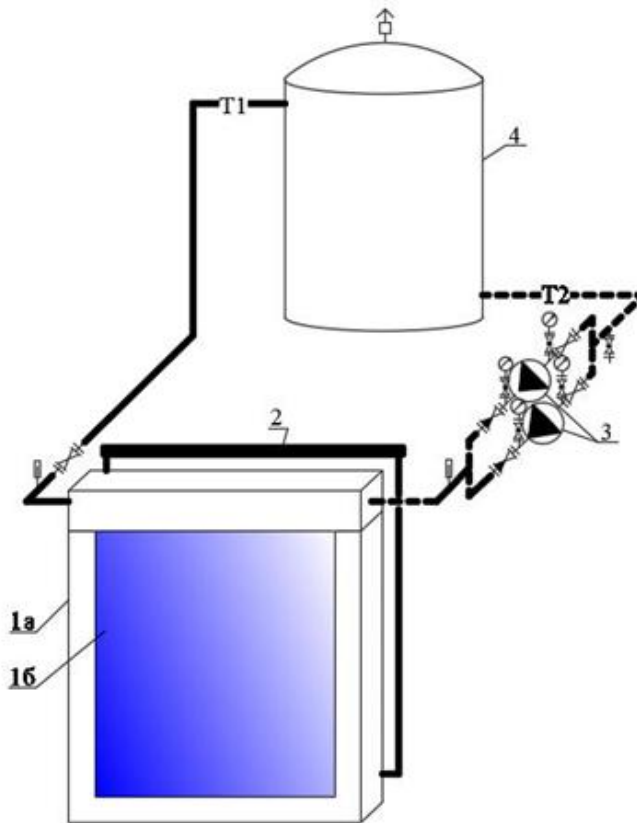


Рис. 1.24. Загальна схема роботи колектора в циркуляційній системі сонячного теплопостачання: 1а – скляний фасад із теплообмінником; 1б – активна частина сонячного колектора із фотоелементом; 2 – фотоелемент; 3 – циркуляційні насоси; 4 – ємнісний бак-акумулятор

Висновки до розділу 1

З даного розділу можна зробити висновок, що сонячна енергія це неосяжний ресурс, який людство має черпати для своїх потреб. І для того щоб перетворювати сонячне світло на електроенергію людство створило спеціальні фотоелементи, які збираються у сонячні панелі.

Також стало зрозумілим принцип роботи сонячних панелей, як вони влаштовані, які мають основні параметри, які існують різновиди. Визначено що

таке СЕС, та як вона влаштована. Що таке інсоляція, та «зелений тариф», та як вони взаємопов'язані. Вивчили сонячні колектори та їх призначення. Аналізучи матеріал розділу можна вивести розуміння як отримати з цього прибуток, та що для цього необхідно. Формування розуміння моделі прибутку СЕС.

2. ПРОЕКТУВАННЯ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ТЕПЛОЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

Проектування по модернізації ЖК слід почати з технічного завдання. Іншими словами, необхідно визначитися для яких цілей буде будуватися дана енергетична установка і як буде використовуватись. Тому перед початком проектування систем теплоелектропостачання житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів), потрібно провести кілька ключових пунктів, що описані нижче.

2.1. Потенціал житлових комплексів для модернізації сонячною енергетикою.

Модернізація енергопостачання житлового комплексу на базі сонячної енергетики - це важливий крок у напрямку сталого розвитку та зменшення залежності від традиційних джерел енергії. Цей процес може бути вигідним як для жителів, так і для власників житлового комплексу з погляду зниження витрат на електроенергію та зменшення впливу на довкілля.

У густо населених містах зазвичай немає вільного місця для встановлення стаціонарних сонячних електростанцій, але так здається лише на перший погляд. Насправді навіть у густонаселеному місті можна знайти достатньо місця для встановлення сонячних батарей. Такими місцями можуть бути автомобільні стоянки, яким сонячні промені непотрібні або навіть шкідливі, дахи торгових центрів та інших споруд. Дуже велику площу у місті займають дороги загального призначення, і такі площі дають нам великий потенціал для розвитку сонячної енергетики у місті. Також варто згадати про житлові комплекси, які теж мають високий потенціал щодо його модернізації на основі сонячної енергії. Зазвичай

дахи цих будинків вільні і мають великі площі. Такі площі також цікаві тим, що у більшості випадків мають рівну площину (не похилу), що дає змогу розмістити сонячні панелі у найвигіднішій позиції. Знаходяться на великій висоті, що дозволяє уникнути затінених участків та зменшить фактор забруднення. Усі ці фактори вказують на те, що навіть у густонаселеному місті можна розвивати сонячну енергетику.

2.2. Визначення доступної площі для встановлення сонячних панелей та колекторів.

На початковому етапі проектування модернізації системи теплоелектропостачання житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів) потрібно визначитись з місцем встановлення сонячної електростанції. Зазвичай дах багатоквартирного будинку виглядає так, як зображено на рисунках 2.1 та 2.2. На об'єкт направляється спеціаліст відповідної кваліфікації, який досліджує територію та визначає місця де може бути встановлена сонячна електростанція. Якщо це дах будинку то визначити його розміщення, конструкцію та відповідну міцність. Якщо міцності недостатньо то необхідно буде провести монтажні роботи по зміцненню даху. Також, на цьому етапі необхідно визначитись зі сторонами світу куди мають бути направлені сонячні панелі, кутами нахилу, а також з можливими затіненнями як від сторонніх об'єктів (інші будинки, дерева) так і від сусідніх сонячних панелей. Розрахувати ефективну площу під сонячні панелі з урахуванням усіх факторів.



Рисунки 2.1, 2.2. Дах багатоквартирного будинку

2.3. Проведення енергетичного аудиту житлового комплексу.

Енергетичний аудит включає в себе аналіз енергоспоживання та ефективності енергетичних систем у будівлі. Його метою є виявлення можливостей зменшення енерговитрат і підвищення загальної сталості будинку. Основні етапи енергетичного аудиту в багатоквартирному будинку включають:

- Збір даних про будівельну конструкцію, технічне обладнання та системи енергопостачання.
- Аналіз історії енергоспоживання та витрат для кожного елемента будинку.
- Оцінка тепловтрат через стіни, дах, вікна та інші будівельні елементи.
- Оцінка ефективності ізоляції та можливості покращення теплового комфорту.
- Ефективність опалювальної системи та кондиціонування.
- Визначити типи ламп та освітлювальні технології, що використовуються.
- Розглянути можливості для встановлення енергоефективного освітлення.
- Перевірити ефективність систем вентиляції та можливості їх оптимізації.
- Визначити можливості встановлення енергоефективних насосів та систем водопостачання.
- Підготувати звіт з результатами аудиту та визначити пріоритетні заходи для покращення енергоефективності.
- Розробити план дій і рекомендації для впровадження змін.
- Оцінити вартість впровадження рекомендацій та розрахувати потенційні економії енергії.

Енергетичний аудит дозволяє ідентифікувати слабкі місця в енергоспоживанні та забезпечити підставу для розробки ефективних стратегій енергозбереження.

2.4. Розробка проєкту сонячної електростанції для житлового комплексу

Проектування сонячної електростанції на даху багатоквартирного будинку є складним завданням, яке вимагає ретельного розрахунку, врахування технічних та економічних аспектів. Після визначення доступної площі на даху для встановлення сонячних батарей та колекторів та отримання результатів

енергоаудиту для проектування сонячної станції необхідно зробити наступні основні кроки:

- Вибрати високоефективні сонячні панелі, враховуючи їх потужність, розміри та технічні характеристики та за необхідності сонячні колектори.
- Розглянути можливість використання гнучких або інтегрованих у покрівлю панелей для полегшення естетичної інтеграції.
- Врахувати розміри та ефективність вибраних сонячних батарей для розрахунку необхідної потужності системи.
- Обчислити кількість батарей та колекторів, необхідних для задоволення енергетичних потреб будинку.
- Визначити оптимальний кут нахилу та орієнтацію панелей для максимізації збору сонячної енергії.
- Розглянути питання можливості змінювати кут нахилу панелей та колекторів в процесі роботи.
- Розробити систему монтажу, щоб забезпечити безпеку та стійкість панелей на даху.
- Вибрати відповідний інвертор для конвертації зібраної енергії в електроенергію.
- Розглянути можливість встановлення системи зберігання енергії (акумуляторів) для використання в нічний час або в умовах недостатку сонячної активності.
- Розрахунок об'єму акумуляторів гарячої води (бойлерів) та проект їх монтажу

- Переконалися, що проект відповідає всім безпековим та нормативним вимогам.
- Отримати всі необхідні дозволи та ліцензії для встановлення сонячної станції.
- Забезпечте встановлення сонячних батарей відповідно до розробленого проекту.
- Оцінити вартість встановлення та обслуговування енергетичної сонячної установки та її окупність.
- Забезпечити систематичний моніторинг роботи сонячної станції для визначення її ефективності та вчасного виявлення можливих проблем.

Висновки по розділу 2

У цьому розділі був проведений детальний аналіз, щодо модернізації систем теплоелектропостачання житлових комплексів на базі сонячних батарей. Детально були описані усі етапи проектування сонячної електростанції на даху багатоквартирного будинку. Описано метод розрахунку площі під сонячну електростанцію, або у зворотньому порядку, визначення потужності СЕС від визначеної площі . Було описано етапи проведення енергоаудиту, обрахунок енерговитрат житлового комплексу у розрізі енергоспоживачів. Для будівництва сонячної електростанції були описані комплектуючі та їх характеристики.

3. МОДЕРНІЗАЦІЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ (КОЛЕКТОРІВ) НА ПРИКЛАДІ БАГАТОКВАРТИРНОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ

3.1. Проектування сонячної електростанції на даху будинку

Для більшого розуміння потреби модернізації систем теплоелектропостачання житлового комплексу на базі сонячних батарей (колекторів) проведемо розрахунки на прикладі умовного багатоквартирного житлового будинку, який має 5 поверхів, 4 підізди та містить 40 квартир з загальною площею даху 900 м. квадратних.

Розпочнемо роботу з аналізу території житлового комплексу на предмет того де можна встановити сонячну електростанцію та колектори. Наша умовна сонячна станція буде розміщуватись на даху будівлі. Отже необхідно проаналізувати його розміщення, конструкцію та міцність.

Визначаємо вільну площу для розміщення сонячних панелей з урахуванням можливого затінення як від сторонніх об'єктів так і від сусідніх сонячних панелей. У нашому прикладі така площа складає 590 м. кв.

Якщо з місцем встановлення сонячної станції визначились то наступним етапом необхідно провести енергоаудит об'єкта.

За результатами енергоаудиту необхідно визначити середньмісячні та середньорічні енергетичні потреби будинку. Визначити джерела та види енергії якою користується будинок, та інші пункти енергоаудиту, що були описані в даній роботі вище. Особливу увагу потрібно звернути на теплоізоляцію будинку. Модернізація будинку в першу чергу передбачає ефективне використання енергії та її зберігання і без належної теплоізоляції тут не обійтись. Теплоізоляція це окрема велика тема і в даній роботі розглядатися не буде.

Отже за результати енергоаудиту було умовно отримано наступну інформацію:

- Кількість квартир у будинку – 40
- Будинок має власну газову котельню для опалення та для гарячого водопостачання.
- Котел опалення двухконтурний, гріє воду для опалення і для гарячого водопостачання.
- На котлі є лічильник газу, м куб, Лічильник тепла на опалення Гкал, лічильник тепла на гарячу воду Гкал.
- Кухонні плити для приготування їжі газові.
- Трансформаторна підстанція на 10КВ знаходиться у дворі будинку. Заведено у кожній підїзд трьохфазний кабель. Квартири заживлені однофазою напругою.

За результати енергоаудито встановлено, що за сезон опалення будинком витрачається 380Гкал. А на гаряче водопостачання 120 Гкал. Оскільки опалення та гаряче водопостачання отримується від спалювання природнього газу, то енергія обраховується у гікакалоріях (Гкал). Для зручності обрахунків переведемо вказані величини у більш зручніші КВт.год.

$$1 \text{ Гкал} = 4,1841 \text{ ГДж} = 1163 \text{ КВт.год}$$

$$\text{На опалення (за сезон)} 380 \text{ Гкал} = 441\ 940 \text{ КВт.год}$$

$$\text{На гаряче водопостачання} 120 \text{ Гкал} = 139\ 560 \text{ КВт.год}$$

Всього за рік будинок споживає **744370** КВт.год енергії

В.т.ч. електроенергії **162870** КВт.год

Потреби будинку у енергоспоживанні наведено у таблиці 3.1

| Енергетичні потреби будинку за результати енергоаудиту | | |
|---|----------------------------|----------------|
| Найменування | Середні витрати кВт | |
| | кВт/міс | кВт/рік |
| Потреби в електроенергії жителів будинку | 12000 | 144000 |
| Загальнобудинкові потреби електроенергії | 1573 | 18870 |
| <i>в т.ч. Водяний насос ХВ. 400В 5кВт</i> | 292 | 3500 |
| <i>в т.ч. Водяний насос ГВ. 400В 5кВт</i> | 292 | 3500 |
| <i>в т.ч. Водяний насос опалення. 400В 5кВт</i> | 167 | 2000 |
| <i>в т.ч. Двигуни ліфтів. 4 шт x 7,5кВт</i> | 125 | 1500 |
| <i>в т.ч. Освітлення території (10 фонарів по 300Вт)</i> | 548 | 6570 |
| <i>в т.ч. Інші енергоприймачі</i> | 150 | 1800 |
| Всього потреби у електроенергії | 13573 | 162870 |
| Інші види палива | | |
| Витрати на опалення (газ) | 36828 | 441940 |
| Витрати на гаряче водопостачання (газ) | 11630 | 139560 |
| Всього | 62031 | 744370 |

Таблиця 3.1

Маючи результати енергоаудиту та знаючи доступну площу під сонячну електростанцію ми можемо порахувати доступну енергію сонця та порівняти її з енергетичними потребами будинку.

На наступному етапі необхідно порахувати доступну потужність сонячної батареї відповідно до площі місця її встановлення. Площа даху умовного житлового будинку з нашого прикладу становить 900 м. квадратних. Дах має рівну площину, що дає змогу встановити сонячні панелі у вигідному положенні.

На площі даху присутні монтажні споруди і тому не усю площу можна використати під наші цілі. Доступна площа, яку можна використати під сонячну станцію складає **590** м. квадратних.

Наступним етапом нам необхідно розрахувати кількість сонячної радіації (інсоляція) для визначеної місцевості.

Сонячна інсоляція – це кількість сонячної радіації, що поступає на 1 м. кв. поверхні, що знаходиться перпендикулярно до сонячних променів за один світловий день.

Сумарна сонячна інсоляція дає можливість розрахувати, яку кількість сонячної радіації (кВт * год / м² * день) отримає сонячна електростанція в той чи інший місяць року.

Дані про сонячну інсоляцію по регіонах дозволяють оцінити продуктивність СЕС. Для кожного міста України вона різна і залежить від регіону та пори року.

Сонячна інсоляція по регіону Київ наведена в Таблиці 3.2

| місто | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | Рік |
|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-----|
| Київ | 1,07 | 1,87 | 2,95 | 3,96 | 5,25 | 5,22 | 5,25 | 4,67 | 3,12 | 1,94 | 1,02 | 0,86 | 3,1 |

Таблиця 3.2. Сонячна інсоляція по місту Київ

З таблиці бачимо, що середньорічна інсоляція за день складає **3,1 Квт.год/день**.

Отже для нашої визначеної площі даху у 590 м кв. можна визначити потенційну сонячну енергію:

Доступна енергія: $3,1 \text{ Квт.год/день} * 365 * 590 = 658\,440 \text{ КВт.год.}$

Але по факту ми не можемо використати усю доступну площу під сонячні батареї. Виключенням є тільки варіант коли дах похилий під потрібним кутом, та дивиться у потрібну сторону, тобто на південь. У нашому випадку дах плоский і сонячні панелі доведеться встановлювати на спеціальні стійки з кріпленнями під потрібним кутом та стороною світу. Рис. 3.1 та 3.2.



Рисунки 3.1 та 3.2. Кути нахилу панелей на даху будинку.

З урахуванням того, щоб оптимальний кут нахилу (для широт, в яких розташована Україна, коливається в діапазоні від 30 до 35 градусів)

забезпечував максимальний обсяг генерації, сонячні модулі необхідно розташовувати на місцевості з таким розрахунком, щоб уникнути взаємного затінення. В цьому випадку при монтуванні фотомодулів на стаціонарних (тобто без можливості надалі вручну або механічно змінювати орієнтацію і кут нахилу сонячної панелі) конструкціях, для розміщення СЕС потужністю 10 кВт потрібно площу близько 170-190 кв.м.

Отже, враховуючи вищевикладене, на наших вільних 590 м. кв можна розмістити СЕС потужністю:

$$590 \text{ м.кв.} / 180 \text{ м.кв.} * 10 \text{ кВт.год} = 32,7 \text{ кВт.год.}$$

Округлимо значення до 30 кВт.год.

Порахуємо площу зайняту під усю СЕС:

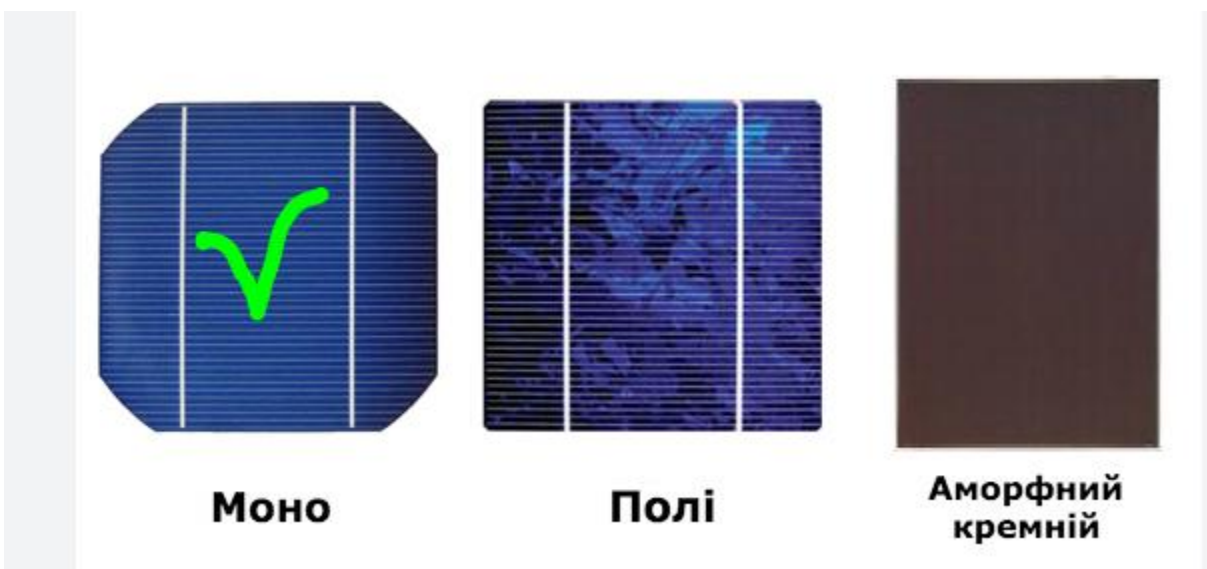
$$30/10 * 170 = 510 \text{ м. кв.}$$

Приблизно таку площу займе наша СЕС.

Площа, що залишилася вільною може бути використана під встановлення сонячних колекторів.

3.2. Підбір компонентів сонячної електростанції

Тепер настав час визначитись із типом сонячних елементів. Як вже було описано їх є велика кількість видів (Рис. 3.3-3.5), але найпопулярнішим і найсучаснішим на сьогодні монокристалічний фотоелемент, оскільки його ККД найвищий і складає 18-22% його і виберемо для нашої умовної СЕС.



Рисунки 3.3, 3.4, 3.5. Види сонячних фотоелементів.

Для нашого прикладу візьмемо популярну сонячну панель Risen Jager RSM156-6-430M. Рис. 3.6

Сонячна панель Risen Jager RSM156-6-430M



Рисунок 3.6. Сонячна панель Risen Jager RSM156-6-430M

Характеристики заявлені виробником:

Загальні дані

Виробник: Risen Energy

Модель: Risen Jager RSM156-6-430M

Тип фотомодуля: монокристал

Кількість струмознімних доріжок (bb), шт: 9

Електричні характеристики

Потужність, Вт: 430

Напруга при макс. потужності, В: 43.60

Струм при макс. потужності, А: 9.87

Струм короткого замикання, А: 10.47

Напруга холостого ходу, В: 52.38

Запас потужності, Вт: 0...5

Максимальна напруга у системі, В: 1500

ККД фотомодуля, %: 19.8

Температурні показники

Температурний коефіцієнт потужності, %/°C: -0.37

Температурний коефіцієнт напруги, %/°C: 0.05

Температурний коефіцієнт струму, %/°C: 0.29

Робоча температура, °C: -40 ...+85

Механічні характеристики

Кількість фотоелементів, шт: 156

Габарити, Д*Ш*Т, мм: 2178 x 996 x 40

Вага, кг: 25.5

Ступінь захисту фотомодуля: IP68

Із важливих характеристик нам важливі наступні:

1. Потужність панелі 430Вт.
2. Напруга при номінальному навантаженні 43,6В
3. Номінальний струм 9,87 А
4. Напруга хх 52,38В
5. Габарити, Д*Ш*Т, мм: 2178 х 996 х 40

Тепер розрахуємо кількість сонячних панелей, а також площу конструкцій яку необхідно забезпечити для встановлення цих панелей.

Кількість панелей: $30\text{Квт} / 0,43\text{Квт} = 70$ панелей.

Площа панелей: $2,178\text{м} * 0,996\text{м} * 70\text{шт} = 152$ м кв.

Панелі можна з'єднувати між собою паралельно (для збільшення струму) і послідовно (для збільшення напруги).

Як відомо для транспортування енергії вигідніше використовувати більшу напругу і менший струм. У нашому випадку ми будемо намагатися не порушувати цей принцип і поєднати панелі так щоб напруга була максимальною. Але таку напругу ми маємо погодити з інвертором який буде перетворювати цю напругу. Від його характеристик і буде залежати напруга яку ми можемо йому дати. На основі характеристик контролера (інвертора) ми і будемо з'єднувати панелі.

Тому, час визначитись з контролером (інвертором). Для того, щоб ефективно використати енергію сонячних батарей, а також для того, щоб мати можливість зібрати сонячну станцію у широкому діапазоні напруг, нам необхідно підібрати контролер з функцією відслідковування точки максимальної потужності.(MPPT).

Контроллерів з функцією MPPT теж дуже багато і для того, щоб точно визначитись з типом контроллера (інветора) нам спершу необхідно визначитись якого типу буде наша електростанція.

Як вже зазначалося раніше існує три типи електростанцій:

автономна, мережева і гібридна.

Автономна станція нам не підходить оскільки вона частіше застосовується у віддалених від електричних мереж місцях та має у своїй конструкції дорогі акумулятори.

Гібридна станція теж має акумулятори і тому ми теж від неї відмовимося. Залишається мережева електростанція.

Мережева електростанція це така, яка з'єднана з мережею. І для такої сонячної електростанції існують відповідні контроллери з величезним набором функцій.

Із основних функцій це можливість транспортувати надлишки сонячної мережі у мережу (зелений тариф). Але є також мережеві контроллери, які створені виключно для використання сонячної енергії на власні потреби. Тобто уся вироблена сонячна енергія використовується на власні потреби і не транспортується у мережу. А мережевими вони називаються тому, що якщо енергії на власні потреби використовується більше ніж може виробити СЕС то контроллер «докачує» необхідну кількість електроенергії із мережі. І в зворотньому випадку, якщо споживається енергії менше ніж виготовляє СЕС то контроллер бере енергії рівно стільки скільки треба. Якщо енергія не використовується то контроллер взагалі не бере електроенергію. Але тут є один великий негативний фактор, коли СЕС працює у «холосту», без навантаження, то сонячні панелі будуть перегріватися особливо у жарку погоду. Для вирішення цієї

проблеми у котроллера може бути передбачена функція скиду лишньої енергії на баласт. Для такого виду електростанції не потрібно отримувати додаткові дозволи у відповідних державних органах.

Для нашого прикладу ми попередньо вибираємо тип електростанції - мережева для власного споживання. Також візьмемо широкодоступний мережевий інвертор **Deye SUN-30-G03**. (Рис 3.7).

Deye SUN-30-G03 є потужним мережевим інвертором з номінальною потужністю 30 кВт, розробленим для надання постійного живлення сонячними панелями. Цей надійний і продуктивний інвертор є ідеальним рішенням для великих сонячних електростанцій та підприємств, які мають високі вимоги до надійності та продуктивності. Deye SUN-30-G03 відомий своєю високою якістю серед мережевих інверторів на ринку, а його призначення - це використання енергії для власного споживання та експорту надлишків електроенергії по Зеленому тарифі.

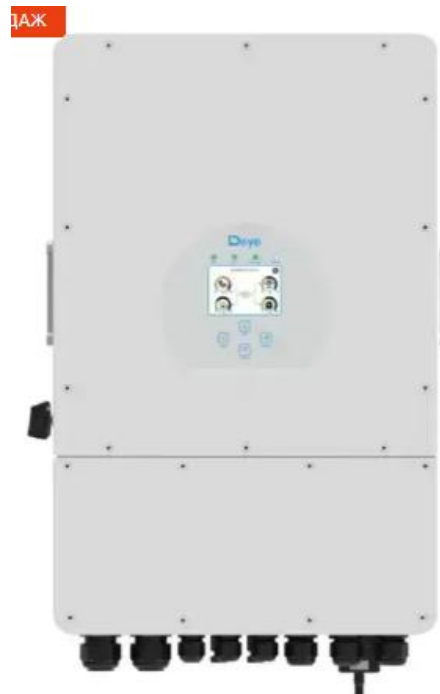


Рисунок 3.7. Мережевий інвертор 30кВт Deye SUN-30-G03

Характеристики

| | |
|--|------------------|
| Артикул | deye30k |
| Наявність | В наявності |
| Розділ | Інвертори Deye |
| Бренд | Deye |
| Стан товару | Новий |
| Захист від перевантажень | Так |
| Захист від перегріву | Так |
| Номінальна потужність (Вт) | 30000 |
| Мінімальна робоча температура навколишнього середовища (град.) | -25 |
| Ступінь захисту IP | 65 |
| Число фаз живлення | 3 |
| ККД, не менше (%) | 99 |
| Форма вихідного струму | Чистая синусоида |
| Довжина | 215 |

Deye SUN-30-G03 забезпечує стабільне живлення підключених пристроїв завдяки високій ефективності та точності регулювання напруги та частоти. Інвертор має високий коефіцієнт перетворення енергії - 98.7%, що дозволяє максимально використовувати енергію сонячних панелей. Мережевий інвертор оснащений 2 ефективними MPPT трекерами для роботи в діапазоні від 200 до 850 В, зі струмом на MPPT трекері 40 А. Deye відрізняється високою надійністю та стійкістю в різних умовах експлуатації. Інвертор має захист від перевантаження, короткого замикання та перенапруги. Крім того, Deye SUN-30-G03 має високий

рівень захисту від пилу та вологи, що дозволяє використовувати його в будь-яких умовах.

Максимальна потужність підключення сонячного масиву становить 30 кВт. Інвертор працює в трьох фазній мережі з можливістю паралельного з'єднання та розширення загальної системи. Управління та моніторинг інвертора можна здійснювати за допомогою програмного забезпечення або мобільного додатку, що дозволяє віддалено контролювати та керувати його роботою. Крім того, Deue SUN-30-G03 має можливість зберігання та відновлення налаштувань для швидкого налаштування після відновлення роботи інвертора. Стандартна схема підключення інвертора зображенв на рис. 3.8.

Схема роботи:



Рисунок 3.8. Підключення інвертора у схемі сонячної електростанції.

Із важливих характеристик інвертора ми можемо виділити наступні:

Номінальна потужність 30 кВт.

Напруга в діапазоні від 200 до 850В.

Саме по вхідній напрузі ми і будемо проектувати сонячну станцію.

У нас є широкий діапазон вхідних напруг від 200 до 850В. Тут не варто прив'язуватись до найнижчої чи найвищої границі, так як у випадку нештатної ситуації напруга може вийти за межі вказаного діапазону. При з'єднанні панелей на нижню межу 200В напруга може просісти, наприклад при затіненні і контроллер вже не буде працювати коректно. Якщо ми з'єднаємо панелі на напругу близькою до 850В, то у випадку обриву навантаження напруга може підскочити на дельту холостого ходу і вийти за межі максимуму. Контроллер може взагалі вийти з ладу чи навіть створити пожежну ситуацію. Тоді залишиться надія лише на те, що у контроллері передбачені такі випадки.

То на яку ж напругу нам змонтувати сонячні панелі?

Тут нам вже краще дивитися на те скільки у нас сонячних панелей і як вони розміщуються. У нас у розрахунку 70 панелей. Розміщуватись на даху вони будуть рядами по 10 панелей у ряду. Чому по 10? Бо 70 добре ділиться на 10. Можна було б і по 12, але тоді потрібно щоб було на 2 панелі більше, тобто 72. Отже з'єднуємо панелі послідовно по 10 штук 7 рядів паралельно. Рис. 3.9.

Тут ще важливо звернути увагу на те, що візуально панелі панелі можуть і не бути в рядах саме по 10 штук, але з'єднувати їх потрібно саме так. І варто не забувати про фактор самозатінення.

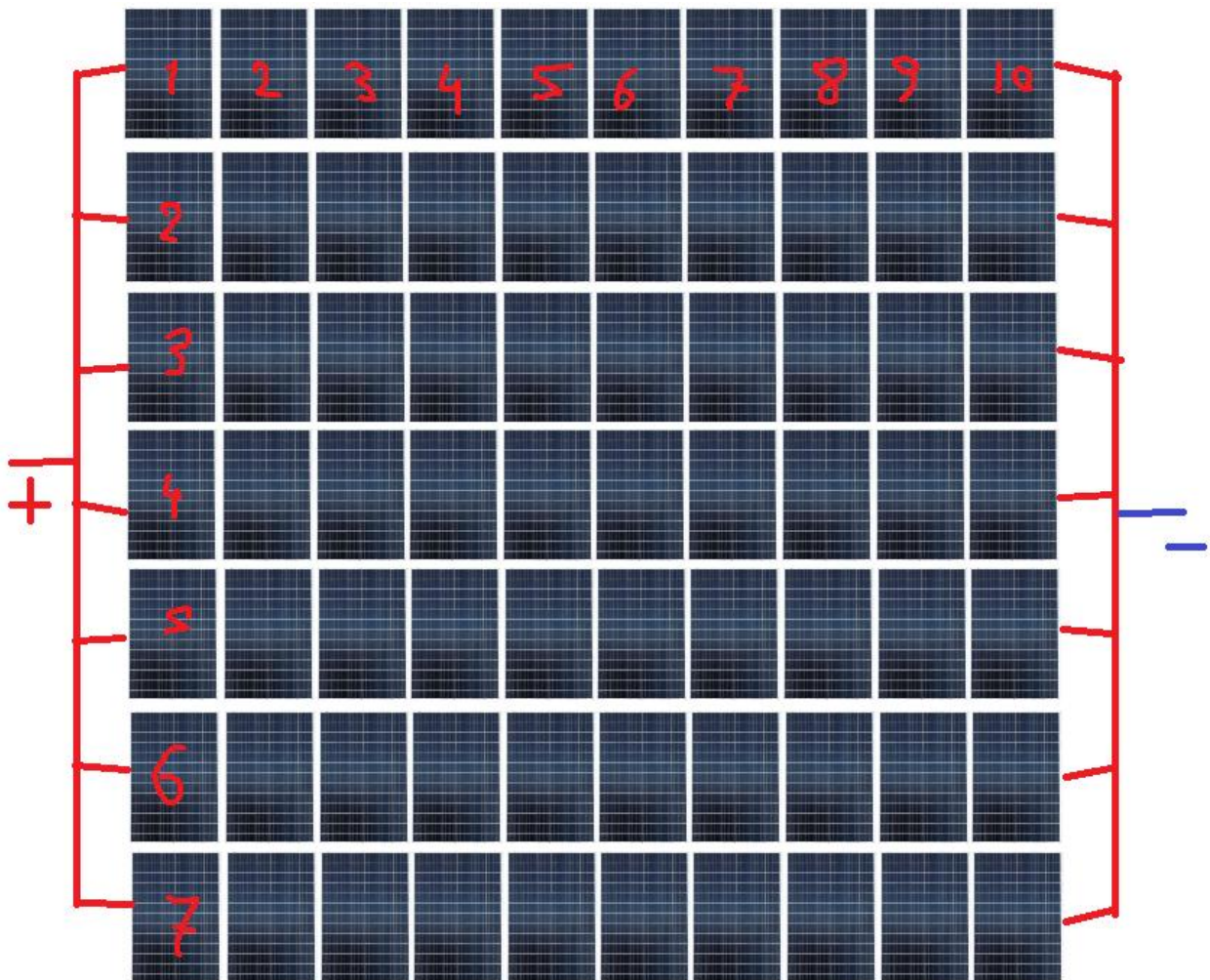


Рисунок 3.9. Схема зеднання сонячних панелей.

В результаті такого зеднання ми ортимасемо такі характеристики:

Потужність: $70 \times 430 = 30,1$ КВт.

Номінальна напруга: $43,6 \times 10 = 436$ В.

Напруга хх: $52,38 \times 10 = 523,8$ В.

Номінальний струм: $9,87 \times 7 = 69,1$ А.

Струм КЗ: $10,47 \times 7 = 73,3$ А.

Наступним нашим етапом розрахунків буде визначення продуктивності нашої сонячної електростанції. Для цього необхідно зробити наступне:

Беремо із таблиці В2 (інсоляція по містам) середню річну кількість сонячної радіації за день для нашого регіону.

Для регіону Києва вона складає **3,1** КВт. год / день.

Площа, яку займають наші сонячні панелі:

$$2,17 \text{ м.кв} \times 70 = 151,9 \text{ м. кв.}$$

ККД сонячних панелей **19,8%**

Продуктивність одного метра квадратного сонячної електростанції за один день дорівнює:

$$3,1 \text{ КВт.год./день/ м кв.} \times 19,8\% = \mathbf{0,614 \text{ КВт.год/день/м кв.}}$$

Продуктивність усієї електростанції один день дорівнює:

$$\mathbf{0,614 \text{ КВт.год/день/м кв.}} \times 151,9 \text{ м кв} = \mathbf{93,24 \text{ КВт.год/день}}$$

Продуктивність усієї електростанції за рік дорівнює:

$$\mathbf{93,24 \text{ КВт.год/день}} \times 365 = \mathbf{34 \text{ 096 КВт.год}}$$

Отже, очікувана продуктивність нашої сонячної електростанції складає **34 096 КВт.год.** Але тут також є свої нюанси. Річ у тому, що зазначена продуктивність сонячної електростанції буде лише у тому випадку, якщо сонячні промені будуть падати на сонячну панель під прямим кутом. Такого результату можна досягти лише встановивши сонячний трекер, який буде відслідковувати положення сонця та повертати сонячні панелі. Але на практиці не завжди доцільно і не завжди є можливість встановлювати трекер. Трекер значно збільшує вартість сонячної електростанції та потребує обслуговування. Часто економічно-доцільніше замість встановлення трекера придбати додаткові сонячні панелі.

У нашому прикладі конструкція монтажу сонячних панелей побудована так, щоб можна було в ручному режимі регулювати кут нахилу.

Планується змінювати кут нахилу чотири рази на рік (Рис. 3.10):

У зимку – 70 Градусів,

Весна осінь – 50 Градусів,

Літо – 30 Градусів.



Рисунок 3.10. Кут нахилу в різну пору року.

Але незважаючи на те, що ми можемо регулювати кут нахилу, наші панелі усеодно недоотримують частину сонячної енергії у зв'язку з відсутністю можливості повертатися за сонцем протягом дня. За даними різних джерел такі втрати можуть становити щонайменше 12%.

Отже проведемо коригування продуктивності нашої сонячної електростанції на вищевказаний коефіцієнт втрат:

Недоотримана енергія = **34 096** КВт.год. x 12% = 4091 КВт. год.

Очікувана продуктивність = 34 096 КВт.год - 4091 КВт.год = **30 004** КВт.год

Цієї кількості енергії звісно недостатньо, щоб покрити енерговитрати будинку повністю. Але можна покрити їх частково.

3.3. Аналіз ефективності та окупність проекту

Повернемося до таблиці енергоаудиту та додамо графу СЕС. Таблиця 3.3

| Енергетичні потреби будинку за результатами енергоаудиту | | | |
|--|------------------------|---------------|-------------------|
| Найменування | Середні витрати кВт | | СЕС |
| | кВт/міс | кВт/рік | кВт/рік |
| Потреби в електроенергії жителів будинку | 12000 | 144000 | - 11134 |
| Загальнобудинкові потреби електроенергії | 1573 | 18870 | - 18870 |
| <i>в т.ч. Водяний насос ХВ. 400В 5КВт</i> | 292 | 3500 | |
| <i>в т.ч. Водяний насос ГВ. 400В 5КВт</i> | 292 | 3500 | |
| <i>в т.ч. Водяний насос опалення. 400В 5КВт</i> | 167 | 2000 | |
| <i>в т.ч. Двигуни ліфтів. 4 шт x 7,5КВт</i> | 125 | 1500 | |
| <i>в т.ч. Освітлення території (10 фонарів по 300Вт)</i> | 548 | 6570 | |
| <i>в т.ч. Інші енергоприймачі</i> | 150 | 1800 | |
| Всього потреби у електроенергії | 13573 | 162870 | - 30004 |
| Інші види палива | | | |
| Витрати на опалення (газ) | 36828 | 441940 | |
| Витрати на гаряче водопостачання (газ) | 11630 | 139560 | |
| Всього | 62031 | 744370 | - 30004 |
| | | | |

Таблиця 3.3. Результати енергоаудиту.

Як бачимо із таблиці лівова доля потреб енергії припадає на опалення та гаряче водопостачання, і для цього використовується енергія газу.

Що стосується потреб електроенергії то її частка значно менше і становить 162870 КВт.год. Наша сонячна електростанція може компенсувати витрати електроенергії на кількість 30 004 КВт.год, що становить майже 20%.

Але ми ще незгадали про один важливий нюанс. Робота СЕС нерівномірна, вона ефективно працює тільки в сонячні дні. Найбільша ефективність припадає на весняно-літній період часу. Найнижча ефективність у зимовий період, коли відсутнє Сонце. Для наглядності приведемо таблицю сонячної активності для регіону Київ по місяцях.

| Дані по регіону Київ по місяцях ср. за день. | | |
|---|------------------------|--------------------|
| Місяць | Ср/КВт.год/день | У відсотках |
| Січень | 1,07 | 2,9% |
| Лютий | 1,87 | 5,0% |
| Березень | 2,95 | 7,9% |
| Квітень | 3,96 | 10,7% |
| Травень | 5,25 | 14,1% |
| Червень | 5,22 | 14,0% |
| Липень | 5,25 | 14,1% |
| Серпень | 4,67 | 12,6% |
| Вересень | 3,12 | 8,4% |
| Жовтень | 1,94 | 5,2% |
| Листопад | 1,02 | 2,7% |
| Грудень | 0,86 | 2,3% |
| Рік | 3,1 | 100% |

Таблиця 3.4

Також покажемо по місяцях очікувану продуктивність нашої СЕС з урахуванням ККД 19,8% і площею 151,9 м.кв. .Табл 3.5

| Очікувана продуктивність СЕС 151,9 м2 по міс. КВт год. | | | | | | | |
|--|---------------------------|-------------|--------------|------|--------------------------|---------------|---------------------------|
| Місяць | Інсоляція КВт.год/день | У відсотках | ККД 19,8% | Днів | Без втрат КВт.год/міс | Втрати 12% | З втратами КВт.год/міс |
| Січень | 1,07 | 2,9% | 0,211 | 31 | 997,6 | -120 | 877,9 |
| Лютий | 1,87 | 5,0% | 0,370 | 28 | 1574,8 | -189 | 1385,8 |
| Березень | 2,95 | 7,9% | 0,581 | 31 | 2750,5 | -330 | 2420,4 |
| Квітень | 3,96 | 10,7% | 0,784 | 30 | 3573,1 | -429 | 3144,3 |
| Травень | 5,25 | 14,1% | 1,035 | 31 | 4894,9 | -587 | 4307,5 |
| Червень | 5,22 | 14,0% | 1,033 | 30 | 4709,9 | -565 | 4144,7 |
| Липень | 5,25 | 14,1% | 1,039 | 31 | 4894,9 | -587 | 4307,5 |
| Серпень | 4,67 | 12,6% | 0,924 | 31 | 4354,1 | -522 | 3831,6 |
| Вересень | 3,12 | 8,4% | 0,617 | 30 | 2815,1 | -338 | 2477,3 |
| Жовтень | 1,94 | 5,2% | 0,384 | 31 | 1808,8 | -217 | 1591,7 |
| Листопад | 1,02 | 2,7% | 0,201 | 30 | 920,3 | -110 | 809,9 |
| Грудень | 0,86 | 2,3% | 0,170 | 31 | 801,8 | -96 | 705,6 |
| Рік | 3,1 | 100% | | | 34095,9 | -4092 | 30004,4 |

Таблиця 3.5

Графік продуктивності СЕС по місяцях зображено на рис 3.10.



Рисунок 3.10. Графік продуктивності СЕС по місяцях

Компенсація енерговитрат будинку сонячною енергією по місяцям показана в таблиці 3.6.

| Компенсація енерговитрат будинку сонячною енергією по місяцям | | | | | |
|--|--------------------------------|-----------------------------|-----------------------|----------------------------------|----------------------------|
| Місяці | Витрати електроенергії КВт.год | Витрати на опалення КВт.год | Витрати на ГВ КВт.год | Витрати енергії будинком КВт.год | Продуктивність СЕС КВт.год |
| Січень | 13573 | 88388 | 11630 | 113591 | 877,9 |
| Лютий | 13573 | 88388 | 11630 | 113591 | 1385,8 |
| Березень | 13573 | 88388 | 11630 | 113591 | 2420,4 |
| Квітень | 13573 | 44194 | 11630 | 69397 | 3144,3 |
| Травень | 13573 | 0 | 11630 | 25203 | 4307,5 |
| Червень | 13573 | 0 | 11630 | 25203 | 4144,7 |
| Липень | 13573 | 0 | 11630 | 25203 | 4307,5 |
| Серпень | 13573 | 0 | 11630 | 25203 | 3831,6 |
| Вересень | 13573 | 0 | 11630 | 25203 | 2477,3 |
| Жовтень | 13573 | 44194 | 11630 | 69397 | 1591,7 |
| Листопад | 13573 | 88388 | 11630 | 113591 | 809,9 |
| Грудень | 13573 | 88388 | 11630 | 113591 | 705,6 |
| Всього | 162870 | 441940 | 139560 | 832758 | 30004,4 |

Таблиця 3.6.

З таблиці 3.6 та з графіку продуктивності СЕС наглядно видно як змінюється продуктивність СЕС по місяцях, у холодну пору року продуктивність найменша. Якщо умовно розділити рік на дві частини холодну половину та теплу, то в холодну пору СЕС генерує лише 30% річної електроенергії, та відповідно 70% у теплу.

Як ми можемо бачити продуктивність нашої СЕС не може покрити усі енергетичні витрати умовного житлового комплексу, а лише частково. Найбільша доля витрат енергії будинку приходиться на холодну пору року, саме у той час, коли наша СЕС генерує електроенергії найменше. Але якщо взяти до уваги потреби будинку лише в електроенергії то наша СЕС може компенсувати

значну долю витрат, до 20% у рік у нашому прикладі. Якщо дивитися по місяцях то найбільша компенсація приходить на літні місяці року, де компенсація сягає більше 30%. Графік компенсації СЕС витрат на електроенергію зображено на рис. 3.11

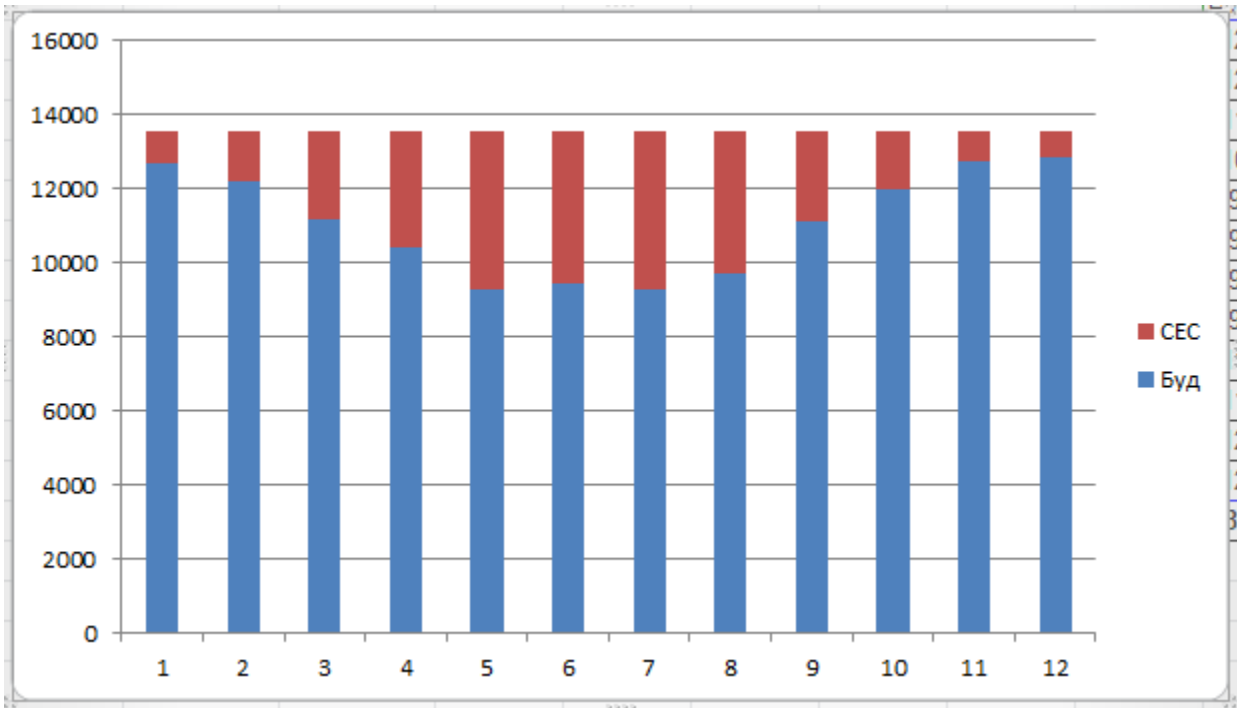


Рисунок 3.11. Графік компенсації СЕС витрат на електроенергію.

Час порахувати окупність нашої сонячної електростанції побудованої на даху будинка.

Станом на лютий 2024 року на ринку України є дуже багато пропозицій щодо будівництва СЕС. Ціни залежать від вибраної потужності СЕС. Середня вартість встановлення СЕС потужністю 30 КВт.год становить приблизно 600 тис. грн., що еквівалентно 16 тис Дол. США за курсом 37,5 грн за долар. Вартість електроенергії для населення станом на лютий 2024 року становить 2,64 грн за КВт.год.

Наша умовна СЕС за рік генерує порядка 30 000 кВт.год. електроенергії. Відповідно, для того щоби наша сонячна електростанція окупилася, вона повинна згенерувати 227 227 кВт. Год. Електроенергії, що можливо, з урахуванням її продуктивності за 7,5 років.

Але тут варто зазначити, що електроенергія постійно дорожчає. І вже з 01.01.2024 ціна за 1кВт енергії планувалася на відмітці 6,00 грн, але таке рішення відтермінували до початку 2025 року .Якщо включити до розрахунку окупності СЕС таке здорожчання то наша СЕС має окупитися за $= (600\ 000 / 6) / 30\ 000 = 3,5$ роки. А враховуючи непередбачені обставини і нестабільність у світі, і само собою війну в Україні, яку розв'язала Росія, то така СЕС на даху взагалі колись може виявитися як знахідка.

Висновки по розділу 3

У цьому розділі на прикладі було показано як розрахувати та спроектувати сонячну електростанцію на даху багатоквартирного будинку, маючи вільну площу для її побудови та знаючи енерговитрати об'єкту. Такж на прикладах було показано як підібрати сонячні панелі, скільки їх потрібно, де і як розмішувати. Як з'єднувати між собою і як розраховувати напругу для інвертора. Окремо описано про вибір інвертора, його функції та потужність.

У даному розділі ми умовно спроектували сонячну електростанцію на даху багатоквартирного будинку і визначили, що будівництво такої СЕС є економічно доцільно. Незважаючи на те, що така СЕС не може компенсувати затрати на електроенергію повністю, але вона може компенсувати порядка 20% . Також порахували, що її окупність становить 3,5 роки з урахуванням здорожчення цін на електроенергію, та 7,5 роки, якщо ціна залишиться фіксованою на рівні 2,64 грн, що мало імовірно.

Також ми визначили той факт, що у холодну пору року така СЕС генерує значно менше електроенергії (порядка 30% від річного обсягу) і тому ми, покищо, не можемо відмовитись від стандартних джерел палива, таких як природній газ чи кам'яне вугілля, оскільки лєвова доля енерговитрат приходитьсьа саме на холодну пору року.

ВИСНОВОК

Отже, сонячна енергетика має дуже великий потенціал як в Україні так і на усій планеті уцілому.

Найбільш перспективним методом отримання електроенергії вважається спосіб прямого перетворення випромінювання в електричну енергію з використанням сонячних батарей.

Потенціал сонячної енергії в Україні є достатньо високим для широкого впровадження як теплоенергетичного, так і фотоенергетичного обладнання практично в усіх областях. Виробництво електроенергії з використанням сонячних панелей запобігає забрудненню повітря в порівнянні з виробництвом електроенергії тепловими електростанціями і скоротити викиди парникових газів. Трансформація сонячної енергії в електричну є екологічно чистою в порівнянні з традиційними джерелами енергії, але в той же час після їхньої експлуатації вони утворюють відходи, які складно утилізувати.

Активізація процесу впровадження сонячної енергетики в Україні потребує ретельного вивчення всіх можливостей для розвитку індустрії.

Великий потенціал для впровадження сонячної енергетики мають також великі міста. Вільні площі, такі як дахи житлових будинків, споруд, стоянки автомобілів, дороги загального призначення мають бути використані для генерації сонячної електроенергії. З кожних 150м. кв території можна отримати 10 кВт.год. електроенергії.

СЕС на дахах житлових будинків може компенсувати до 20% витрат на електроенергію цих самих будинків. Крім того такі СЕС економічно вигідні, їх окупність складає 3,5-5 років. Крім того розвиток сонячної енергетики у великих містах покращує екологію міста.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Коваль В. М. Тонкоплівкові сонячні елементи на основі нанокристалічного кремнію / В. М. Коваль, О. В. Богдан, А. В. Іващук, Ю. І. Якименко // Наукові вісті Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". - 2012. - № 5. - С. 19-26.
2. Озметін, Б. Просвітлюючі оптичні покриття для сонячних елементів космічного призначення : дипломна робота ... бакалавра : 6.050801 Мікро- та наноелектроніка / Озметін Бурак. – Київ, 2019. – 75 с.
3. Борисов О.В. Основи твердотільної електроніки: посібник. – К.: Освіта України, 2011. – 462 с.
4. Як влаштовані і працюють сонячні батареї [електронний ресурс].
Режим доступу: <https://pobuduvati.ru/zamiskij-budinok/elektrika/cikavielektrotehnicni-novinki/8116-jak-vlashtovani-i-pracjujut-sonjachnibatarei.html>
5. Чопра К., Дас С. Тонкопленочные солнечные элементы / Пер. с англ. с сокращениями. – М.: Мир, 1986. – 435 с.
6. Гременок В.Ф. Сонячні елементи на основі напівпровідникових матеріалів / Гременок В. Ф., Тіванов М. С., Залесский В. Б. - Мінськ: Изд.Центр БГУ, 2007. - 222 с.
7. Охоткин Г.П., Серебрянников А.В. Основные принципы построения автономных солнечных электростанций. Чеб.: Внир 2003.
8. Ирвинг М., Готтлиб. Источники питания. Инверторы, конверторы, линейные и импульсные стабилизаторы. = Power Supplies, Switching Regulators, Inverters and Converters. — 2-е изд. — М.: Постмаркет, 2002. — 544 с. — [ISBN 5-901095-05-7](https://www.isbn-international.org/number/5-901095-05-7).
9. Рожкова Л.Д., Козулин В.С. Электрооборудование станций и подстанций. – М.: Энергия, 1988. – 608с.

10. Стаття «Зелений тариф», Екотехнік Україна [електронний ресурс].

Режим доступу: <https://ekotechnik.in.ua/zelenyj-taryf-kak-oformyt-ukrayina/>

11. Стаття «Зелений» тариф для домогосподарств: український та світовий досвід . [електронний ресурс]. Режим доступу: [https://uare.com.ua/novyny/442-zelenij-tarif-dlya-domogospodarstv-](https://uare.com.ua/novyny/442-zelenij-tarif-dlya-domogospodarstv-svitovij-dosvid-ta-ukrajinski-realiji.html)

[svitovij-dosvid-ta-ukrajinski-realiji.html](https://uare.com.ua/novyny/442-zelenij-tarif-dlya-domogospodarstv-svitovij-dosvid-ta-ukrajinski-realiji.html)

[svitovij-dosvid-ta-ukrajinski-realiji.html](https://uare.com.ua/novyny/442-zelenij-tarif-dlya-domogospodarstv-svitovij-dosvid-ta-ukrajinski-realiji.html)

12. Smenkovskyi, A. Yu., Vorontsov, S. B., & Biehun S. V. (2012). Threats to Ukraine's energy security in the face of increasing competition in global and regional energy markets. NISS, Kyiv, 136. (in Ukrainian).

13. Mysak, Y. S. (2014). Solar energy: theory and practice. Lviv, 340. (in Ukrainian).

14. Ukraine 2030 (2017). The doctrine of balanced development. Calvaria, Lviv, 164. (in Ukrainian).