

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри
енергетики та
електротехнічних систем

доцент **Чепіжний А.В.**

ДИПЛОМНА РОБОТА

за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Підвищення енергоефективності загальної мережі ТОВ «Енерго Суми» за рахунок використання приватної сонячної електростанції.»

Виконав

(підпис)

Тацький К.К.
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-1м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Сіренко Ю.В.
(прізвище, ініціали)

Суми – 2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та електротехнічних систем

доцент _____ **Чепіжний А.В.**

(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

« _____ » _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Тацького Костянтина Костянтиновича

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення енергоефективності загальної мережі ТОВ «Енерго Суми» за рахунок використання приватної сонячної електростанції

керівник роботи: Сіренко Юлія Володимирівна, PhD, ст. викладач

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «26» 02 2024 р. № 572/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи технічні характеристики сонячної електростанції, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Теоретичні основи підвищення енергоефективності підприємства за допомогою сонячної енергетики.

2 Розробка сонячної електростанції.

3 Дослідження параметрів роботи сонячної електростанції в загальній мережі.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури

Додатки.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

_____ (підпис)

(Тацький К.К.)

(прізвище, ініціали)

(Науковий) керівник
дипломної роботи

_____ (підпис)

(Сіренко Ю.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота присвячена аналізу та розробці проекту підвищення енергоефективності мережі ТОВ «ЕНЕРА СУМИ» шляхом впровадження сонячної електростанції. Обсяг роботи складає 48 сторінок, містить 6 ілюстрацій, 9 таблиць. Бібліографія налічує 25 джерел. У процесі дослідження було визначено цільову генераційну потужність станції, здійснено вибір сонячних панелей, інверторів, акумуляторних систем та іншого обладнання. Оцінено економічну ефективність проекту та обґрунтовано його рентабельність.

Ключові слова: СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, ТОВ «ЕНЕРА СУМИ», ІНВЕРТОРИ, АКУМУЛЯТОРНІ СИСТЕМИ, РЕНТАБЕЛЬНІСТЬ, ВІДНОВЛЮВАНА ЕНЕРГЕТИКА, ПАНЕЛІ, ЗБЕРІГАННЯ ЕНЕРГІЇ, ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДОПОМОГОЮ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Загальні аспекти енергоефективності

1.2. Відновлювана енергетика як засіб підвищення енергоефективності

1.2.1. Огляд відновлюваних джерел енергії та їх потенціал

1.2.2. Сонячна енергетика як ключовий компонент відновлюваної енергетики

1.3. Сонячні електростанції: основні характеристики та принципи роботи

1.3.1. Принципи генерації енергії сонячними панелями

1.3.2. Типи сонячних панелей та їхні особливості

1.4 Проблематика підприємства

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Визначення цільових показників енергоспоживання мережі ТОВ "ЕНЕРА СУМИ"

2.2 Розрахунок необхідної генераційної потужності для досягнення цілі

2.3 Вибір типу сонячних панелей та технології для досягнення оптимальної продуктивності

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В ЗАГАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

3.1 Аналіз можливих технологій зберігання енергії (акумуляторні системи)

3.2 Вибір інверторів для забезпечення стабільного потоку електроенергії в мережу

3.3 Проектування конфігурації сонячної електростанції для покриття частини потреб мережі

3.4 Визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячної станції

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

4.2 Потенційні небезпеки технологічного процесу

4.3 Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці

4.4 Висновки та пропозиції

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

5.1 Розрахунок початкових інвестицій та витрат на встановлення

5.2 Оцінка рентабельності

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність обраної теми. В сучасних умовах глобального розвитку технологій та зростання витрат на енергоресурси енергоефективність є ключовою складовою стратегії розвитку будь-якого підприємства. Тематика дослідження, пов'язана з підвищенням енергоефективності мережі ТОВ "Енера Суми" шляхом впровадження приватної сонячної електростанції, є надзвичайно актуальною. Вона відповідає сучасним викликам щодо енергетичної безпеки та сталого розвитку, сприяє зниженню експлуатаційних витрат та забезпечує позитивний вплив на навколишнє середовище. Унікальність цього підходу полягає в можливості використання відновлюваних джерел енергії, що дозволяє значно знизити залежність від зовнішніх енергопостачальників.

Серед наукових досліджень з енергетичних технологій та відновлюваної енергетики чимало робіт присвячено розробці сонячних електростанцій та оцінці їх ефективності в умовах конкретних регіонів. Однак, більшість досліджень зосереджені на технічних параметрах станцій та впливі кліматичних умов на їх роботу, тоді як питання інтеграції таких рішень в існуючу енергомережу конкретного підприємства та оцінка економічної ефективності залишаються недостатньо вивченими.

Основна мета дослідження — розробити ефективні шляхи інтеграції приватної сонячної електростанції в загальну мережу ТОВ "Енера Суми" з метою підвищення її енергоефективності та зменшення витрат на електроенергію. Для досягнення цієї мети необхідно виконати такі завдання:

- визначити оптимальну потужність та розташування сонячної електростанції;
- дослідити можливі технічні бар'єри при інтеграції сонячної станції у загальну мережу;

- оцінити економічну доцільність впровадження проекту;
- розробити рекомендації щодо оптимізації енергоспоживання підприємства.

Для вирішення поставлених завдань використовувалися аналітичні та статистичні методи, зокрема аналіз наукових джерел, розрахунок економічних показників, а також методи моделювання роботи сонячної електростанції з використанням спеціалізованих програмних засобів. Це дозволяє отримати повну картину техніко-економічних аспектів впровадження сонячної електростанції.

Предметом дослідження є процес інтеграції приватної сонячної електростанції в енергомережу підприємства ТОВ "Енера Суми" з урахуванням техніко-економічних особливостей.

Дипломна робота складається з 5 основних розділів. У вступній частині обґрунтовано актуальність теми, наведено огляд наукових досліджень, визначено мету, завдання та методи дослідження. Основні розділи присвячені технічному аналізу можливостей впровадження сонячної електростанції, економічним розрахункам ефективності, а також розробці рекомендацій щодо її використання. Висновки узагальнюють основні результати дослідження і включають пропозиції для подальшого розвитку проекту.

Науково-технічна новизна дослідження полягає у пропозиції унікального підходу до інтеграції сонячної електростанції в загальну мережу конкретного підприємства, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання. Практичне значення роботи полягає в можливості використання її результатів для покращення енергетичної стратегії ТОВ "Енера Суми", а також для подальшої адаптації методології на інших промислових об'єктах, зацікавлених у підвищенні енергоефективності.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ПІДПРИЄМСТВА ЗА ДОПОМОГОЮ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ

1.1. Загальні аспекти енергоефективності

Енергоефективність являє собою оптимальне використання енергетичних ресурсів з мінімальними втратами та максимальним ефектом для досягнення заданих результатів діяльності. У сучасній економіці це поняття має ключове значення, оскільки витрати на енергоресурси постійно зростають, що стимулює підприємства і національні економіки до пошуку більш раціональних підходів до їх використання. Енергоефективність є стратегічним фактором у глобальному розвитку, оскільки вона дозволяє знижувати виробничі витрати, підвищувати економічну стійкість і сприяє реалізації міжнародних ініціатив у галузі сталого розвитку[1]. Ефективне використання енергії забезпечує зменшення екологічного впливу підприємств, що стає особливо актуальним у зв'язку з посиленням глобальних змін клімату.

Енергоефективність є важливим фактором, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку. Оптимізація енергоспоживання дозволяє зменшувати собівартість продукції, що, у свою чергу, дає підприємству змогу пропонувати більш конкурентні ціни або забезпечувати вищий рівень якості товарів і послуг. Підвищення енергоефективності також сприяє покращенню іміджу компанії, демонструючи її прихильність до екологічних стандартів і сталого розвитку[1;17]. Впровадження енергоефективних технологій створює можливості для виходу на нові ринки, оскільки багато міжнародних партнерів та інвесторів надають перевагу компаніям, які дотримуються принципів екологічної відповідальності. Таким чином, енергоефективність

виступає не лише інструментом оптимізації витрат, але й засобом підвищення загальної ринкової привабливості підприємства. Законодавчі вимоги щодо енергоефективності відіграють важливу роль у регулюванні енергоспоживання на рівні підприємств та національних економік. В Україні, як і в багатьох інших країнах, прийнято низку законодавчих актів та нормативних документів, які спрямовані на підвищення енергоефективності. Основними документами є Закон України "Про енергетичну ефективність"[2], який встановлює основи політики у сфері енергоефективності, та "Національний план дій з енергоефективності"[3], що визначає конкретні заходи і цілі для зниження енергоспоживання. На міжнародному рівні діють стандарти та директиви Європейського Союзу, які регламентують вимоги до енергоефективності продукції, будівель і промислових процесів. Виконання цих вимог є необхідною умовою для інтеграції на міжнародні ринки та підвищення енергетичної безпеки. Законодавчі норми стимулюють підприємства до впровадження інноваційних технологій і методів, які дозволяють знизити енергетичні витрати і забезпечити відповідність екологічним стандартам.

1.2. Відновлювана енергетика як засіб підвищення енергоефективності

1.2.1. Огляд відновлюваних джерел енергії та їх потенціал

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ) відіграють ключову роль у сучасній енергетичній системі, оскільки забезпечують можливість сталого енергопостачання з мінімальним впливом на довкілля. Основними видами ВДЕ є сонячна, вітрова, гідроенергія, геотермальна енергія та біоенергія. Кожне з цих джерел має свої унікальні характеристики, які обумовлюють його ефективність у різних умовах і для різних потреб[4;19]. Потенціал сонячної енергетики визначається кількістю сонячного випромінювання, яке досягає земної поверхні. Фотоелектричні панелі перетворюють це

випромінювання в електричну енергію, забезпечуючи надійне джерело електроенергії при достатньому рівні інсоляції. Сонячна енергетика стає дедалі популярнішою завдяки зниженню вартості технологій та високій доступності в багатьох регіонах[20;21].

Вітрова енергетика базується на використанні кінетичної енергії вітру, яка приводить у рух лопаті вітряних турбін, виробляючи електроенергію[4;18]. Даний вид енергії є ефективним у регіонах з постійними вітровими потоками, особливо на узбережжях та в гірських районах. Однак нестабільність вітрових умов може впливати на надійність енергопостачання. Гідроенергетика базується на використанні енергії руху води, яка є одним із найбільш доступних і сталих джерел енергії[19]. Великий потенціал цього виду енергетики зосереджений у річкових системах, особливо у гірських і річкових країнах. Гідроенергія забезпечує постійне постачання енергії, проте може мати значний вплив на екосистему річок. Геотермальна енергія отримується з природного тепла, що виходить із надр Землі. Геотермальні установки здатні забезпечити постійне джерело теплової енергії, особливо у вулканічно активних регіонах. Геотермальна енергія є надійним та екологічним джерелом, але залежить від геологічних особливостей і не може бути реалізована у всіх регіонах[4].

Біоенергетика забезпечує виробництво теплової та електричної енергії за рахунок використання органічних матеріалів, таких як деревина, аграрні відходи або спеціально вирощені енергетичні культури. Цей напрямок має значний потенціал, особливо в районах із розвинутим сільським господарством, однак вимагає належної обробки ресурсів, що підвищує собівартість енергії[4].

Таблиця 1.1 - Порівняння відновлюваних джерел енергії

Тип ВДЕ	Потенціал	Переваги	Недоліки	Оптимальні умови застосування
Сонячна енергія	Високий у сонячних регіонах	Мінімальні витрати на експлуатацію та екологічна безпечність	Чутливість до змін погодних умов	Регіони з високою інсоляцією
Вітрова енергія	Високий у вітряних районах	Висока ефективність у вітряних зонах	Нестабільність енергопостачання	Узбережжя, гірські райони
Гідроенергія	Високий у країнах із річками	Стабільне джерело, контроль потоку	Вплив на екосистему, залежність від водних ресурсів	Річкові країни, гористі райони
Геотермальна енергія	Обмежений (вулканічні регіони)	Постійне джерело, низький вплив на середовище	Чутливість до геологічних особливостей і значні витрати	Вулканічно активні регіони
Біоенергія	Середній, залежить від ресурсів	Використання відходів, зниження залежності від викопних ресурсів	Викиди, додаткові витрати на переробку	Регіони з великим обсягом органічних відходів

1.2.2. Сонячна енергетика як ключовий компонент відновлюваної енергетики

Сонячна енергетика вважається одним із найперспективніших напрямів відновлюваної енергетики, завдяки її універсальності та здатності ефективно використовуватися в різних куточках світу,

незалежно від рівня індустріалізації. Сонячна енергетика ґрунтується на технологіях, що дозволяють перетворювати сонячне випромінювання в електричну або теплову енергію, використовуючи фотоелектричні панелі та системи концентрованої сонячної енергії (CSP)[5;22]. Фотоелектричні панелі, які є найпоширенішим елементом сонячних установок, генерують електричний струм завдяки взаємодії фотонів світла з напівпровідниковими матеріалами, зазвичай на основі кремнію, що демонструє високу ефективність у перетворенні сонячної енергії. Однією з ключових переваг сонячної енергетики є її екологічна безпечність, генерація електроенергії відбувається без прямих викидів парникових газів, що дозволяє значно знижувати екологічне навантаження та вуглецевий слід промислових підприємств. Окрім цього, використання сонячної енергетики підвищує рівень енергетичної безпеки, оскільки дозволяє зменшити залежність від зовнішніх джерел енергії, таких як викопне паливо, яке характеризується коливаннями цін і обмеженими запасами[23].

Сучасні технології в сонячній енергетиці дозволили істотно покращити ефективність конверсії сонячної енергії та зменшити витрати на виробництво та встановлення панелей, що робить їх економічно привабливими для промислових підприємств та приватних споживачів. Завдяки тривалому терміну служби, що становить в середньому 25-30 років, сонячні установки потребують мінімального обслуговування, що знижує експлуатаційні витрати[5]. Крім того, системи моніторингу та автоматичного керування дозволяють оптимізувати виробництво електроенергії відповідно до поточних умов освітленості, що сприяє підвищенню їхньої продуктивності навіть у регіонах із менш сприятливими кліматичними умовами. Ще одним ключовим напрямом розвитку сонячної енергетики є впровадження інновацій, зокрема інтеграція сонячних панелей у будівельні матеріали (BIPV — Building Integrated Photovoltaics), що дає змогу ефективно використовувати дахові

та фасадні поверхні для генерації електроенергії без потреби у виділенні окремих земельних ділянок[24]. Інший перспективний напрямок — це поєднання сонячних панелей із системами акумуляції енергії, що дозволяє зберігати надлишки виробленої електроенергії для використання в періоди низької інсоляції або під час пікового навантаження.

Сонячна енергетика активно підтримується як державними програмами, так і міжнародними ініціативами, спрямованими на стимулювання підприємств і приватних споживачів до переходу на відновлювані джерела енергії[5]. Програми фінансування, субсидії та податкові пільги значно знижують початкові інвестиційні витрати, що робить сонячні установки доступними навіть для малого і середнього бізнесу[25]. За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства, до 2050 року частка сонячної енергії у світовому енергобалансі може досягти 30%, що робить її ключовим компонентом сталого енергетичного розвитку[6]. Таким чином, використання сонячної енергетики забезпечує не тільки економічну вигоду і підвищення енергоефективності підприємств, але й створює умови для формування екологічно чистого та стабільного енергетичного сектору. Інтеграція сонячних установок у виробничі процеси дає змогу підприємствам відповідати сучасним ринковим вимогам, підтримуючи конкурентоспроможність і сталий розвиток у довгостроковій перспективі. Останні роки характеризуються стрімким зростанням використання сонячної енергії в промисловості, що обумовлено здешевленням технологій та глобальними зусиллями у боротьбі зі змінами клімату. Провідні країни, такі як США, Німеччина, Китай, активно інвестують у сонячні технології для виробничих об'єктів, що дозволяє скоротити викиди CO₂ та зменшити залежність від нестабільних цін на традиційні енергоресурси[7]. Одним із трендів є впровадження комбінованих систем, де сонячна енергетика поєднується з акумуляторами енергії, що дозволяє підприємствам використовувати електроенергію навіть у періоди відсутності сонячного випромінювання.

Окрім цього, на багатьох підприємствах з'являються інноваційні рішення, такі як "сонячні ферми" на дахах будівель і над великими промисловими ділянками, що забезпечує стійке енергозабезпечення і сприяє зниженню екологічного сліду компаній[7].

1.3. Сонячні електростанції: основні характеристики та принципи роботи

1.3.1. Принципи генерації енергії сонячними панелями

Сонячні панелі, або фотоелектричні модулі, є основою для перетворення сонячного випромінювання в електричну енергію[8]. Кожен окремий фотоелемент, з якого складається сонячна панель, має два шари напівпровідника, зазвичай виготовлені з кремнію. Верхній шар матеріалу містить домішки, що забезпечують наявність "позитивних" дірок, які готові приймати електрони, тоді як нижній шар містить домішки, що генерують надлишкові електрони. Коли сонячні промені потрапляють на фотоелемент, фотони взаємодіють із електронами в нижньому шарі, і ті отримують енергію, достатню для переміщення до верхнього шару. Цей процес створює електричне поле, яке зумовлює рух електронів через коло, формуючи постійний струм (DC) між двома контактами панелі[8]. Щоб сформувати необхідну потужність, окремі фотоелементи об'єднуються в фотоелектричні модулі. Окремий модуль може генерувати обмежену кількість електроенергії, але, з'єднуючи кілька модулів у масив, можна досягти значної генераційної потужності. Це особливо актуально для промислових електростанцій, де розташування великої кількості панелей дозволяє генерувати достатньо енергії для живлення значних навантажень. На рис.1.3 відображено схему сонячної станції.

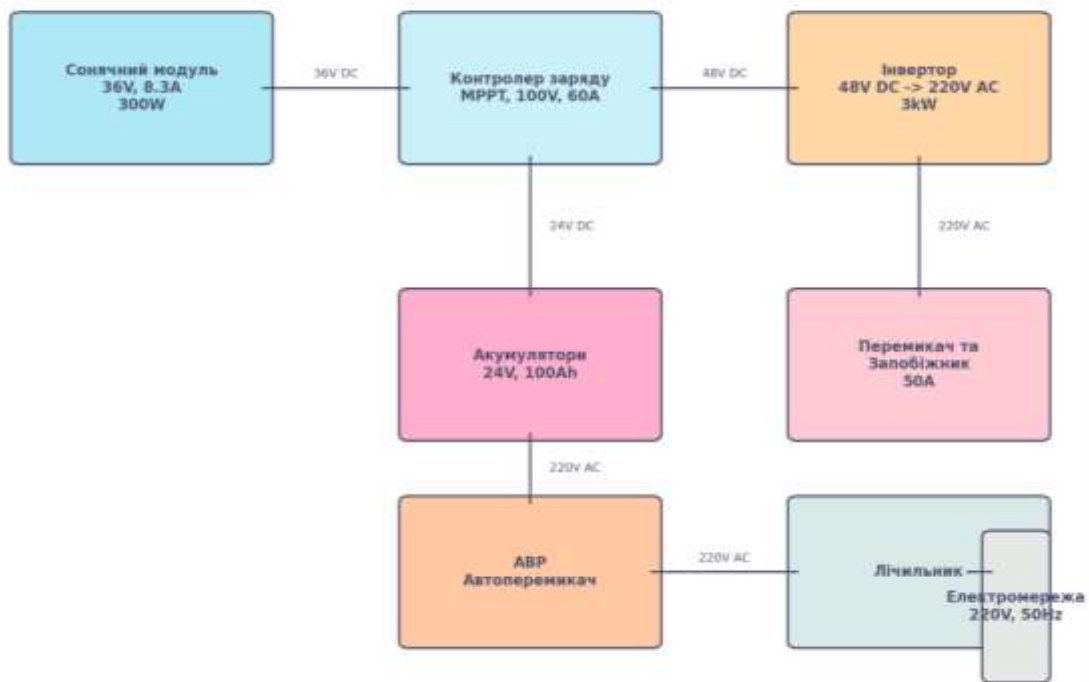


Рисунок 1.3 - Схема сонячної станції

*створено автором

Основні компоненти сонячної електростанції:

1. Сонячні панелі (фотоелементи) – трансформують енергію сонячного випромінювання у постійний електричний струм (DC).
2. Контролер заряду – контролює рівень струму та напруги, що надходить від панелей, і запобігає перевантаженню акумуляторів.
3. Акумуляторні батареї – накопичують енергію для подальшого використання в періоди, коли сонячна енергія недоступна (наприклад, у нічний час).
4. Інвертор – конвертує постійний струм, отриманий від панелей чи акумуляторів, у змінний (AC), придатний для використання електроприладами.
5. Захисні елементи (автоматичні вимикачі, запобіжники) – забезпечують безпеку системи, запобігаючи перевантаженням та коротким замиканням.

6. Система моніторингу – контролює функціонування станції, рівень заряду акумуляторів та інші важливі параметри.

Сонячні модулі генерують постійний струм, що подається на контролер заряду. Контролер заряду регулює напругу і струм, захищаючи акумулятори від перенапруги та забезпечуючи їх оптимальну роботу. Акумулятори зберігають енергію, яка подається на інвертор для перетворення у змінний струм (АС). Інвертор генерує змінну напругу 220 В, необхідну для роботи домашніх електроприладів. Автоматичний вимикач резерву (АВР) автоматично перемикає живлення на основну мережу у випадку розрядження акумуляторів. Лічильник реєструє кількість виробленої та спожитої енергії.

Загальний принцип роботи:

Коли сонячне світло потрапляє на панелі, фотоелементи генерують постійний струм. Контролер заряду регулює цей струм, забезпечуючи оптимальний заряд акумуляторів. Інвертор перетворює постійний струм у змінний, що може бути безпечно подано до мережі для живлення приладів. Система працює автоматично, і захисні елементи забезпечують безпеку та стабільність під час експлуатації. Сонячні панелі генерують постійний струм, однак більшість електричних пристроїв і мереж потребують змінного струму (АС). Для цього на станціях використовуються інвертори, які конвертують постійний струм в змінний, синхронізований з параметрами електричної мережі. Це дозволяє або безпосередньо використовувати електроенергію для живлення обладнання, або передавати її в загальну електромережу для подальшого споживання іншими користувачами[8]. Ще однією важливою характеристикою сонячних панелей є те, що вони мають пряму залежність від рівня інсоляції. У ясні сонячні дні панелі можуть працювати з максимальною продуктивністю, тоді як у похмурі або дощові дні продуктивність знижується. У промислових масштабах це питання частково вирішується шляхом встановлення систем зберігання енергії

(акумуляторів), що дозволяє накопичувати електроенергію в періоди високої інсоляції та використовувати її, коли виробництво тимчасово падає.

Україна має значний потенціал для розвитку сонячної енергетики завдяки географічним особливостям та рівню сонячної інсоляції. Розвиток сонячних електростанцій (СЕС) в країні активно підтримується державою через систему "зелених" тарифів, що стимулює інвесторів до встановлення нових об'єктів[4]. СЕС в Україні класифікуються за різними критеріями, серед яких місце розташування, потужність, спосіб підключення та цільове призначення.

За місцем розташування[5]:

- наземні СЕС – розташовані на відкритих територіях, де встановлюються сонячні модулі на спеціальних конструкціях;
- дахові СЕС – встановлюються на дахах будівель, як приватних будинків, так і комерційних чи промислових об'єктів;
- плавучі СЕС – розміщуються на поверхні водних об'єктів (озер, ставків), але цей тип ще перебуває на етапі експериментального впровадження в Україні.

За потужністю[5]:

- промислові СЕС – мають потужність від кількох мегаватів і більше, збудовані для централізованого постачання електроенергії до енергосистеми;
- домашні СЕС – мають потужність до 30 кВт, призначені для власних потреб домогосподарств із можливістю продажу надлишків за "зеленим" тарифом.

За способом підключення[5]:

- автономні СЕС – працюють без підключення до загальної електромережі, використовуються в місцях без доступу до енергосистеми, наприклад, у віддалених регіонах;

- мережеві СЕС – підключені до загальної електромережі, дозволяють продавати надлишки електроенергії;
- гібридні СЕС – комбінують можливості автономних і мережевих систем із використанням акумуляторів для зберігання енергії;

За технологією панелей[5]:

- СЕС на основі кремнієвих панелей (моно- та полікристалічні) – найбільш поширені завдяки високій ефективності та доступності;
- тонкоплівкові СЕС – мають меншу ефективність, але краще працюють за умов слабого освітлення та при високих температурах;
- СЕС на основі гібридних технологій (наприклад, перовськітні панелі) – новітня розробка, яка забезпечує високу ефективність і перспективи розвитку.

Класифікація за цільовим призначенням

1. Комерційні СЕС забезпечують виробництво електроенергії для продажу на ринку.
2. Промислові СЕС постачають енергію для великих виробничих об'єктів.
3. СЕС для особистого користування: встановлюються для покриття енергопотреб окремих домогосподарств.

Сонячна енергетика в Україні є однією з найдинамічніших галузей відновлюваної енергетики. Застосування різних типів і технологій СЕС дозволяє забезпечити енергією як окремі домогосподарства, так і промислові об'єкти, сприяючи загальному прогресу в енергетичному секторі.

1.3.2. Типи сонячних панелей та їхні особливості

Сонячні панелі поділяються на кілька основних типів, кожен з яких має свої характеристики та особливості застосування. Монокристалічні панелі виготовляються з цільного кремнієвого кристала, відомі високою

ефективністю (до 20-22%) і довговічністю. Вони забезпечують найкращі показники продуктивності в умовах високої інсоляції та мають компактні розміри, що робить їх оптимальними для промислових об'єктів з обмеженим простором[9]. Полікристалічні панелі складаються з кристалів кремнію, що знижує їхню ефективність (до 15-18%), проте вони є дешевшими у виробництві[9]. В той же час, полікристалічні панелі показують високу продуктивність при високих температурах, але є популярним вибором завдяки економічній доступності.

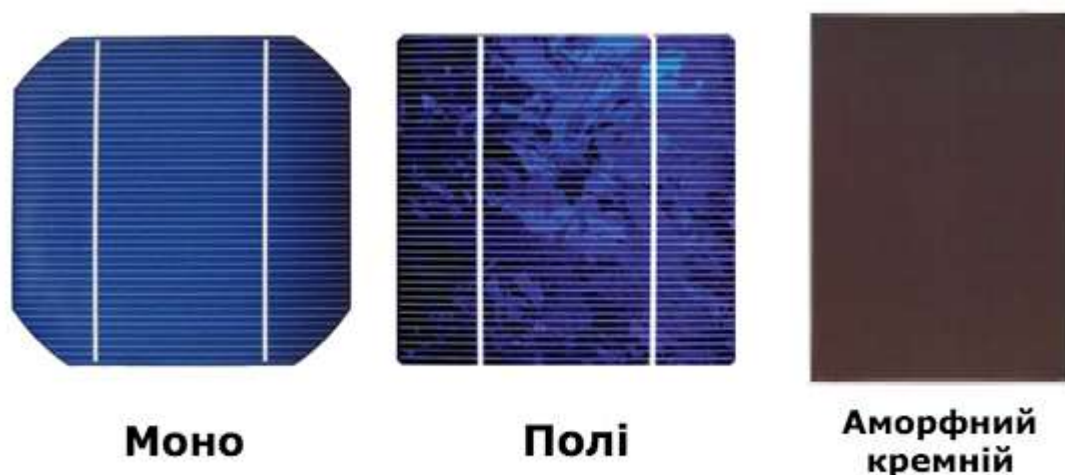


Рисунок 1.1 - Типи сонячних панелей[9]

Тонкоплівкові панелі виготовляються з шарів матеріалу, таких як аморфний кремній або телурид кадмію. Хоча вони менш ефективні (до 10-12%), ці панелі є легкими і гнучкими, що дозволяє використовувати їх на нестандартних поверхнях або в умовах, де традиційні панелі не підходять[9]. Натомість гібридні панелі об'єднують фотоелектричні елементи та елементи для нагріву води, дозволяючи одночасно генерувати електроенергію і тепло. Це рішення оптимальне для об'єктів, де є потреба в обох типах енергії.

Таблиця 1.2 - Переваги та обмеження сонячних електростанцій:

Переваги	Обмеження

Екологічність	Менша продуктивність в похмурі дні або за відсутності сонця
Зниження експлуатаційних витрат	Вартість панелей, інверторів і монтажу потребує значних капіталовкладень
Можливість зменшити залежність від зовнішніх постачальників енергії	Потреба у значній кількості панелей для виробництва достатньої потужності
Довговічність: Термін служби панелей становить 25-30 років	Вплив навколишнього середовища: Пил, бруд, сніг можуть впливати на ефективність панелей
Інвестиції у сталий розвиток: Покращення іміджу компанії як екологічно відповідальної	Складність інтеграції у мережу: Необхідність синхронізації з загальною мережею та наявність інверторів

Сонячна енергетика є одним із найперспективніших напрямків розвитку відновлюваних джерел енергії завдяки високій ефективності, екологічній безпеці та універсальності застосування в різних умовах. Фотоелектричні модулі, які працюють на основі фотоелектричного ефекту, слугують надійним джерелом енергії, особливо у регіонах із високим рівнем сонячного випромінювання. Різноманітність типів сонячних панелей дозволяє підібрати оптимальне обладнання під конкретні потреби, зокрема для промислових об'єктів. Проте використання сонячних електростанцій має свої особливості, зокрема залежність від кліматичних умов та необхідність акумуляторних систем для накопичення енергії. Ці аспекти важливо враховувати при плануванні та впровадженні сонячних станцій, особливо у великих масштабах. Отже, проведений аналіз показує, що сонячна енергетика володіє значним потенціалом для підвищення енергоефективності підприємств за умови грамотного вибору обладнання та його адаптації до специфічних потреб об'єкта.

1.4 Проблематика підприємства

ТОВ "Енера Суми" стикається з серйозними викликами у забезпеченні стабільного енергопостачання, особливо в умовах триваючих атак на енергосистему з боку Росії. Це призводить до перебоїв в енергопостачанні та підвищеної вразливості підприємства до зовнішніх чинників, що може негативно вплинути на роботу всіх підрозділів і загальну продуктивність компанії. Нестабільність енергопостачання також підвищує операційні витрати через залежність від альтернативних та дорогих джерел енергії під час перебоїв.

Можливі шляхи вирішення:

- побудова приватної сонячної електростанції (СЕС) – забезпечить стабільне постачання електроенергії та дозволить частково чи повністю перейти на автономне живлення в пікові моменти або під час перебоїв;
- інвестиції у резервні джерела живлення (генератори) – дозволять продовжити роботу підприємства під час перебоїв, але вимагають постійного обслуговування, додаткових витрат на пальне та не вирішують питання екологічності;
- закупівля електроенергії у сторонніх постачальників – забезпечує резервні джерела живлення від зовнішніх постачальників, проте це може бути нестабільно та дорого, особливо під час кризи.

Обране рішення та задача:

Найдоцільнішим є варіант побудови власної сонячної електростанції. Це не тільки допоможе вирішити проблему нестабільного постачання електроенергії, а й знизить операційні витрати підприємства в довгостроковій перспективі. Завдяки власному джерелу відновлюваної енергії, ТОВ "Енера Суми" зможе стати більш енергонезалежним та зменшити вплив зовнішніх загроз на свою діяльність.

Задача: розробити план побудови приватної сонячної електростанції, яка забезпечить енергетичну автономність підприємства, зменшить залежність від зовнішніх постачальників енергії та оптимізує витрати на електроенергію.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

2.1 Визначення цільових показників енергоспоживання мережі ТОВ "ЕНЕРА СУМИ"

Метою є підвищення енергоефективності загальної мережі ТОВ 'ЕНЕРА СУМИ', забезпечивши потужність сонячної станції у 39,5 КВт·год споживання електроенергії від приватної сонячної електростанції.

Досягнення генерації в 39,5 КВт·год від сонячної електростанції є стратегічно виправданою ціллю для ТОВ "ЕНЕРА СУМИ", яка дозволяє значно підвищити енергоефективність загальної мережі підприємства. Цей обсяг енергії, генерований із відновлюваного джерела, забезпечить суттєве зниження залежності від зовнішніх постачальників енергії. Обрана ціль у 39,5 КВт·год є досяжною з урахуванням технічних можливостей сучасних фотоелектричних систем. Завдяки цьому підприємство зможе оптимізувати витрати на електроенергію, покриваючи значну частину своїх потреб за рахунок власної генерації. Окрім економічних переваг, генерація 39,5 КВт·год від сонячної електростанції сприяє реалізації принципів соціальної та екологічної відповідальності компанії. Використання відновлюваної енергії дозволить підприємству скоротити викиди парникових газів, що позитивно вплине на загальний вуглецевий слід організації. Це, у свою чергу, зміцнює імідж ТОВ "ЕНЕРА СУМИ" як екологічно відповідального постачальника енергії, що відповідає вимогам сучасного суспільства та тенденціям сталого розвитку. Таким чином, встановлення цілі на рівні 39,5 КВт·год генерації є стратегічно обґрунтованим рішенням, яке сприятиме як економічній стабільності підприємства, так і виконанню його зобов'язань щодо екологічної сталості.

2.2 Розрахунок необхідної генераційної потужності для досягнення цілі

Щоб досягти генерації у 39,5 кВт·год електроенергії від сонячної електростанції, необхідно визначити потужність системи та кількість сонячних панелей, що забезпечать таку продуктивність, враховуючи середні показники інсоляції в регіоні встановлення та ефективність фотоелектричних панелей.

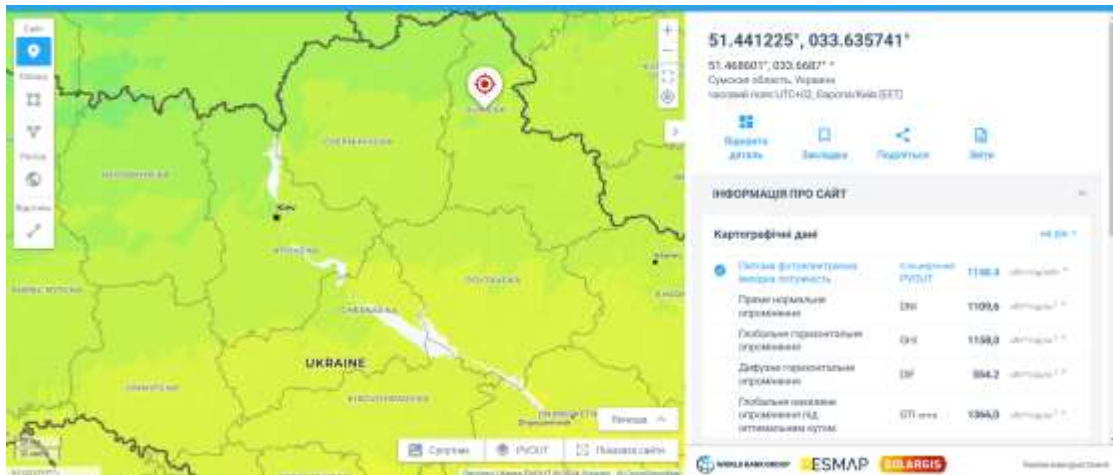


Рисунок 2.1 - Специфічна фотоелектрична вихідна потужність (PVOUT) для Сумської області[15]

На основі даних Global Solar Atlas про специфічну фотоелектричну вихідну потужність (PVOUT) для Сумської області, значення становить 1148.4 кВт·год/кВт на рік - це означає, що на кожен кіловат встановленої потужності сонячної електростанції можна очікувати річну генерацію в 1148.4 кВт·год.

Формула для розрахунку кількості панелей:

де:

- P — загальна необхідна потужність(39,5 кВт·год),
- P_p — потужність однієї сонячної панелі.

$$N = \frac{3950_0}{39_5} = 100 \text{ шт.}$$

Для досягнення річної генерації у 39,5 КВт·год необхідно встановити 100 сонячних панелей потужністю 395 Вт кожна.

2.3 Вибір типу сонячних панелей та технології для досягнення оптимальної продуктивності

При виборі сонячних панелей для досягнення цілі генерації 39,5 КВт·год на рік необхідно врахувати кілька важливих факторів.

Таблиця 2.3 - Порівняльна таблиця

Параметр	SunPower Maxeon 3 395 Вт	LG NeON R 395 Вт	Canadian Solar HiKu 395 Вт	JA Solar 395 Вт	Risen RSM40-8-395M
Потужність	395 Вт	395 Вт	395 Вт	395 Вт	395 Вт
Ефективність в т.ч					
- зима	20–22%	19–21%	17–19%	18–20%	16–18%
- весна/осінь	22.6%	22.0%	19.9%	20.1%	19.8%
- літо	19–21%	18–20%	16–18%	16–18%	15–17%
Тип	Монокристалічна	Монокристалічна	Монокристалічна	Монокристалічна	Монокристалічна
Термін служби	До 40 років	До 25 років	До 25 років	До 25 років	До 25 років
Ціна	13 300 грн	13 068 грн	4850 грн	3250 грн	1750 грн

Для досягнення оптимальної продуктивності та з огляду на цільову генерацію у 39,5 КВт·год на рік, оптимальним вибором є Risen RSM40-8-395M. Ця панель має високу ефективність, стійка до температурних змін та забезпечує хорошу продуктивність навіть при низькій освітленості, та є доступною у ціні.



Рисунок 2.3 - Risen RSM40-8-395M

Вона має меншу вартість у порівнянні з іншими, що дозволяє зекономити на загальній вартості проєкту, зберігаючи високу ефективність і надійність.

РОЗДІЛ 3. ДОСЛІДЖЕННЯ ПАРАМЕТРІВ РОБОТИ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ В ЗАГАЛЬНІЙ МЕРЕЖІ

3.1 Аналіз можливих технологій зберігання енергії (акумуляторні системи)

Для забезпечення стабільної роботи сонячної електростанції та покриття енергоспоживання у вечірні або похмурі дні важливо передбачити акумуляторні системи для зберігання надлишкової енергії. Акумуляторні системи дозволяють накопичувати енергію, вироблену вдень, та використовувати її вночі або в періоди низького освітлення[14].

Таблиця 3.1 - Порівняння акумуляторних систем

Технологія	Переваги	Недоліки
Літій-іонні акумулятори (Li-ion)	Ефективність заряду/розряду до 90-95%, довгий термін служби (до 10 років)	Висока вартість, складна утилізація
Нікель-кадмієві акумулятори (Ni-Cd)	Висока надійність і стійкість до екстремальних температур	Низька енергоємність, токсичність кадмію, обмежений термін служби
Свинцево-кислотні акумулятори	Низька вартість, стабільність, можливість використання для великих установок	Низька ефективність (70-80%), менший термін служби (5-7 років), великий обсяг і вага
Твердотільні акумулятори	Висока енергоємність і ефективність, безпека, потенційно довгий термін служби	Досить нова технологія, висока вартість і обмежена доступність на ринку

З огляду на надійність, енергоємність і довговічність, літій-іонні акумулятори є оптимальним вибором для промислових установок. Вони мають високу ефективність та забезпечують довгий термін експлуатації, що робить їх економічно вигідними у довгостроковій перспективі.

3.2 Вибір інверторів для забезпечення стабільного потоку електроенергії в мережу

Інвертори є ключовими компонентами сонячної електростанції, оскільки вони перетворюють постійний струм (DC), який генерується сонячними панелями, на змінний струм (AC), що використовується для живлення обладнання або подається в загальну мережу. Правильний вибір інвертора має вирішальне значення для забезпечення стабільного та ефективного потоку енергії. При виборі інвертора важливо врахувати кілька факторів, зокрема потужність системи, вимоги до стабільності, ефективність та тип інвертора.

Таблиця 3.2 - Порівняльний аналіз типів інверторів[10]

Параметр	Централізований інвертор	Мережевий інвертор	Мікроінвертор
Ефективність	95-98%	95-97%	97-98%
Вартість	33 270 грн	84 000 грн	18 438 грн
Гнучкість конфігурації	1-2 варіанти налаштувань	3-5 варіантів налаштувань	6-10 варіантів налаштувань
Стійкість до затінення	Зниження ефективності до 50%	Зниження ефективності до 30%	Зниження ефективності до 10%
Рекомендоване використання	Установки понад 1 МВт	Установки від 100 до 1000 кВт	Установки до 10 кВт

Оберемо для ТОВ "ЕНЕРА СУМИ" — мережевий інвертор. Цей тип інвертора забезпечує високу гнучкість у конфігурації, дозволяючи об'єднувати панелі в "мережі" (групи), що оптимально для систем середнього розміру з невеликим затіненням або різними кутами нахилу

панелей. Мережевий інвертор забезпечить стабільний потік енергії, ефективно працюючи в умовах нерівномірного освітлення, що може бути критичним для забезпечення стабільного енергопостачання до загальної мережі підприємства.

Таблиця 3.3 - Вибір інвертора

Параметр	SMA Sunny Tripower CORE1 STP 50-40	Huawei SUN2000-50KTL-M3	Fronius Symo 50.0-3-M
Потужність	50 кВт	50 кВт	50 кВт
Необхідна кількість	1 інверторів	1 інверторів	1 інверторів
Ефективність	98.3%	98.6%	98.1%
Захист	IP65	IP66	IP66
Охолодження	Активне	Активне	Активне
Моніторинг	Так	Інтелектуальний	Так
Особливості	Стійкий до температур	Інтелектуальний моніторинг і захист від затінення	Легка інтеграція з системами управління

*Створено автором на основі [11-13]

Для реалізації проєкту ТОВ "ЕНЕРА СУМИ" обираємо **Huawei SUN2000-50KTL-M3** через його високу ефективність (98.6%), розширений захист (IP66) та інтелектуальну систему моніторингу, яка дозволяє автоматично виявляти затінення та підтримувати стабільність потоку енергії в мережу.



Рисунок 3.1 - Huawei SUN2000-50KTL-M3

Інвертори Huawei також підтримують дистанційне управління та діагностику, що є додатковою перевагою для промислових установок, де важливим є контроль ефективності. Для того щоб забезпечити потужність 435 кВт, нам потрібно розрахувати кількість інверторів, ділячи загальну потужність на потужність одного інвертора:

,

де:

- N - кількість інверторів,
- - потужність системи,
- - потужність 1 інвертора.

Отже, для системи потужністю 39,5 кВт при використанні інвертору потужністю 50 кВт потрібно 1 інвертор.

3.3 Проектування конфігурації сонячної електростанції для покриття частини потреб мережі

Проектування конфігурації сонячної електростанції є ключовим етапом для забезпечення стабільного енергопостачання підприємства та досягнення цільової генерації в 39,5 кВт·год. На основі попередніх розрахунків, станція має містити 100 панелей потужністю по 395 Вт кожна. Крім того, для конвертації струму обрано – мережевий інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3.

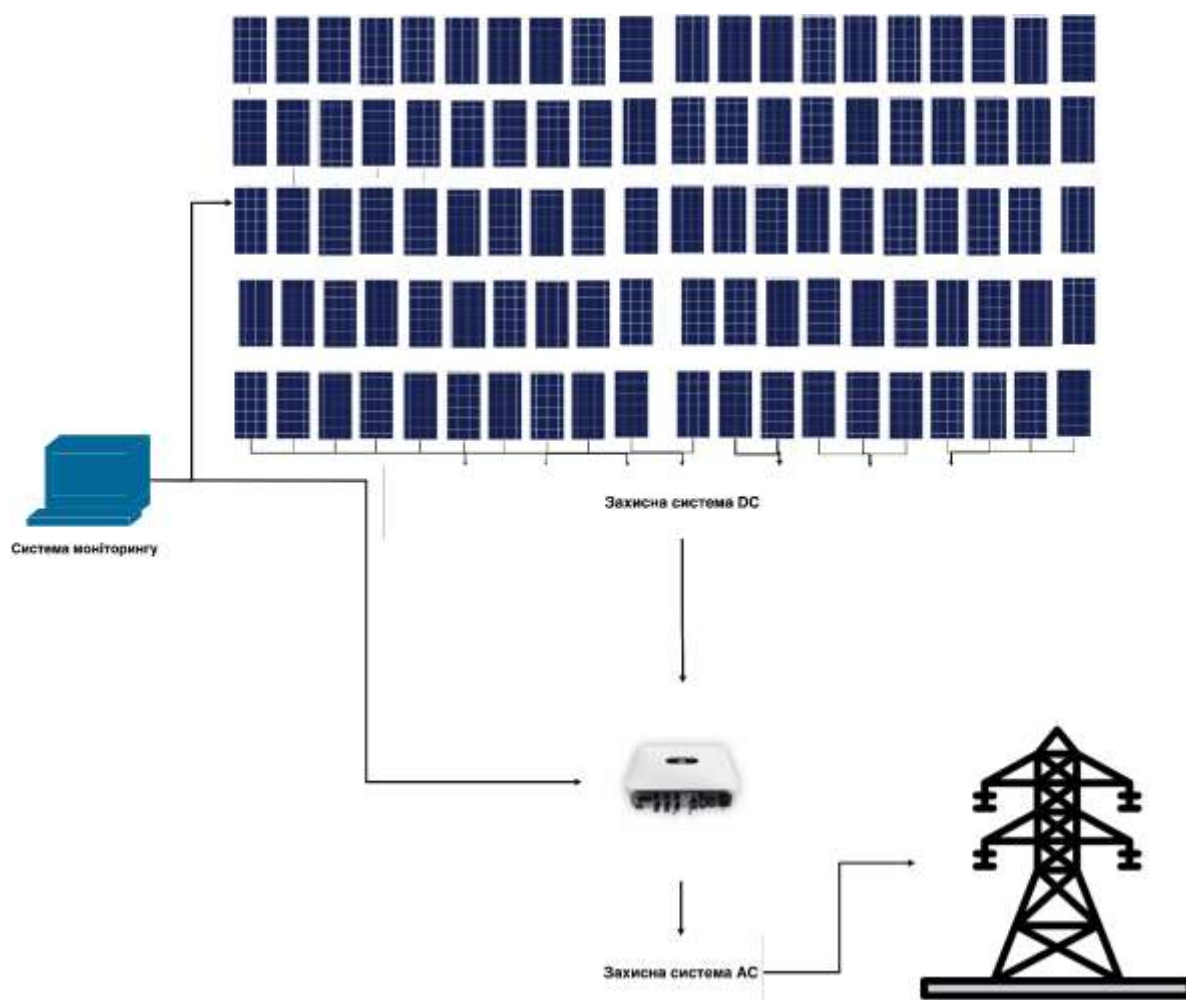


Рисунок 3.2 - Схема установки

Основні етапи проектування

1. Розташування панелей

Кожна сонячна панель потужністю 395 Вт має стандартні розміри приблизно 1.7 м². Для розміщення 100 панелей необхідна загальна площа:

$$S = 100 \times 1.7 = 170 \text{ м}^2$$

Для максимального виробництва енергії панелі слід орієнтувати на південь (для розташування в Україні) під оптимальним кутом, який для Сумської області становить приблизно 30-35°. Панелі можуть бути встановлені на землі або на дахах залежно від доступності площі. Для наземного встановлення може знадобитися більша площа через розташування панелей з відстанню між рядами для уникнення затінення.

2. Кількість панелей і їх конфігурація

Загалом потрібно 100 панелей потужністю по 395 Вт кожна, об'єднаних у мережу. Панелі об'єднуються в мережу для підключення до інверторів.

3. Інфраструктура для підключення до мережі

Для підключення обраного сонячний кабель.

3.4 Визначення коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячної станції

Розрахунок коефіцієнта корисної дії (ККД) сонячної станції допомагає оцінити ефективність перетворення сонячного випромінювання в електроенергію, враховуючи втрати, пов'язані з інверторами, кабелями та іншим обладнанням.

де:

- η — коефіцієнт корисної дії (ККД).
- — фактична річна генерація, отримана із середньої P_{VOUT} .
- — теоретична потужність за стандартних умов.

Вхідні дані:

1. Потужність панелі:
2. Кількість панелей: $N=100$.

3. Загальна потужність системи:

4.

5. $P_{VOUT}=1148.4$ кВт кВт*год/рік для Сумської області.

6. Теоретична кількість сонячних годин: .

7. Кількість днів у році:

Обчислимо фактичну генерацію:

,

- - потужність системи,
- P_{VOUT} - специфічна фотоелектрична вихідна потужність.

Теоретична генерація:

,

де:

- - потужність системи,
- - кількість сонячних годин,
- - кількість днів у році.

ККД:

$$\eta = \frac{45\,333.8}{64\,867.5} * 100\% = 69.88\%$$

Коефіцієнт корисної дії (ККД) сонячної системи в умовах Сумської області складає 69.88%. Сонячна система демонструє високу ефективність у перетворенні сонячної енергії в електроенергію, враховуючи її ККД 69.88%. Це свідчить про раціональність вкладень у сонячну енергетику, особливо в умовах Сумської області з її середньорічним PVOUT.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Організація роботи з охорони праці на підприємстві

Система охорони праці на підприємстві ТОВ "Енера Суми" ґрунтується на комплексному підході, який охоплює планування та фінансування заходів, навчання працівників і забезпечення їх засобами індивідуального захисту. Важливим аспектом є суворе дотримання вимог законодавства, зокрема Закону України "Про охорону праці", який встановлює основні принципи та положення для формування системи управління охороною праці (СУОП). В рамках цієї системи підприємство організовує навчання для працівників, що включає інструктажі з безпеки праці, перевірку знань через атестацію, ведення журналів реєстрації інструктажів та протоколів атестаційних заходів. Окрім того, підприємство має обов'язок забезпечувати працівників засобами індивідуального захисту, зокрема захисними рукавичками, окулярами та спеціальним одягом, який відповідає специфіці умов праці на виробничих об'єктах. Усі ці заходи спрямовані на зниження ризиків травматизму та забезпечення безпечних умов праці для співробітників. Фінансування заходів з охорони праці також є важливим елементом ефективної СУОП, адже для забезпечення високого рівня безпеки необхідно своєчасно оновлювати обладнання, проводити профілактичні ремонти, а також організовувати додаткові навчання для персоналу.

4.2 Потенційні небезпеки технологічного процесу

Експлуатація приватної сонячної електростанції на підприємстві ТОВ "Енера Суми" передбачає певні потенційні небезпеки, які можуть негативно вплинути на безпеку працівників. Основними ризиками є вплив

електричних полів, можливість ураження електричним струмом, виникнення пожежі, а також високі температури обладнання. Наприклад, високовольтні кабелі та інвертори створюють електричні поля, які можуть призвести до електричного ураження, особливо якщо не дотримано вимог ізоляції. Акумулятори, в свою чергу, мають тенденцію до нагрівання під час роботи, що може спричинити підвищену температуру в приміщенні та створити ризик займання при неправильній експлуатації. Для мінімізації цих ризиків необхідно забезпечити якісну ізоляцію всіх високовольтних елементів, а також проводити регулярний технічний огляд всього обладнання. Крім цього, важливо дотримуватися вимог щодо температурного контролю, встановивши системи моніторингу, які сповіщатимуть про перевищення допустимих показників температури або вологості. Особливу увагу слід приділяти інструктажам і навчанню працівників щодо правил безпеки, щоб мінімізувати можливість аварій та підвищити рівень обізнаності працівників про небезпеки, пов'язані з роботою на сонячній електростанції.

4.3 Рекомендації щодо впровадження безпечних і здорових умов праці

Для забезпечення безпечних умов праці при експлуатації приватної сонячної електростанції ТОВ "Енера Суми" рекомендується розробити комплекс заходів, що охоплюють організаційні, технічні та профілактичні аспекти. Перш за все, важливо впровадити регулярні інструктажі з охорони праці для всіх працівників, що займаються обслуговуванням і експлуатацією сонячної електростанції. Це включає ознайомлення з правилами безпеки при роботі з високовольтним обладнанням та навчання навичкам використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ), зокрема захисних рукавичок, окулярів і касок. Наступним кроком є організація постійного моніторингу параметрів електричних полів та рівня електромагнітного випромінювання, яке створюється інверторами та

іншими елементами обладнання. Такий контроль дозволить своєчасно виявляти підвищені рівні випромінювання та вживати заходів щодо їх мінімізації, що значно знижує ризик впливу на здоров'я персоналу. Також важливо встановити систему моніторингу температури обладнання, особливо акумуляторів, які мають тенденцію до перегрівання. У разі підвищення температури до критичних рівнів система повинна спрацьовувати автоматично, щоб забезпечити охолодження або відключення обладнання. Додатково до технічних заходів, доцільно оптимізувати робочі графіки працівників для уникнення перевантажень та надмірної втоми. Робота з електричними установками вимагає високої концентрації, тому працівники повинні мати можливість відпочивати під час робочої зміни. Рекомендується встановити регулярні оплачувані перерви для збереження високої продуктивності та зниження ризиків травмувань. Також, з метою підтримки здоров'я працівників, варто впровадити медико-профілактичні заходи, такі як щорічні медичні огляди, які дозволять своєчасно виявляти можливі професійні захворювання.

4.4 Висновки та пропозиції

Використання приватної сонячної електростанції є важливим кроком для підвищення енергоефективності та екологічної стійкості ТОВ "Енера Суми". Однак цей процес вимагає забезпечення високих стандартів охорони праці для захисту здоров'я персоналу. Впровадження вищезгаданих заходів дозволить суттєво знизити ризики, пов'язані з роботою на електростанції, зокрема вплив електромагнітного випромінювання та ризик ураження електричним струмом. Для покращення системи управління охороною праці (СУОП) на підприємстві, пропонується запровадити регулярні перевірки безпеки робочих місць та організувати тренінги з підвищення культури безпеки серед працівників. Важливо також створити план дій на випадок аварійних ситуацій та забезпечити наявність аварійного обладнання для швидкого реагування.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

5.1 Розрахунок початкових інвестицій та витрат на встановлення

Для розрахунку початкових інвестицій та витрат на встановлення розглянемо основні компоненти сонячної електростанції, які ми обрали раніше: сонячні панелі, інвертори, акумуляторну систему, кабелі, захисні пристрої, систему моніторингу, а також витрати на монтаж.

Таблиця 5.1 Допоміжні матеріали

Витрати	Примітка
1432 грн	метизи
2828 грн	гайки, шайби
3305 грн	кріплення
125 грн	герметик
190 грн	провід, хомут
210 грн	ГК саморізи
620 грн	клейова суміш
80 грн	диски, свердло
415 грн	ПВ-3
415 грн	анкер, кутник і саморіз
Загалом	9620 грн

Основні компоненти та їх вартість

Панель Risen 395 W (1.75 x 0.99) — 100 шт

Вартість панелей = 1750 грн/шт * 100 = 175000 грн

Притиск лінійний Alumero MID Clamp Standard.

Вартість притиску лінійного = 190 шт * 11 грн = 2090 грн

Притиск крайній Alumero END Clamp Standard.

Вартість притиску крайнього = 20 шт * 15 грн = 300 грн

Сонячний кабель KBE Solar Cable 6 мм².

Вартість сонячного кабелю = 180 м.п. * 35 грн = 6300 грн

Конектор MC4 Amphenol H4 Connector.

Вартість конектора = 16 пар * 25 грн/пара = 400 грн

Інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3 — 2400 \$ = 84000 грн

Захист по стороні DC інвертора: тримач запобіжника Eaton Bussmann
CHPV1U + запобіжник Eaton Bussmann PV-10A10F.

Вартість захисту DC = 8 шт * 325 грн = 2600 грн

Захист по стороні AC інвертора: автомат 63А ABB S203-C63.

Вартість захисту AC = 1 шт * 500 грн = 500 грн

Вартість підключення інвертора та налаштування = 5000 грн

Зведемо всі розрахунки у таблицю 5.2.

Таблиця 5.2 - Підсумок витрат

Компонент	Вартість (грн)
Сонячні панелі	175 000
Інвертори Huawei SUN2000-50KTL-M3	84 000
Кабелі KBE Solar Cable 6 мм ²	6300
Пристрій захисного відключення АСКО UTrust 1P+N 63A 30mA AC	500
Захисні пристрої NOARK Electric DC 5 кВт 1 MPPT	2600
Система моніторингу GROWATT Shine WiFi	2600
Витрати на допоміжні матеріали	9620
Витрати на бетон	4000
Витрати на монтаж та інфраструктуру	33 600
Загальна вартість	318 220 грн

Початкові інвестиції та витрати на встановлення сонячної електростанції потужністю 39,5 кВт з обраними компонентами складають 318 220 грн. Ця сума включає всі основні компоненти, монтажні роботи, захисні пристрої, систему моніторингу та інфраструктуру, що забезпечує стабільну роботу станції.

5.2 Оцінка рентабельності

Для оцінки рентабельності сонячної електростанції врахуємо:

1. Початкові інвестиції та витрати на встановлення: 318 220 грн.
2. Річна генерація енергії: 39,5 кВт·год.
3. Вартість продажу електроенергії: 614,66 коп/кВт·год

Ставки "зеленого" тарифу вказані в копійках за 1 кВт·год без ПДВ. Тобто:

614,66 коп./кВт·год = 6,1466 грн/кВт·год (без ПДВ).

З урахуванням ПДВ (20%), це буде 7,3759 грн/кВт·год.

$$= 6,1466 + 20\% = 7,3759 \text{ грн/кВт·год}$$

Середня річна генерація (за PVOUT для Сумської області):

Зелений тариф із ПДВ становить 7,3759 грн/кВт·год.

Річний дохід:

,

де:

- середня річна генерація ,
- зелений тариф із ПДВ.

$$7,3759 = 334650.484 \text{ грн}$$

Приймаємо 2% від інвестицій як середньорічні витрати на обслуговування:

,

де:

- W - коефіцієнт витрат на обслуговування,
- I - початкові інвестиції.

Розрачуємо чистий річний дохід:

,

де:

- - чистий дохід,
- - річний дохід,

- - середньорічні витрати на обслуговування

Рентабельність обчислюємо як співвідношення чистого річного доходу до початкових інвестицій:

,

де:

- - чистий дохід,
- I - початкові інвестиції.

Період окупності:

,

- - чистий дохід,
- I - початкові інвестиції.

Сонячна електростанція потужністю 39,5 кВт є високоефективною інвестицією, забезпечуючи значний дохід за умов дії "зеленого" тарифу. Середня річна генерація становить 45,370.8 кВт·год, що вказує на стабільну адаптацію системи до кліматичних умов Сумської області. Проект сонячної електростанції є високоприбутковим, швидкоокупним та економічно ефективним. Він ідеально підходить для реалізації в умовах дії "зеленого" тарифу. Успішна реалізація такого проекту сприятиме підвищенню енергоефективності, скороченню витрат на електроенергію та стабільному отриманню доходу в довгостроковій перспективі.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання дипломної роботи було проведено детальний аналіз можливостей підвищення енергоефективності для ТОВ "ЕНЕРА СУМИ" шляхом впровадження сонячної електростанції. Розроблено рекомендації для інтеграції станції в загальну мережу підприємства, розраховано параметри потужності, вибрано тип сонячних панелей, інверторів та системи акумуляції, що забезпечують стабільне енергопостачання. Результати досліджень і розробок свідчать про економічну та технічну доцільність реалізації даного проекту з урахуванням підвищення енергоефективності підприємства. Проведено детальний розрахунок необхідної генераційної потужності для досягнення цільової річної генерації 39,5 кВт·год, яка задовольнить потреби підприємства. Оцінено, що така потужність дозволить скоротити витрати на електроенергію на 15% та підвищити загальну енергоефективність підприємства.

На основі аналізу ринку та технічних характеристик вибрано сонячні панелі Risen RSM40-8-395M, які забезпечують високу ефективність та стійкість до змін погодних умов. Це оптимальний вибір для досягнення максимальної генерації при обмеженій площі.

Для конвертації електроенергії з постійного струму на змінний було обрано мережеві інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3 потужністю 50 кВт, що забезпечує стабільний потік енергії та мають ефективність 98.6%. Визначено оптимальну конфігурацію розташування сонячних панелей для максимального виробництва енергії. Потрібна площа для розміщення панелей становить 170 м², при цьому панелі орієнтовані на південь під оптимальним кутом 30-35° для регіону. Розроблено схему з'єднання панелей у "мережу" для підключення до інверторів, що забезпечить стабільну генерацію енергії за умов рівномірного розподілу потужності.

Обрано кабелі KBE Solar Cable 6 мм² для з'єднання панелей з інверторами та інверторів із загальною мережею, що забезпечує високу провідність та захист від ультрафіолету, відповідаючи стандартам для сонячних систем. Для захисту системи від коротких замикань, перевантажень та перенапруг встановлено пристрої захисту від перенапруги. Впроваджено систему моніторингу, яка відстежує поточну генерацію, стан інверторів, що дозволяє контролювати ефективність роботи та вчасно реагувати на потенційні несправності.

Вартість проекту з урахуванням усіх компонентів, монтажних робіт та підключення становить 318 220 грн. Проведено розрахунок терміну окупності, який становить 11,6 місяців. Проект є економічно вигідним завдяки стабільності доходів від продажу електроенергії за фіксованою ціною 7.3759 грн/кВт·год. Також враховано, що сонячні панелі мають довгий термін служби (до 25-30 років), а інші компоненти можуть працювати до 10-15 років, що додатково збільшує вигідність проекту.

Проект сонячної електростанції для ТОВ "ЕНЕРА СУМИ" є економічно доцільним та екологічно ефективним рішенням, яке забезпечує значне підвищення енергоефективності підприємства, скорочення витрат на зовнішнє енергопостачання, стабільність доходів та незалежність від коливань цін на традиційні енергоресурси. Впровадження проекту сприятиме зміцненню фінансової стійкості компанії та підвищенню її конкурентоспроможності на ринку енергопостачання, одночасно зменшуючи екологічний вплив та покращуючи імідж компанії як відповідального постачальника енергії.

А також було розроблено комплекс заходів з охорони праці, що включає інструктажі для працівників, надання засобів індивідуального захисту, проведення регулярних перевірок обладнання та моніторинг основних параметрів станції для попередження аварійних ситуацій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лір В. Е. Моделі та інституційні трансформації ринків енергоресурсів // Ринки реального сектора економіки України: структурно-інституціональний аналіз : кол. моногр. / за ред. В. О. Точиліна. Київ : ІЕП НАН України, 2009. Розд. 5.1. С. 394–404.
2. Закон України “Про енергетичну ефективність”. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1818-20#Text>
3. Про Національний план дій з енергоефективності на період до 2030 року. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1803-2021-%D1%80#Text>
4. Відновлювані джерела електричної енергії (аналіз, перспективи, проекти) / І. О. Сінчук, С. М. Бойко, І. А. Луценко, Г. І. Ткаченко ; під ред. Сінчука О. М. — Кременчук: Вид-во ПП Щербатих О. В., 2013. — 102 с. : рис. — Бібліогр.: с. 187—191.
5. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.
6. International Energy Agency. (2020). World Energy Outlook 2020. URL: <https://www.iea.org/reports/world-energy-outlook-2020>.
7. International Energy Agency. (2023). *Renewables 2023: Analysis and forecast to 2028*. URL: <https://www.iea.org/reports/renewables-2023>.
8. National Renewable Energy Laboratory. (2021). Solar Photovoltaic Technology Basics. Retrieved from <https://www.nrel.gov/research/re-photovoltaic.html>.
9. Adeleke, O. J. (2023, August). Comprehensive guide to solar panel types. GRE Robotics. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31128.16644>
10. Solar Cells and their Applications Second Edition, Lewis Fraas, Larry Partain, Wiley, 2010, ISBN 978-0-470-44633-1, Section 10.2.

11. Jackman, J. (2024, November 5). The 6 different types of solar panels. SunSave. URL: <https://www.sunsave.energy/solar-panels-advice/solar-technology/types>
12. SUN2000-(50KTL-ZHM3, 50KTL-M3, 50KTL-BRM3) User Manual. URL: <https://support.huawei.com/enterprise/en/doc/EDOC1100265241>
13. Fronius Symo 50.0-3-M. URL: <https://www.fronius.com/en-gb/uk/solar-energy/installers-partners/technical-data/all-products/inverters/fronius-symo/fronius-symo-5-0-3-m>
14. Системи акумулювання і перетворення енергії відновлювальних джерел : дис... д-ра техн. наук : 05.14.08 / Кудря Степан Олександрович ; НАН України, Інститут електродинаміки. — К., 1996. — 549 л.
15. Global Solar Atlas - офіційний веб-сайт. URL: <https://globalsolaratlas.info/>
16. ТОВ “ЕНЕРА - СУМИ” - офіційний веб-сайт. URL: <https://sm.enera.ua/>
17. Функціонування, стратегічний розвиток і регулювання відновлюваної енергетики / Трофименко О. О., Войтко С. В. ; Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т». — К. : [Альфа Реклама], 2014. — 179 с. : рис., табл. — Бібліогр.: с. 143—157.
18. Сидоров В. І. Вітрові теплоелектростанції / Промислова електроенергетика та електротехніка. — 2018. — № 1. — С. 28–36.
19. Сидоров В. І. Технології гідро- та вітроенергетики. — Черкаси: Вертикаль, видавець Кандич С. Г., 2016. — 166 с
20. Поновлювані джерела енергії: Навч. посіб. / М. І. Сиротюк ; за ред. С. І. Кукурудзи. — Л. : ЛНУ ім. І.Франка, 2008. — 248 с.
21. Kabir, E., Kumar, P., Kumar, S., Adelodun, A. A., & Kim, K.-H. (2018). Solar energy: Potential and future prospects. *Renewable and Sustainable*

Energy Reviews, 82(Part 1), 894–900.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.094>

22. Resch, G., et al. (2008). Potentials and prospects for renewable energies at global scale. *Energy Policy*, 36(11), 4048–4056.
<https://doi.org/10.1016/j.enpol.2008.06.029>
23. Sen, Z. (2004). Solar energy in progress and future research trends. *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(4), 367–416.
<https://doi.org/10.1016/j.pecs.2004.02.004>
24. Ellabban, O., Abu-Rub, H., & Blaabjerg, F. (2014). Renewable energy resources: Current status, future prospects and their enabling technology. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 39, 748–764.
<https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.113>
25. International Energy Agency. (2011). *Renewable energy technologies: Solar energy perspectives*. Paris: OECD/IEA.
<https://doi.org/10.1787/9789264124571-en>