

Міністерство освіти і науки України Національний
технічний університет
«Дніпровська політехніка»

Інститут Електроенергетики

(інститут)

Електротехнічний

(факультет)

Кафедра ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ

(повна назва)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

кваліфікаційної роботи ступеню магістра

(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студента Лящевського Яніслава Валерійовича

(ПІБ)

академічної групи 141-22М-2

(шифр)

спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

(код і назва спеціальності)

спеціалізації¹

за освітньо-професійною програмою ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

на тему Розробка приватної сонячної електростанції з накопичувачами електричної енергії

(назва за наказом ректора)

Керівники	Прізвище, ініціали	Оцінка за шкалою		Підпис
		рейтингово ю	інституційно ю	
Кваліфікаційно ї роботи	<u>Шарабура Т.А.</u>			
розділів:				
Вступна частина	<u>Шарабура Т.А.</u>			
Основна частина:	<u>Шарабура Т.А.</u>			
Економічна частина	Тимошенко Л. В.			
Рецензент				
Нормоконтролер	Олішевський Г.С.			

Дніпро
2023

ЗАТВЕРДЖЕНО:
завідувач кафедри
електроенергетики

(повна назва)

Папаїка Ю. А.

(підпис)

« _____ » _____ 2023 року

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну роботу
ступеню Магістра
(бакалавра, спеціаліста, магістра)

Студенту Ляшевський Я.В. академічної групи 141-22м-2

(прізвище та ініціали) (шифр)

спеціальності 141 – ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА
спеціалізації¹ за освітньо-професійною програмою ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА,
ЕЛЕКТРОТЕХНІКА ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА

(офіційна назва)

на тему Розробка приватної сонячної електростанції з накопичувачами електричної
енергії

затверджену наказом ректора НТУ «Дніпровська політехніка» від _____ № _____ -

Розділ	Зміст	Термін виконання
<i>Вступна частина</i>	Провести аналітичну характеристику, та обґрунтувати вибір акумуляторних батарей та ФЕМ	22.10.2023
<i>Основна частина</i>	Виконати розрахунок основного обладнання	26.11.2023
<i>Економічна частина</i>	Визначити техніко-економічні показники проекту: капітальні та експлуатаційні витрати, термін окупності проекту.	10.12.2023

Завдання видано _____
(підпис керівника)

Шарабура Т.А.
(прізвище, ініціали)

Дата видачі 25.09.2023р.

Дата подання до екзаменаційної комісії

Прийнято до виконання _____
(підпис студента)

Ляшевський Я.В.
(прізвище, ініціали)

Реферат

Пояснювальна записка: 54 сторінок, 10 таблиць, 15 рисунки,
30 джерел.

Мета кваліфікаційної роботи: проведення розрахунку електричної частини СЕС та обґрунтування її економічної доцільності

У вступній частині проводиться аналіз енергетики України у період воєнного стану, перспективи розвитку проектування сонячних електростанцій, основні складові компонентів СЕС.

У основній частині проводиться розрахунок та вибір основного і допоміжного обладнання СЕС, аналіз споживання електроенергії за місяць, розрахунки необхідної генерації електроенергії з подальшим її накопиченням.

У економічному розділі проводиться техніко-економічне обґрунтування даного проекту, економічна доцільність використання приватної СЕС.

За проведеними розрахунками визначили ефективність та економічну доцільність встановленого обладнання на СЕС, розрахували термін окупності і матеріальні затрати на спорудження СЕС.

ФОТОЕЛЕКТРИЧНА СТАНЦІЯ, СОНЯЧНА СТАНЦІЯ, , ВИБІР
ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ МОДУЛІВ, СИСТЕМА, СИСТЕМА
СПОСТЕРЕЖЕННЯ, РОЗРАХУНОК СТРУМІВ КОРОТКОГО ЗАМИКАННЯ,
АКУМУЛЯТОРНА БАТАРЕЯ .

Anotation

Explanatory note: 54 pages, 10 tables, 17 figures, 30 sources.

The purpose of the qualification work: calculation of the electrical part of the CEC and evaluation of its economic viability

In the introductory part, the energy industry of Ukraine during the period of martial law, the prospects for the development of solar power plant design, and the main components of SES components are analyzed.

In the main part, the calculation and selection of the main and auxiliary SES equipment, the analysis of electricity consumption for the month, the calculations of the necessary electricity generation and its subsequent accumulation are carried out.

In the economic section, the technical and economic justification of this project, the economic feasibility of using a private SES is carried out.

Based on the calculations, the effectiveness and economic efficiency of the equipment installed at the SES was determined, the payback period and material costs for the construction of the SES were calculated.

PHOTOELECTRIC PLANT, SOLAR PLANT, SELECTION OF PHOTOELECTRIC MODULES, SYSTEM, MONITORING SYSTEM, CALCULATION OF SHORT-CIRCUIT CURRENTS, BATTERY.

1 Вступна частина

1.1 Аналіз положення енергетики на зимовий період 2022р в Україні	7.
1.2 Принцип роботи приватної сонячної станції.....	8 .
1.3 Технічне завдання на проектування приватної сонячної електростанції....	9 .
1.4 Висновки та постановка задач для проектування приватної ФЕС.....	11 .

2 Основна частина

2.1. Визначення об'єму споживання електроенергії та вибір АКБ	13.
2.2 Вибір типу і параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ) до встановлення на приватній СЕС	19.
2.3. Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ	20.
2.4 Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції	25.
2.5. Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ	28.
2.6 Розрахунок мінімальної кількості модулів в колі з урахуванням допустимої пускової напруги інвертора	29.
2.7 Визначення конструктивних параметрів встановлення ФЕМ	31.
2.8 Визначення сумарних втрат потужності в мережі постійного струму	34.
2.9. Визначення загальної кількості фотоелектричних модулів	35.
2.10 Розрахунок продуктивності СЕС.....	36.

3 Економічна частина

3.1. Техніко-економічне обґрунтування розробки електричної частини ФЕС.....	40.
3.2. Розрахунок капітальних витрат	43.
3.3. Розрахунок Амортизаційних відрахувань	46.
3.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт	48.

3.5. Розрахунок експлуатаційних витрат	49.
3.6. Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення	50.

ВСТУПНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз стану енергетики на зимовий період 2022р в Україні

В зимовий період 2022 року ситуація в енергетиці України мала великі труднощі. Російські обстріли призвели до значних пошкоджень енергетичної інфраструктури країни, виникнення ситуації блекауту.

За даними програми розвитку ООН, обсяг електрогенерації в Україні зменшився більше ніж в два рази — від 37,6 ГВт до 18,3 ГВт. Обстріли вплинули на маневрову потужність, на роботу теплоелектростанцій та теплоелектроцентралей, роботу розподільчих станцій. Було пошкоджено чи зруйновано значну кількість важливих підстанцій.

За розрахунками Світового банку, збитки від обстрілів інфраструктури електро-, газо-, теплопостачання та видобутку вугілля перевищують 10 млрд доларів США.

Міністерство енергетики заявило про відновлення на 80% енергетичної системи країни. Але Генеральний штаб України попереджає про загрозу нових можливих обстрілів з боку російських сил.

Наразі дуже важливе відновлення значущих великих об'єктів енергетичної системи своїми силами та в співпраці з міжнародними партнерами. Громадяни також можуть вживати заходів для власної безпеки та готовності до можливих перебоїв у електропостачанні.

Атомні електростанції в Україні виконують ключову роль у забезпеченні електроенергією країни. Можливість повторного обстрілу створює серйозні загрози для стійкості енергетичної системи та може призвести до порушень в постачанні електроенергії для населення та промисловості

Слід зазначити, що крім атомних електростанцій, в Україні також велику роль у забезпеченні електроенергією та теплопостачанні в зимовий період відіграють теплоелектростанції (ТЕС) та теплові електроцентралі (ТЕЦ). Ці об'єкти забезпечують тепло в житлових приміщеннях та виробляють

електроенергію. Однак, через масові російські обстріли, їхні потужності і функціонування також можуть бути серйозно ускладнені, що додає загроз для енергетичної системи та поставок електроенергії та тепла для населення та промисловості в Україні.

Внаслідок виведення з ладу ліній розподілу електроенергії та трансформаторів, споживачі втрачають здатність скористатися послугами теплопостачання та електропостачання. Це призводить до серйозних соціальних та економічних наслідків, особливо у контексті зимового періоду, коли теплове опалення та електричне енергопостачання набувають критичного значення для забезпечення комфорту та життєвого функціонування населення.

Ефективним та перспективним рішенням для вирішення проблеми енергетичної нестачі в зимовий період є встановлення сонячних панелей. Це надійний та екологічно чистий спосіб отримання електроенергії, що базується на використанні сонячного випромінювання як відновлюваного джерела, та блоку акумуляторів для подальшого його зберігання в період відсутності генерації з сонячних панелей .

1.2 Принцип роботи Приватної Сонячної станції

Гібридні сонячні електростанції є комплексними системами, що поєднують різні компоненти для виробництва та забезпечення стабільної постачання електроенергії. Найважливіші компоненти такої системи включають сонячні панелі, інвертор, акумулятор та контрольно-керуючу систему. принцип роботи гібридної сонячної електростанції:

Сонячні панелі:

Збір сонячної енергії: Сонячні панелі використовують фотоелектричний ефект для перетворення сонячного випромінювання на постійний струм (DC).

Інвертор:

Конвертація DC в AC: Згенерований постійний струм конвертується в змінний струм за допомогою інвертора. Це необхідно для сумісності зі стандартною електричною мережею та живлення електричного обладнання.

Акумулятор:

Зберігання енергії: Акумулятор використовується для збереження надлишкової енергії, яку сонячні панелі виробляють в періоди низького споживання. Це дозволяє використовувати сонячну енергію вночі або в періоди хмарного покриву.

Контрольно-керуюча система (CCS):

Оптимізація енергопотоків: CCS відповідає за автоматизоване управління всією системою. Вона моніторить рівень заряду акумулятора, погодні умови, виробництво сонячної енергії, і визначає оптимальні шляхи використання сонячної енергії та акумуляованого заряду для максимальної ефективності.

Такий підхід дозволяє гібридній сонячній електростанції працювати як автономно (відновлюючи електроенергію від сонця), так і підключатися до електромережі або користуватися акумуляованою енергією в тих випадках, коли сонячна енергія обмежена. Така гібридність дозволяє оптимально використовувати ресурси та забезпечує стабільне постачання електроенергії у різних умовах.

1.3 Технічне завдання на проектування Приватної сонячної електростанції

Для того щоб виконати проект приватної сонячної електростанції потрібно визначитись з наступними параметрами:

Потужність системи:

Визначити очікувану потужність сонячної електростанції. Розрахувати середньо місячне виробництва енергії та резервну потужність.

Система зберігання:

Використання акумуляторів, обрати більш задовільні для поставлених задач (Напруга на виходах АКБ , максимальний Струм заряду, тип АКБ Гелевий свинцевий або кислотний і т.д.)

Підключення до мережі:

Визначити чи буде реалізовано підключення до мережі за допомогою Інвертора або це буде виконано за допомогою щита АВР.

Розташування сонячних панелей:

Визначити де буде розташовано сонячні панелі (наприклад, на даху будівлі, на земельній ділянці, на спеціальних конструкціях).

Тип сонячних панелей:

Визначити, який тип панелей доцільніше використовувати в даних цілях (моно- чи полікристалічні панелі, або можливо, тонкі плівкові).

Площа та Кількість сонячних панелей:

Розрахувати площу та кількість сонячних панелей, необхідних для досягнення вказаної потужності.

Інвертор та Обладнання:

Обрати та розрахувати необхідні характеристики інверторів (тип, потужність, кількість), а також інше необхідне обладнання (захист, розподільчі пункти тощо).

Система Керування та Моніторингу:

Зазначити систему керування та моніторингу для автоматизації та відстеження роботи сонячної електростанції.

Безпека та Сертифікація:

Зазначити заходи з безпеки та відповідність стандартам, а також наявність сертифікатів для встановленого обладнання.

Моніторинг Роботи:

Визначити систему моніторингу, яка включає в себе відслідковування виробництва енергії, рівня заряду акумуляторів, температурний режим і стан обладнання.

Віддалений Доступ:

Розглянути можливість віддаленого доступу до системи керування та моніторингу через Інтернет або мобільний додаток.

Система Сповіщень:

Визначити систему сповіщень про можливі несправності, аварійні ситуації чи потребу технічного обслуговування.

Інтеграція з IT-інфраструктурою:

Описати можливість інтеграції системи керування та моніторингу з існуючою IT-інфраструктурою (наприклад, системами управління будівлею).

Аналіз та Звітність:

Розглянути можливості проведення аналізу ефективності та забезпечення звітності за визначеними періодами..

Технічне Обслуговування:

Зазначте плани щодо технічного обслуговування системи керування та моніторингу, включаючи періодичні огляди та планові обслуговування.

1.4 Висновки та постанова задач для проектування Приватної СЕС

Згідно з Аналізом стану Енергетики України в період 2022р слід зазначити що існує проблема повторного відключення споживачів електроенергії в зв'язку с обстрілами критично важливих об'єктів енергетики

Тому все ще є загроза відключення електроенергії на необмежений термін та теплоносіїв також.

Розробка приватної електростанції дає змогу отримувати електроенергію незалежно від мережі а навіть надавати її у разі потреби іншим споживачам .

Система моніторингу дозволяє вести звітність по кількості згенерованої електроенергії та спожитої що в подальшому допоможе економно витратити ресурси.

Незалежно від умов завдяки системі накопичення електроенергії буде достатньо для реалізації мінімальних потреб в виду відсутності генерації СЕС та живлення промислової мережі.

Потрібно Визначитись з кількістю споживаємої електроенергії за денний період часу , розрахувати потужність сонячної станції та її генерацію в залежності від пори року та доби, обрати за потужність інвертор та впевнитись що він відповідає всім стандартам та має функцію живлення від мережі та АКБ, обрати АКБ за необхідною ємністю, струмом заряду, напругою на виході, також налаштувати систему моніторингу за генерацією та спожитою електроенергією і контролю заряду АКБ.

ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Визначення об'єму споживання електроенергії та вибір АКБ

Було прийнято записати основні параметри об'єкту проектування, площу та кут нахилу покрівлі, загальну площу будинку, та середньостатистичні дані споживання електроенергії для подальшого розрахунку

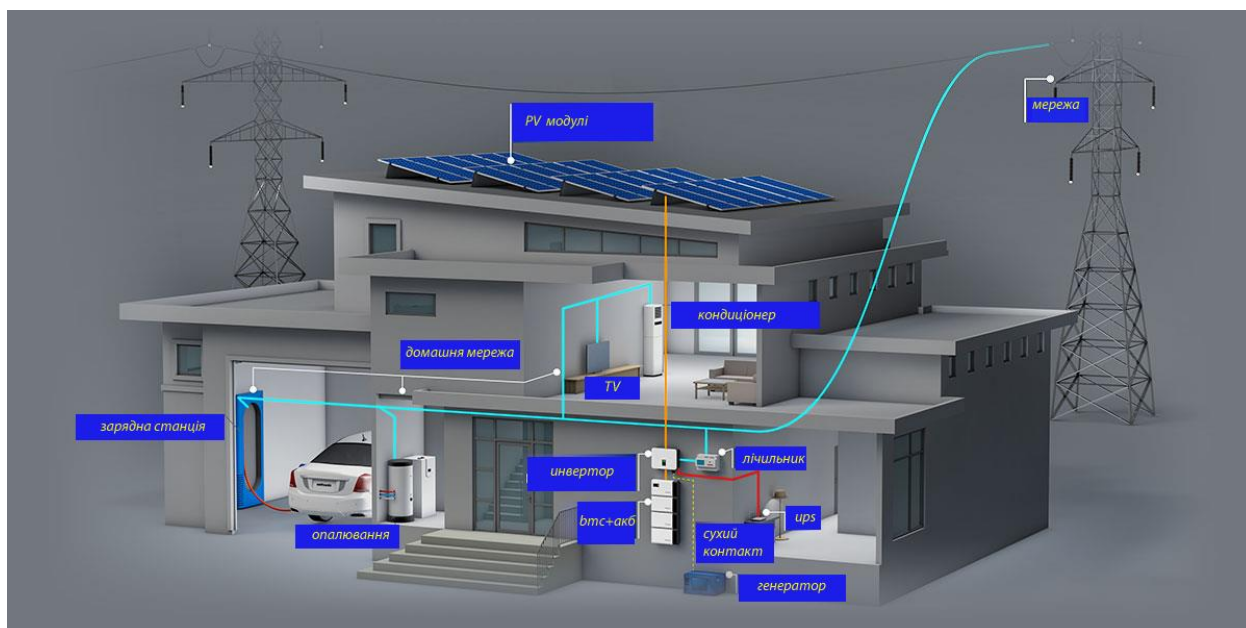


Рисунок 3. Загальний вигляд приватної сонячної електростанції
Основні параметри та характеристики об'єкту наведені в таблиці 1
Таблиця 1. Будівельні та геометричні характеристики будинку

Параметр	Розмір
Висота будинку	5,7 м
Кут нахилу даху	45°
Площа даху	200 m ²

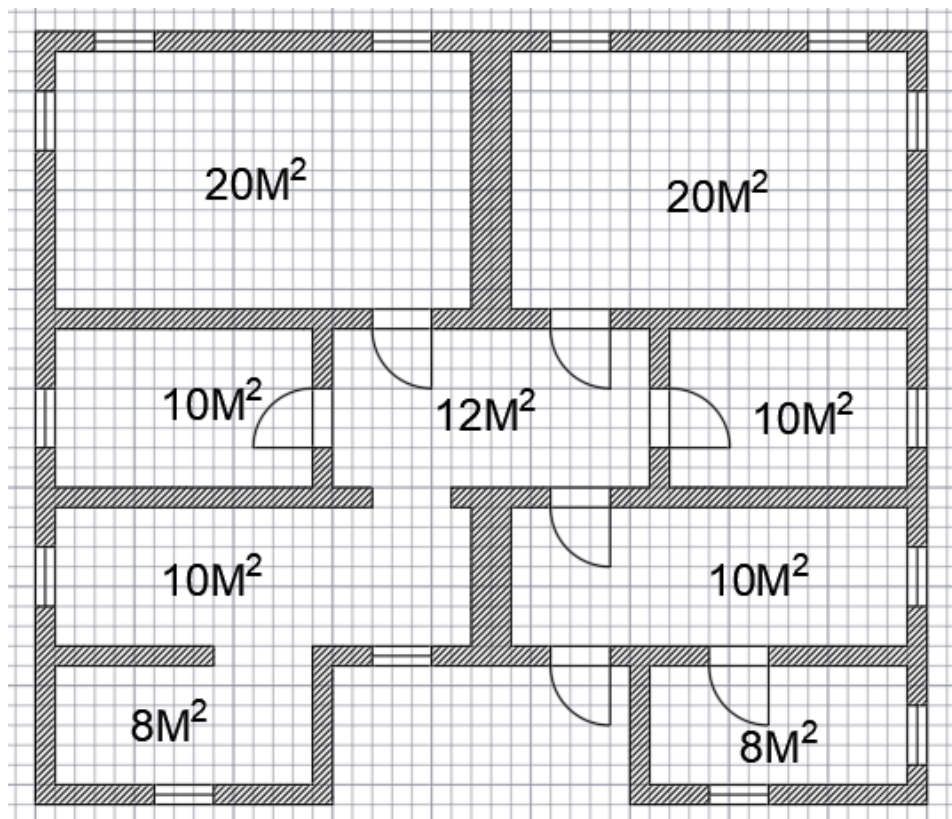


Рисунок 4. План будинку

Список приміщень занесено в таблицю 2

Таблиця 2. – Список приміщень

Приміщення	Площа м ²
Передпокій	10
Їдальня	8
Кухня	10
Вітальня	12
Ванна кімната 1	8
кімната 1	10
Кімната 2	10

Кімната 3	20
Кімната 4	20

Для вибору та встановлення обладнання необхідно провести розрахунок споживаємої електроенергії для приватного будинку за добу. Потім визначити яка необхідна кількість сонячних панелей для генерації достатньої кількості електроенергії, вибір інвертора, а також ємність акумуляторних батарей. Для цього використовуємо спеціальний онлайн сервіс з калькулятором потужностей[12], на основі якого будуємо графік споживання електроенергії

Таблиця №3. Навантаження електроприймачів

Електроприймач	Кіл ькість (шт)	Потужність, кВт
Холодильник	1	0,15
Освітлення	12	0,036
Ноутбук	3	0,048
Електрична Плита	1	1,8
Пральна машина	1	1,3
Насос «Bypass»	1	0,2
Телевізор	1	0,1
Кондиціонер	2	2,2
Всього	21	8,3



Рисунок 5. графік споживання електроенергії за добу

За показаннями лічильника електроенергії визначаємо середню кількість спожитої енергії за кожен місяць та будуємо графік

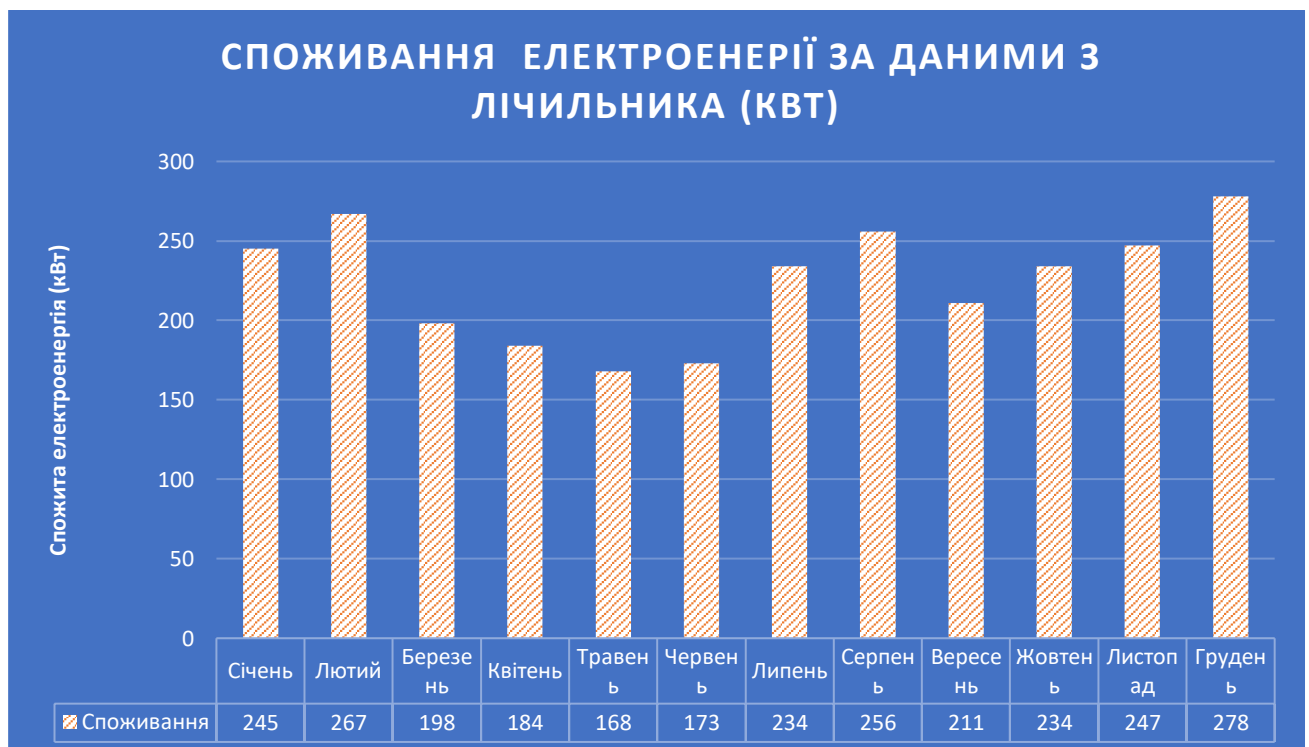


Рисунок 6. графік споживання електроенергії протягом року

Згідно з графіком споживання електроенергії за добу. Визначаємо що для діапазону з 16:00 до 7:00 наступного дня необхідно 11,5 кВт електроенергії

тому приймаємо до встановлення АКБ фірми Stromherz S-24LiFePo4 розробка та витримка 10 000 циклів з глибиною розряду 90%, та об'ємом електроенергії 11,6 кВт в кількості 6 штук [27].



Рисунок 7. Загальний вигляд АКБ фірми Stromherz

Таблиця 3. Технічні характеристики АКБ Stromherz S-24LiFePo4

Параметр	Значення
Номінальна напруга/Ємність на один модуль	76,8 В/2,3 кВт*год
Максимальна кількість батарей	До 8 модулів послідовно 614 В при 18,4 кВт*год
Рекомендований розряд	90%
Максимальний струм заряду/розряду	30 А
Рекомендований струм заряду/розряду	25 А
Протокол зв'язку	CAN/RJ45
Тип підключення силових ланцюгів	Amphenol MC4
Габаритні розміри	557мм*319мм*152,6мм на модуль

Вага	28кг
Температура заряду (C ⁰)	0-45
Температура розряду(C ⁰)	-20-55
Стандарт захисту	IP21(IP65 можливо треба підтвердити у замовленні)
Метод монтажу	На підлозі, або на стіні
Термін служби	10 років або 10 000 циклів до розряду на 90%

Обираємо BMS контролер фірми Stromherz який вбудований в акумуляторну батарею

Master BMS

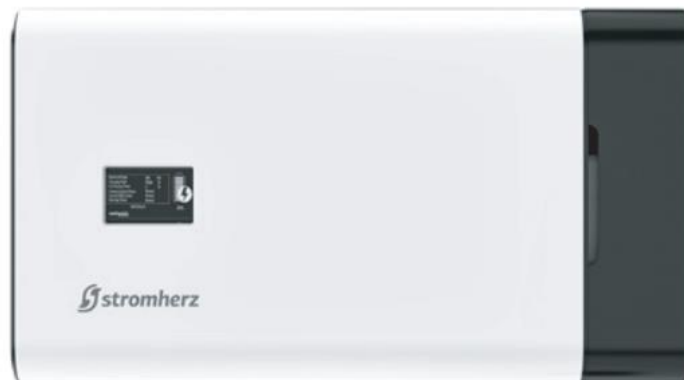


Рисунок 8. Загальний вигляд BMS контролера SM-900V-2,3kWh

Таблиця 4. Характеристики BMS контролера SM-900V-2,3kWh

Параметр	Значення
Номінальна напруга	200-900 В
Максимальний струм	30 А

заряду/розряду	
Рекомендований струм заряду/розряду	25 А
Функції	Попередня зарядка, захист від перевищення напруги//Захист від перегріву, Балансування комірок/розрахунок SOC-SOH тощо.
Інтерфейс користувача	LCD екран на приладі
Протокол зв'язку	CAN/RJ45
Тип підключення силових ланцюгів	Amphenol MC4
Габаритні розміри	557мм*319мм*152,6мм на модуль
Вага	11кг
Робоча температура (С ⁰)	-20-55
Стандарт захисту	IP21(IP65 можливо треба підтвердити у замовленні)
Метод монтажу	На підлозі, або на стіні
Термін служби	10 років

2.2. Вибір типу і параметрів фотоелектричних модулів (ФЕМ) до встановлення на приватній СЕС

Для реалізації проекту буде обрано Risen, у якості виробника ФЕМ. Даний вибір зумовлений тим, що даний виробник є одним з найбільш конкурентно спроможним на ринку фотоелектричних модулів, має доступний ціновий діапазон, що поєднується з надійністю та довгим терміном роботи фотоелементів [6].

У Risen обрано серію RSM110-8-545M 545W, для промислових станцій. Серед особливостей можна відзначити довгий термін деградації фотоелементів, що дозволяє експлуатувати фотоелементи з падінням ефективності до 85% за 30 років роботи. А також низьку теоретичну вартість одного Вт енергії, і високий ККД (до 20,6%) [6].

Серед наявних моделей у обраній серії ФЕМ, максимальний ККД залежить від обраної одиничної потужності фото-модуля. Він може змінюватись у значеннях 19,5% - 20,4%. Обрано фотоелектричний модуль – RSM110-8-545M 545W з одиничною потужністю 545 Вт .

Кут нахилу панелей:

Кут нахилу розраховується за наступною формулою:

$$\beta = 0,76\varphi + 3,1^\circ = 0,76 \cdot 47,5 + 3,1^\circ = 39,2^\circ, \quad (2.1)$$

де β – кут нахилу активної поверхні панелі до горизонту, °;

φ – широта місцевості (м. Кам'янське), де встановлюється ФЕС, °.

ФЕМ встановлюються на комплект опорних металоконструкцій з кутом нахилу 39,2°. Кут нахилу обрано оптимальним з урахування кута нахилу сонця для місця, на якому буде змонтовані сонячні панелі.

2.3. Розрахунок приведених експлуатаційних параметрів ФЕМ

Експлуатаційні параметри ФЕМ

Для того щоб обрати якісні ФЕМ треба звернути увагу на такі параметри:

- STC (Standard Test Conditions), що визначає стандартні тестові умови:
- рівень інсоляції повинен бути 1000 Вт на м²;

- температура сонячного модуля – 25°C;
- спектр випромінювання повинен відповідати відносній масі атмосфери 1,5;

Це відповідає орієнтації панелей на південь під кутом до горизонту в 37 ° і модулює наближені до весняних умов роботи модуля, на який сонячні промені опівдні падають перпендикулярно поверхні. На практиці це означає, що тільки деколи фотопанелі зможуть видавати заявлену виробником потужність, вираховану за стандартом STC. Будь-яке відхилення від стандарту, наприклад, кута падіння сонячних променів або температури модуля буде призводити до зниження фактично виробляємої потужності^[19].

-NOCT (Nominal Operating Cell Temperature) - температура модуля при типових умовах експлуатації, яка стало однією з основних характеристик панелей.

NOCT визначається за таких умов:

- інсоляція 800 Вт/м²;
- температура повітря 20°C;
- орієнтації модуля на ПД.

Чим нижче NOCT панелі, тим краще вона буде працювати. Залежно від використовуваних матеріалів і якості монтажу, температура модуля може бути на 15- 30°C вище температури навколишнього середовища. Чим вище це значення, тим більше енергії буде втрачатися. Завжди потрібно звертати увагу на параметр NOCT при виборі фотомодуля – у якісного виробника він не перевищує 47 °C. Так само, дуже важливо знати, що NOCT має на увазі відкриту задню поверхню модуля для можливості природного охолодження. В іншому випадку, панелі перегріються і їх коефіцієнт корисної дії впаде.

Проектом передбачено ФЕМ RSM110-8-545M 545W 545 Вт який має наступні номінальні характеристики:

Таблиця № 5 Параметри ФЕМ RSM110-8-545M 545W

Максимальна потужність, P_{MAX1} (W_p)	545 Вт
Максимальна напруга, U_{MPPT}	38,02 В
Максимальний струм, I_{MPPT}	18,23 А
Напруга розімкненого кола, U_{OC}	31,66 В
Струм КЗ, I_{SC}	17,22 А
ККД Модуля, η	20,9 %

Dimensions of PV Module Unit: mm

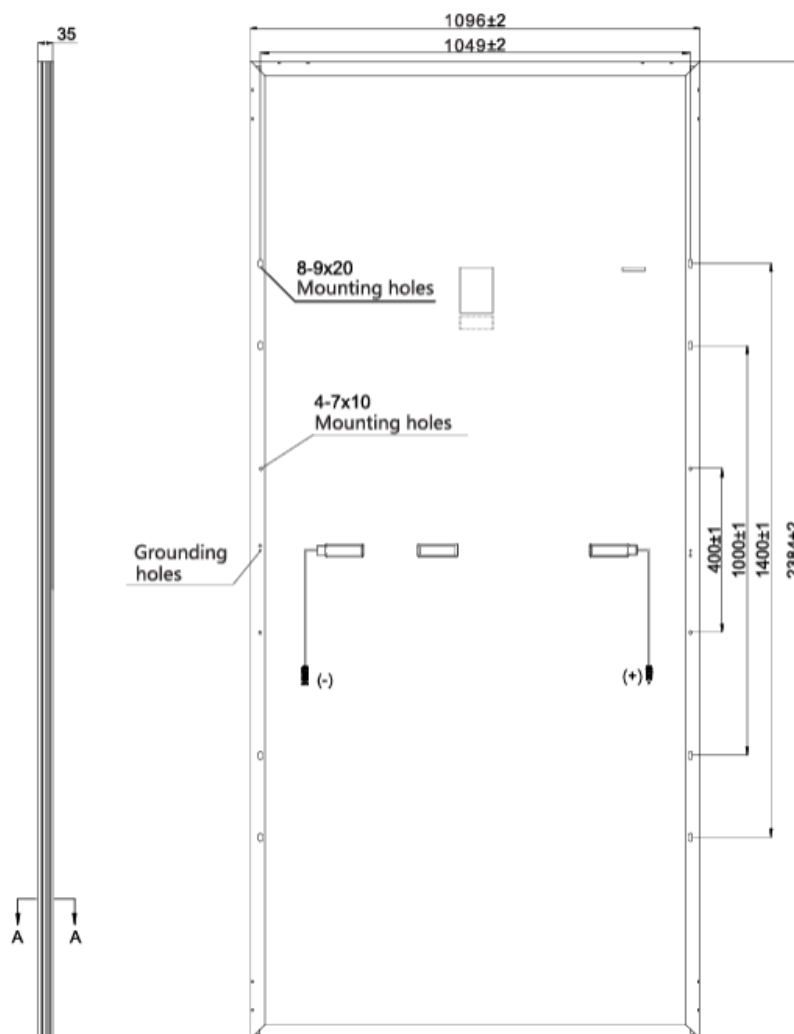


Рисунок 9 Габаритні розміри ФЕМ RSM110-8-545M 545W

Таблиця №6 Фізичні характеристики ФЕМ RSM110-8-545M 545W

Висота	2384 мм
Ширина	1096 мм
Товщина	35 мм
Маса	29 кг

Очікувана температура модуля обчислюється з NOCT за формулою:

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (NOCT - 20) \cdot (0,9 - \eta), \quad (2.2)$$

$$T_{PTC} = 20 + 1,389 \cdot (44 - 20) \cdot (0,9 - 0,209) = 43,04^{\circ}\text{C},$$

Значення $(0,9 - \eta)$ відображає частку сонячної енергії, що досягає модуля і перетвориться в тепло. Передбачається, що 10% енергії відбивається. Частина енергії перетворюється в електрику - це корисна енергія модуля, ККД, відсоток якого вказано в технічних характеристиках[21].

Якщо температура елемента для умов PTC визначена, то можна обчислити потужність по PTC з потужності STC за допомогою температурного коефіцієнта (зазначеного в технічних характеристиках) потужності (СТ):

$$P_{PTC} = P_{STC} \cdot [1 - C_T (T_{PTC} - 25^{\circ}\text{C})] = 545 \cdot [1 - 0,0034 (43,04 - 25^{\circ}\text{C})] = 512 \text{ Вт}, \quad (2.3)$$

Оптимальним є значення співвідношення P_{PTC} / P_{STC} , яке дорівнює $512/545 = 0,93$
= 93% що перевищує 88%.

2.4. Вибір кількості та параметрів інверторного обладнання для покриття потужності фотоелектричної станції

Проектом обрано інвертори типу Stromherz S-10KTL-ESS виробництва «Stromherz». Інвертор має 4 входи (стандартно по 2 стрінги на 1 MPPT-трекер). При підключенні до одного MPPT-трекера трьох стрінгів на один із входів використовується здвоєний конектор для паралельного підключення стрінгів, ланцюг захищається запобіжниками 15 А на плюсових підключеннях. Основні технічні характеристики інвертору наведені в таблиці 7 [27]:



Рисунок-10 Зовнішній вигляд інвертору Stromherz S-10KTL-ESS

Таблиця 7. Параметри інвертора Stromherz S-10KTL-ESS

Параметр	Значення
Ефективність, %	98,7
Вхідні параметри	

Максимальна напруга, В	400
Максимальна потужність, Вт	13 000
Діапазон робочої напруги МРРТ контролера, В	200-850
Кількість входів постійного струму на один МРРТ контроллер	2
Кількість МРРТ контролерів	2/2
Вихідні параметри	
Номінальна активна потужність, Вт	10 000
Номінальна напруга, В	850
Максимальний струм, А	16.5
Частота мережі, Гц	50/60
Механічні параметри	
Габаритні розміри, Д x Ш x В, мм	410 x 550 x 175
Маса, кг	28
Рівень захисту по ГОСТ 14254-96	IP65

Для того, щоб визначити потужність СЕС , потрібно згідно формули визначити кількість встановленого інверторного обладнання:

$$N_{inv} = P_{ФЕС}/P_{ном.інв} = 10 \text{ кВт} / ((10 / 100\%) \cdot 98,7\%) \text{ кВт} = 1 \text{ шт}, \quad (2.4)$$

де $P_{ФЕС}$ – потужність фотоелектричної станції, відповідно до технічних умов, кВт;

$P_{ном.інв}$ – номінальна одинична потужність інвертора, прийнятого до встановлення, кВт.



Рисунок 11 – Інтерфейс користувача інвертором

Для початку роботи інвертора потрібна стартова потужність, вона залежить від часу доби, кількості встановлених ФЕМ, та потужності інвертора і налаштувань в ньому. ККД інвертора становить приблизно 98,7% що забезпечує перетворення значної частки електроенергії. Виробники пропонують перевантажувати обладнання виникнення вищих гармонік має шкідливий вплив на електрообладнання і зменшення строку служби. Тому потрібно для роботи спочатку налаштувати інвертор, а саме початкову напругу, максимальну потужність, максимальну напругу.

2.5. Розрахунок параметрів та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ

Максимальний струм у колі

Струм, що генерується сонячними батареями, залежить від типу з'єднання. В послідовному з'єднанні сила струму дорівнює значенню найбільш слабкої ланки в стрінзі. При паралельному з'єднанні струм дорівнює сумі струмів від окремих панелей. Значення струму також залежить від температури, чим вона вище, тим вище струм, що генерується. Зміна інтенсивності струму в залежності від температури визначається коефіцієнтом I_{sc} панелі (в нашому випадку 0,04 %/К). Максимальний струм, який може генерувати одна панель, можна розрахувати за формулою:

$$I_{sc(Tr)} = I_{sc} \cdot (1 + ((Tr - 25) \cdot \alpha_T) / 100)) = 18,23 \cdot (1 + ((85 - 25) \cdot 0,05) / 100)) = 18,77 \text{ A}, \quad (2.5)$$

де: $I_{sc(Tr)}$ — значення струму сонячної батареї при 85° С;

I_{sc} — значення струму короткого замкнення в умовах STC,
вказане в характеристиці модуля (18,23 А);

Tr — максимальна температура (85 °С);

α_T — температурний коефіцієнт I_{sc} (0,05 %/К).

Максимальна напруга в колі

На відміну від струму, напруга, що видається сонячною батареєю, збільшиться при падінні температури панелі. Розрахунки проводять для граничної температури батареї рівної -25 ° С. Теоретично більш висока напруга буде мати місце при подальшому падінні температури, проте на практиці зимою практично неможливо отримати температуру на сонячному модулі менш ніж -25 ° С в умовах необхідної освітленості для початку генерації енергії. При розрахунку максимальної напруги враховуються:

- напруга холостого ходу, температурний коефіцієнт β_T .
- значення максимальної напруги розраховується за формулою:

$$U_{OC (Tr)} = U_{OC} (1 + ((Tr - 25) \cdot \beta_T) / 100)) = 38,02 (1 + ((-40 - 25) \cdot -0,28) / 100)) = 44,93 \text{ В}, \quad (2.6)$$

де: $U_{oc (Tr)}$ — значення напруги при температурі — 40 °С;

U_{oc} — напруга холостого ходу (38,02 В);

Tr — мінімальна робоча температура (-40 °С);

β_T — температурний коефіцієнт модуля (-0,29%/К).

Ґрунтуючись на цьому значенні, ми можемо підрахувати кількість модулів в стрінгу, з'єднаних послідовно.

$$N_{max} \leq U_{DC \ max} / U_{OC (Tr)} \text{ шт.}, \quad (2.7)$$

$$N_{max} \leq 850 / 44,94 \text{ шт.}, \quad (2.7)$$

$$N_{max} \leq 19 \text{ шт.}, \quad (2.7)$$

де $U_{DC \ max}$ — максимально допустиме значення напруги на вході перетворювача.

2.6 Розрахунок мінімальної кількості модулів в колі з урахуванням допустимої пускової напруги інвертора

Кожний інвертор має мінімальну напругу на вході, в нашому випадку це 200 В. В свою чергу, модулі досягають мінімальної робочої напруги при граничній температурі 85° С. Тому мінімальна кількість панелей в стрінгу розраховується для цієї ж температури, округляючи значення в більшу сторону. В цьому випадку використовуються

формули:

$$U_{OC(Tmax)} = U_{OC} \cdot (1 + ((Tmax - 25) \cdot \beta_T) / 100) = 38,02 \cdot (1 + ((85 - 25) \cdot -0,34) / 100) = 30,3 \text{ В}, \quad (2.8)$$

$$N_{min} \geq U_{DC\ start} / U_{OC}(T_{max}) \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

$$N_{min} \geq 200 / 30,3 \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

$$N_{min} \geq 7 \text{ шт.}, \quad (2.9)$$

де:

$U_{oc}(T_{max})$ — напруга при максимальній температурі 85 ° C;

U_{oc} — напруга холостого ходу (38,02 В);

T_{max} — максимальна робоча температура (85 ° C);

β_T — температурний коефіцієнт модуля (-0,34 %/К);

N_{min} — мінімальна кількість сонячних батарей;

$U_{DCstart}$ — початкова напруга, що подається (200В).

таким чином рекомендується встановлювати послідовно не менше 7 модулів в один стрінг.

Визначення допустимої кількості модулів в колі з урахуванням МРР трекаера інвертора

Інвертор має оптимальний діапазон напруги для роботи МРР трекаера. В нашому випадку цей діапазон в межах: 200-850 В. При визначенні кількості модулів, що підключені до одного входу МРР, необхідно визначити кількість панелей. При чому все коло буде генерувати напругу в робочому діапазоні МРРТ при певних умовах. В цьому випадку підраховується максимальна і мінімальна напруга сонячної батареї для умов МРРТ, при цьому максимальне значення напруги підраховується при -25 ° C та мінімальне значення при +70 ° C^[6]. На основі цих значень розраховується оптимальна кількість панелей за формулою:

$$U_{MPP}(T_{max}) = U_{MPP(STC)} \cdot (1 + ((T_{max} - 25) \cdot \beta_T / 100)) = 31,66 \cdot (1 + ((85 - 25) \cdot -0,34 / 100))$$

$$= 25,20 \text{ В.} \quad (2.10)$$

$$N_{min} \cdot U_{MPP}(T_{max}) \geq U_{DC \text{ min}},$$

$$N_{min} \cdot 25,2 \geq 200$$

$$N_{min} \geq 8,$$

де: $U_{MPP}(T_{max})$ — напруга сонячної батареї при 85 °С;

$U_{MPP(stc)}$ — оптимальна напруга МРРТ (40,3 В);

T_{max} — максимальна робоча температура (85 °С);

β_T — індекс температури модуля (0,34%/К);

N_{min} — мінімальна кількість модулів в стринзі;

$U_{dc \text{ min}}$ — мінімальне значення МРРТ інвертора (200 В).

Отриманий результат округляємо до найближчого більшого значення.

Таким чином, рекомендується встановити не менше 8 модулів у стрінг для оптимальної роботи МРРТ інвертора.

Згідно з розрахунками, до інвертора 10 кВт Stromherz S-10KTL-ESS рекомендується приєднувати від 18 до 28 сонячних батарей RSM110-8-545M 545W. Для нормального режиму роботи інвертора в одному стринзі буде 10 панелей.

2.7 Визначення конструктивних параметрів встановлення ФЕМ

ФЕМ встановлюються на комплект опорних металоконструкцій з кутом нахилу. Опорні металоконструкції для встановлення ФЕМ:

- Опори встановлюються в несучі балки покрівлі та закріплюються торцевими болтами кожна в кількості 4 шт;

- Кріплення опор виконується торцевими болтами М12;



Рисунок 11. Алюмінева опора встановлена на покрівлі будинку

У нашому випадку, столи виконуються фотоелектричними модулями у вигляді 2 збірок по 10 сонячних модулів в кожній або 2 ряди по 10 панелей в ряду (кількість модулів у збірці-стріngu визначається з розрахунку оптимальної їх кількості для роботи інвертора у оптимальному режимі).

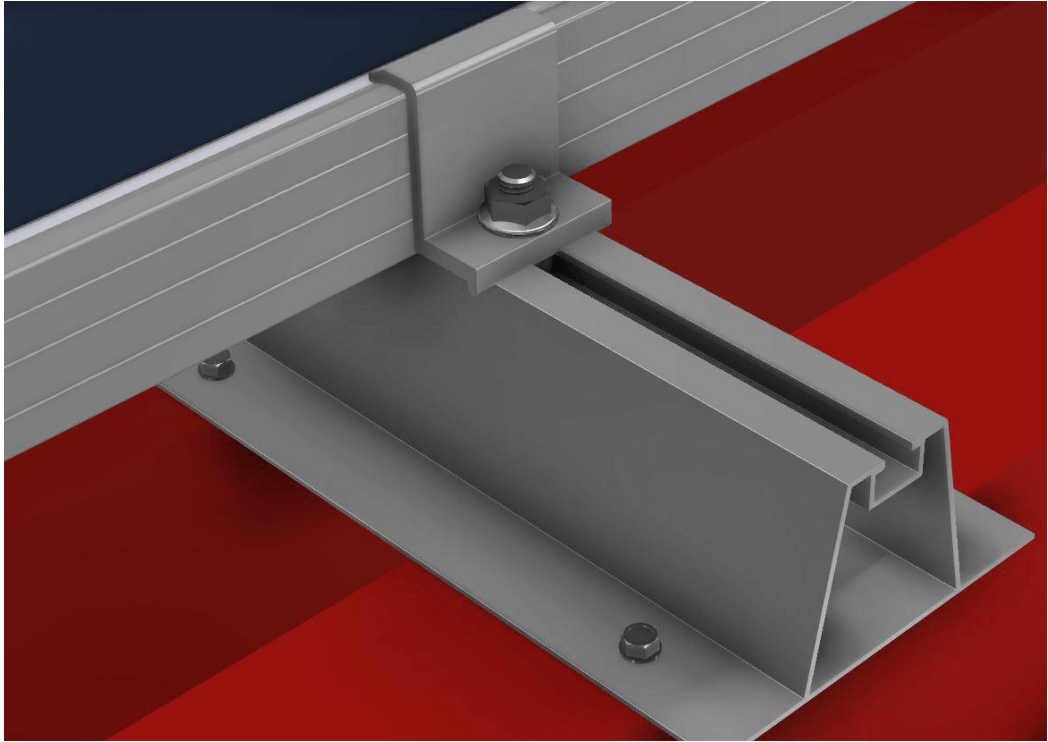


Рисунок 12. зображення кріплення ФЕМ

Особливості конструкції:

1. З'єднання одного ряду сонячних панелей здійснюється послідовно між собою, утворюючи один стрінг. З'єднання ряду панелей в один стрінг здійснюється заводськими подовженими виводами і конекторами. Кожен стрінг підключається кабелем PV 6 мм² із застосуванням конекторів PV-C1F-S (+) та PV- C1F-S (-).

2. Кожен стрінг притискається спеціальним затискачем з торцевим болтом.

3. Прокладка кабелів PC 6 мм² виконується за сонячними панелями в повітряному зазорі 70 мм.

4. Проводи стрінгів від одного ряду, опускаються до інвертору по кабель каналу.

5. Відстань між сусідніми стрінгами в одному ряді приймається рівною 0,3 м. Довжина стрінга визначається за геометричними розмірами ФЕМ та їх кількості в одному стрінгу з урахуванням технологічних відстаней між панелями для їх кріплення до металоконструкцій (приймається за конкретними

розмірами кріплень).

Таким чином, довжина стрінгу обчислюється:

$$L_{ст} = N_{ФЕМ} \cdot b_{ФЕМ} = 20 \cdot 1,016 = 21,1 \text{ м}, \quad (2.7.1)$$

де $b_{ФЕМ}$ – ширина модуля, м

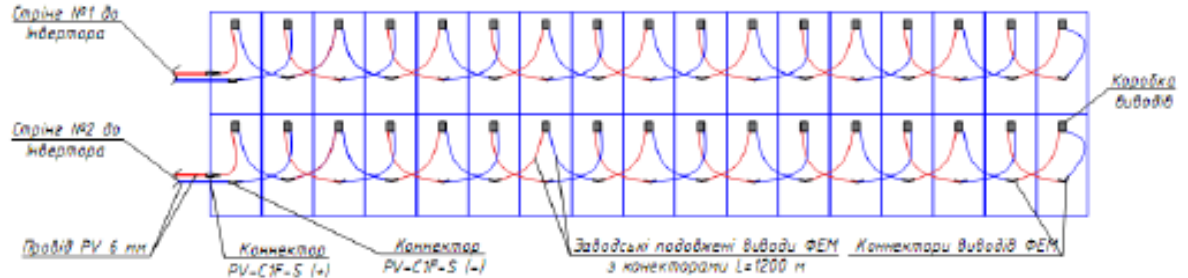


Рисунок 13. Зображення підключення ФЕМ у стрінг

2.8 Визначення сумарних втрат потужності в мережі постійного струму

Для електричних мереж постійного струму розрахунок втрат потужності виконується, виходячи з наведених вище міркувань.

Довжина кабелю типу PV 1x6 складає по лінії «+» 13 м, і «-» 13 м

$$\Delta P = 2 \cdot I_{стр}^2 \cdot I_{кл.DC} \cdot R_0 = 2 \cdot 10^2 \cdot 13 \cdot 3,1 = 0,806 \text{ кВт}, \quad (2.11)$$

де :

R_0 – питомий опір КЛ постійного струму, який дорівнює для кабелю перерізом 6 мм^2 можна прийняти значенням $3,1 \text{ Ом/км}$;

$I_{стр}^2$ - струм, який протікає через стрінг (збірку) ФЕМ, А.

Втрати в мережі постійного струму складають, %:

$$\Delta P\% = \frac{\Delta P_{DC}}{P_{інв}} \cdot 100\% = \frac{0,806}{10} \cdot 100\% = 8,06. \quad (2.12)$$

2.9 Визначення загальної кількості фотоелектричних модулів

Втрати в мережі постійного струму та неоптимальні умови роботи ФЕМ доцільно компенсувати шляхом додаткового встановлення сонячних модулів в ланцюгах інверторів з урахуванням ККД інвертора та ККД мережі DC.

Кількість ФЕМ, які мають бути підключені до одного інвертора, можна визначити зі співвідношення та округлити до більшого парного числа, враховуючи переважну парну кількість панелей, що формують стрінг ФЕМ:

$$N_{\text{ФЕМ}}^{\text{інв}} = \frac{P_{\text{інв}}}{P_{\text{РТС}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot \eta_{\text{DC}}} = \frac{10000}{545 \cdot 0,987 \cdot 0,94} = 20 \text{ шт.} \quad (2.13)$$

Кількість ФЕМ, які формують СЕС, можна визначити зі співвідношення за кількістю інверторного обладнання:

Кількість модулів ФЕМ RSM110-8-545M 545W:

$$N_{\text{фем}} = P_{\text{ФЕС}} / (P_{\text{РТС. фем}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = 10000 / (512 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 21 \text{ шт.} \quad (2.14)$$

2.10. Розрахунок продуктивності СЕС

Обчислення вироблення СЕС електричної енергії W :

$$W = E_H * k_{\text{мод}} * k_{\text{інв}} * S * k_{w1} * k_{w2} * k_{w3} * k_{\text{тр}} * k_{\text{г}}, \text{кВт} * \text{год} \quad (2.14)$$

де E_H – середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції),
кВт·год/(м² · день);

$k_{\text{мод}}$ – ККД фотоелектричного модуля;

$k_{\text{інв}}$ – ККД інвертора;

k_{w1} – втрати змінного струму в мережі до 1 кВ;

k_{w2} – втрати змінного струму в мережі понад 1 кВ;

k_{w3} – втрати в мережі постійного струму;

$k_{\text{тр}}$ – ККД трансформатора (обчислюють згідно з паспортними даними трансформатора та проектною генерації ФЕС після введення її в експлуатацію);

$k_{\text{г}}$ – коефіцієнт готовності ФЕС.

S – загальна сумарна площа фотобатарей, м².

РОЗПОДІЛ ПИТОМОЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ НА ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ ПРОТЯГОМ РОКУ

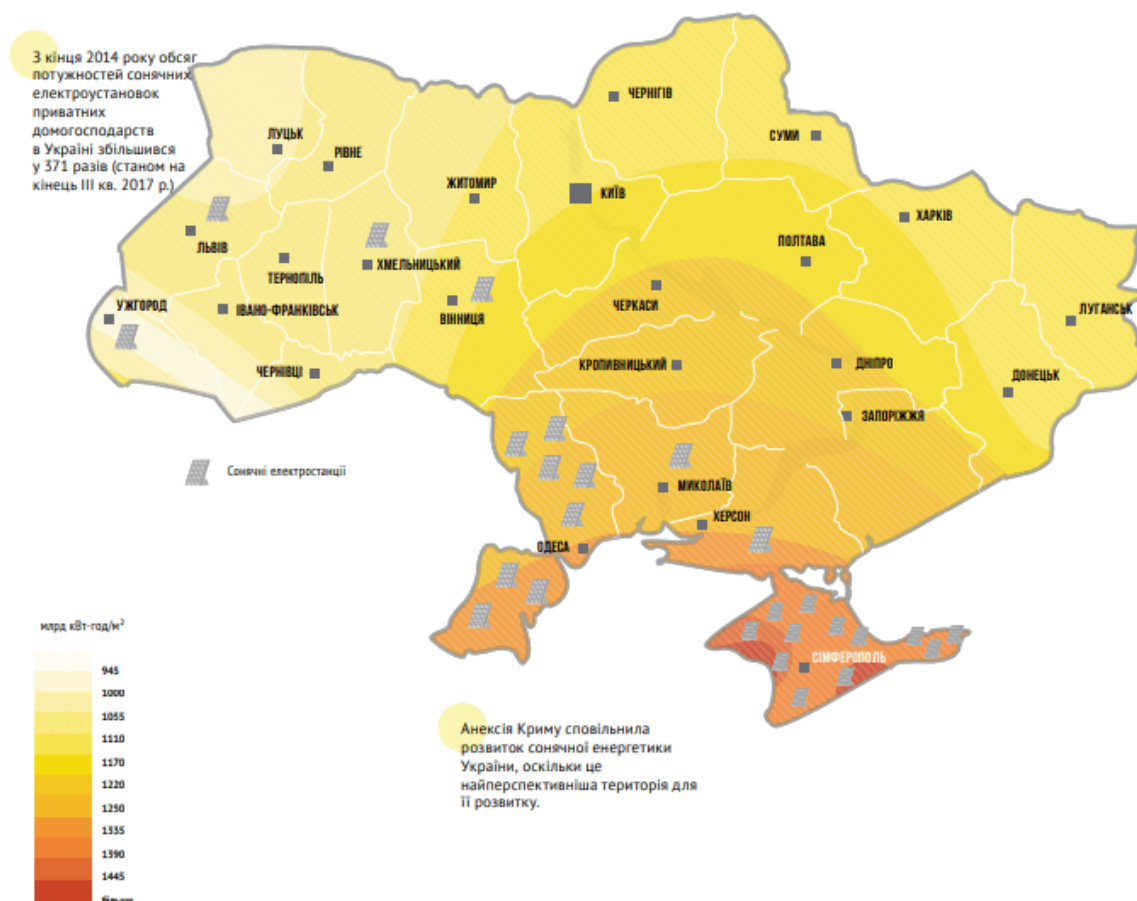


Рис.14 – Рівень інсоляції в Україні

У разі попереднього оцінювання техніко-економічних показників майданчиків:

- добуток $k_{інв} * S * k_{w1} * k_{w2} * k_{w3} * k_{тр} * k_{г}$ - рекомендовано взяти таким, що дорівнює 0,88—0,92; - ККД фотоелектричного модуля кмод беруть відповідно до вибраного типу ФЕМ;

- загальну сумарну площу фотобатарей S визначають за передпроектним кресленням розміщення фотобатарей на майданчику (за максимально можливої щільності з урахуванням раціонального розміщення їх та незатінення).

Таблиця 8. Середньомісячний рівень сонячної іррадіації (інсоляції), кВт·год/(м²·день)

Регіон/Місяці	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопад	Грудень
Камянське (Дніпро)	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96

- попередньо визначимо площу станції, тобто площу поверхні, яка перетворюватиме енергію сонця в електричну:

$$S_{\text{ФЕС}} = S_{\text{фем}} \cdot N_{\text{фем}} = 2,613 \cdot 21 = 55,4 \text{ м}^2$$

Розрахунок щомісячного вироблення електроенергії СЕС:

Січень:

$$W_{\text{ср.доб.01}} = 1,21 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день},$$

$$W_{01} = W_{\text{ср.доб.01}} \cdot N_{\text{діб.01}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = \\ = 1,21 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 400,4 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Лютий:

$$W_{\text{ср.доб.02}} = 1,99 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день},$$

$$W_{02} = W_{\text{ср.доб.02}} \cdot N_{\text{діб.02}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = \\ = 1,99 \cdot 29 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 594,78 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Березень:

$$W_{\text{ср.доб.03}} = 2,94 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день},$$

$$W_{03} = W_{\text{ср.доб.03}} \cdot N_{\text{діб.03}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = \\ = 2,94 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 986,11 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Квітень:

$$W_{\text{ср.доб.04}} = 4,04 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день}$$

$$W_{04} = W_{\text{ср.доб.04}} \cdot N_{\text{діб.04}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = \\ = 4,04 \cdot 30 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1296,96 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Травень:

$$W_{\text{ср.доб.05}} = 5,48 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{день}$$

$$W_{05} = W_{\text{ср.доб.05}} \cdot N_{\text{діб.05}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{інв}} \cdot K_w) = \\ = 5,48 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1836,55 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Червень:

$$W_{\text{ср.доб.06}} = 5,55 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{06} = W_{\text{ср.доб.06}} \cdot N_{\text{дiб.06}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 5,55 \cdot 30 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1843,17 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Липень:

$$W_{\text{ср.доб.07}} = 5,66 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{07} = W_{\text{ср.доб.07}} \cdot N_{\text{дiб.07}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 5,66 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1886,19 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Серпень:

$$W_{\text{ср.доб.08}} = 5,09 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{08} = W_{\text{ср.доб.08}} \cdot N_{\text{дiб.08}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 5,09 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1681,03 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Вересень:

$$W_{\text{ср.доб.09}} = 3,67 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{09} = W_{\text{ср.доб.09}} \cdot N_{\text{дiб.09}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 3,67 \cdot 30 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 1172,06 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Жовтень:

$$W_{\text{ср.доб.10}} = 2,24 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{10} = W_{\text{ср.доб.10}} \cdot N_{\text{дiб.10}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 2,24 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 751,17 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Листопад:

$$W_{\text{ср.доб.11}} = 1,23 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{11} = W_{\text{ср.доб.11}} \cdot N_{\text{дiб.11}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 1,23 \cdot 30 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 384,28 \text{ кВт}\cdot\text{год},$$

Грудень:

$$W_{\text{ср.доб.12}} = 0,96 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2/\text{день}$$

$$W_{12} = W_{\text{ср.доб.12}} \cdot N_{\text{дiб.12}} \cdot (S_{\text{ФЕС}} \cdot \eta_{\text{ФЕМ}} \cdot \eta_{\text{iнв}} \cdot K_w) = \\ = 0,96 \cdot 31 \cdot (55,4 \cdot 0,209 \cdot 0,97 \cdot 0,95) = 317,67 \text{ кВт}\cdot\text{год}$$

Визначаємо кількість виробленої електроенергії за рік – 13150,38
кВт*год.

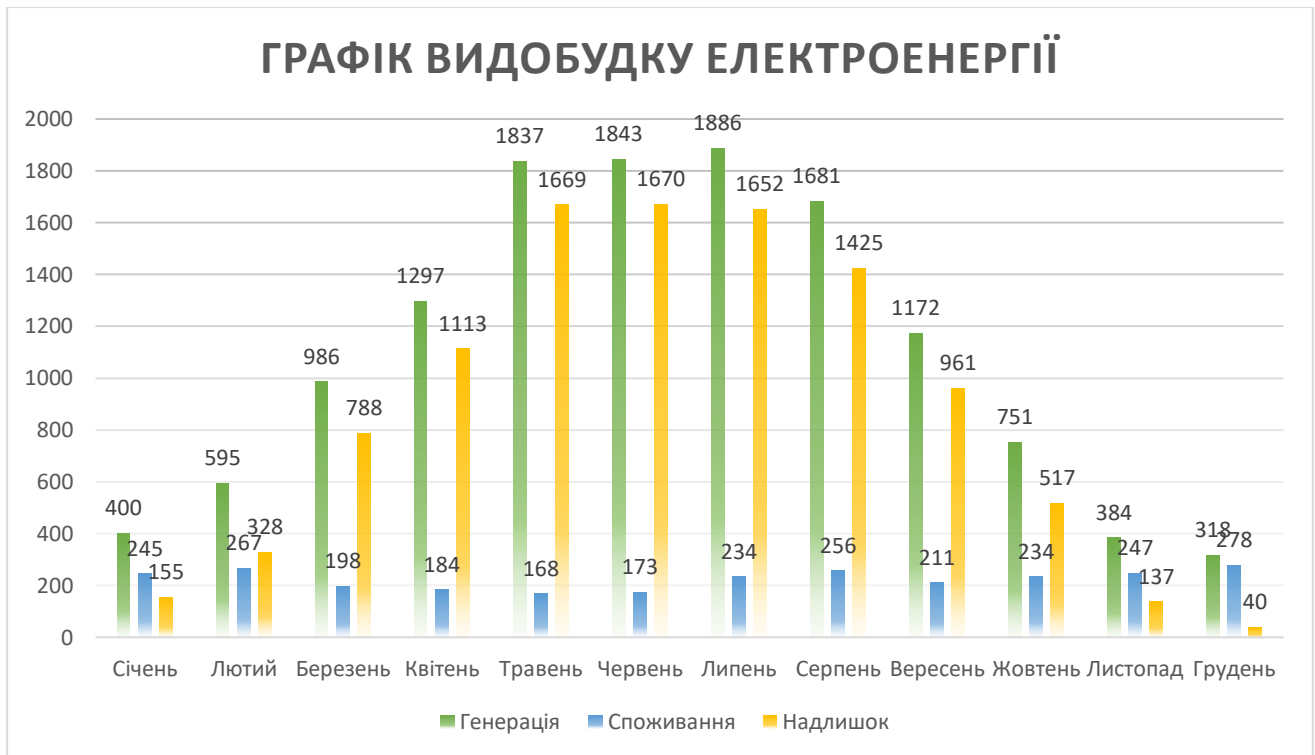


Рис 15. Графік щомісячного виробництва енергії

Економічна частина

3.1 Техніко-економічне обґрунтування розробки електричної частини СЕС

В даній кваліфікаційній роботі основною метою є розробка електричної частини сонячної електростанції потужністю 10 кВт. А саме, вибір найдоцільнішого та найефективнішого електричного обладнання для встановлення, яке відповідає заданим технічним умовам.

В умовах воєнного стану в Україні, у сонячній енергетики є перспективи зайняти більшу частку ринку споживачів електроенергії тому, що вона має незалежне живлення і не потребує напруги від промислової мережі.

Сонячне світло – це найпоширеніший ресурс для вироблення електроенергії, який є невичерпним джерелом на нашій планеті. СЕС – це безпечний спосіб акумулювання енергії сонця. В наш час це оновна причина для використання сонячної енергії. Зважаючи на те, що сонце це джерело електроенергії залежне від доби, погодних умов та пори року, необхідно встановлення накопичуючих систем для стабілізації споживання електроенергії.

Для забезпечення довготривалої та безперебійної експлуатації електричного обладнання необхідно провести ретельний розрахунок, враховуючи всі номінальні параметри обладнання. Цей процес передбачає визначення оптимальних технічних характеристик та вибір обладнання, яке відповідає вимогам установки, взаємодіє з іншими елементами системи та демонструє ефективну функціональність.

Обираючи якісне електричне потрібно визначились :

- З об'ємом споживання електроенергії та вибором АКБ
- Типом і параметрами фотоелектричних модулів (ФЕМ) для встановлення на приватній СЕС
- Розрахували приведені експлуатаційні параметри ФЕМ
- Розрахували параметри та схеми з'єднань стрінгів ФЕМ

- Визначили конструктивні параметри встановлення ФЕМ
- Визначили сумарні втрати потужності в мережі постійного струму
- Визначили загальну кількість фотоелектричних модулів
- Розрахували продуктивність СЕС

Результатом кваліфікаційної роботи передбачено економічне обґрунтування та остаточне прийняття рішення до встановлення електричного обладнання. Після того, як буде вибрано обладнання, рекомендовано переходити до стадії підготовки будівельного майданчика та монтажу сонячної електричної станції.

У економічній частині кваліфікаційної роботи увагу акцентовано на розрахунках витрат, пов'язаних з будівництвом сонячної електростанції. Після вибору електричного обладнання необхідно провести комплексний розрахунок його капітальних вкладень, включаючи витрати на придбання, транспортування обладнання до місця встановлення, його монтаж та налагодження

3.2 Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати – це кошти, призначені для створення і придбання основних фондів і нематеріальних активів, що підлягають амортизації.

Капітальні витрати з реалізації проектного технічного рішення в даному дипломному проекті включають:

- витрати на придбання обладнання;
- витрати, пов'язані з виконанням будівельно-монтажних робіт;
- витрати, пов'язані з виконанням монтажно-налагоджувальних робіт;

Проектні капітальні витрати в устаткування і будівельно-монтажні роботи визначаються на основі цін, наведених у відкритих інформаційних джерелах оптового продажу обладнання та за фактичними витратами підприємства.

Величину проектних капіталовкладень ($K_{пр}$) можна визначити за формулою

(3.2.1):

$$K_{пр} = K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right) + Z_{тзс} + Z_m + Z_n + Z_{пр}, \quad (3.1)$$

де $K_{об} \left(\sum_{i=1}^k C_i \right)$ - вартість придбання електрообладнання за проектом (сумарна вартість комплектуючих елементів i - го виду, необхідних для реалізації прийнятого технічного рішення);

k - кількість необхідних комплектуючих елементів;

$Z_{тзс}$ – транспортно-заготівельні і складські витрати;

Z_m – витрати на монтажні роботи;

Z_n - витрати на налагоджувальні роботи; $Z_{пр}$ – інші одноразові вкладення грошових коштів.

В даному проекті обрано до встановлення наступне обладнання:

- інверторне обладнання одиничною потужністю 10 кВт (1 шт.);
- фотоелектричні модулі одиничною потужністю 545 Вт (20 шт.);

Таблиця 9. Зведення капітальних витрат

розрахунок капітальних витрат					
	2	3	4	5	6
	Найменування технічних засобів (комплектуючих виробів)	кількість	од.вим	Ціна за одиницю, грн	Сума грн
	Вартість матеріалів				
	Фотоелектрична панель Risen RSM144-6-410BMDG	20	шт.	4800	96000
	Кабель постійного струму 6мм ² PV 2 пари червоний та чорний	68	м.	45	3060
	Інвертор Stromherz S-10KTL-ESS	1	шт.	234 600	234 600
	Конструкція для кріплення панелей	44	шт.	429	18876
	Кабельний з'єднувач MC4 , пара	4	шт.	45	180
	Акумуляторна батарея S-24, 2,3kWh LiFePo4	5	шт	26400	132000
	Блок керуванням заряду Stromherz SM-900V-2,3kWh	1	шт	31700	31700

Вартість транспортно-заготівельних і складських витрат (З_{тзс}) визначається виходячи з:

- відстані доставки обладнання від місця придбання до місця експлуатації;
- кількості, маси і габаритів устаткування;
- виду транспортних засобів;
- транспортних тарифів;

- розцінок на вантажно-розвантажувальні роботи;
- витрат на складську обробку.

В даному проекті вартість транспортно-заготівельних і складських витрат ($Z_{тзс}$) визначена з урахуванням маршруту доставки, габаритів, загальної ваги обладнання та загального обсягу обладнання[20].

Усі розрахунки проведено з умовними тарифами компанії Delivery Group (ознайомитись можна за посиланням: <https://www.delivery-auto.com/uk-UA/CalculateCost>).

$$K_{тр} = 4572 \text{ грн}$$

Витрати на монтажні (Z_M) і на налагоджувальні роботи (Z_H) можна визначити за формулою

$$Z_{M(H)} = \sum (Ч_i * a_i * t_i) * K_d * K_{см} * K_{пр}, \quad (3.2)$$

де $Ч_i$ – чисельність працівників і-го розряду, необхідних для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), чол.;

a_i – годинна тарифна ставка працівника і-го розряду, грн.;

t_i – час, необхідний для виконання певного обсягу монтажних (налагоджувальних робіт), год.;

K_d – коефіцієнт, що враховує розмір доплат;

$K_{см}$ – коефіцієнт, що враховує єдиний соціальний внесок;

$K_{пр}$ – коефіцієнт, що враховує інші витрати на здійснення монтажних (налагоджувальних) робіт.

$$Z_M = (2 * 80 * 24) * 1,2 * 1,22 * 1,1 = 6184 \text{ грн,}$$

Витрати на налагоджувальні роботи (Z_H) визначаються за формулою

$$Z_H = (2 * 80 * 4) * 1,2 * 1,22 * 1,1 = 1030 \text{ грн},$$

Прийнято до уваги, що пусконаладжувальними роботами є комплекс робіт, що включає перевірку, налаштування і випробування електрообладнання з метою

забезпечення електричних параметрів і режимів, заданих проектом.

При

виконанні ПНР були враховані вимоги нормативно-технічної документації (НТД), проекту, та експлуатаційна документація підприємств-виробників.

Витрати на придбання технічних засобів, комплектуючих виробів, а також на монтажні і налагоджувальні роботи представлено у вигляді зведення капітальних витрат до таблиці 9.

Згідно формули 3.2.1 розраховуємо капітальні витрати проекту:

$$K_{\text{пр}} = 516\,416 + 4572 + 6184 + 1030 = 528\,202 \text{ грн} \quad (3.3)$$

3.3. Розрахунок Амортизаційних відрахувань

Амортизація об'єкта основних засобів нараховується виходячи з терміну його корисного використання. Строк корисного використання (експлуатації) об'єктів основних засобів і нематеріальних активів визначається підприємством самостійно, виходячи з очікуваних економічних вигод, технічних і якісних характеристик основного засобу, і фізичного зносу, а також інших факторів, які впливають на можливість використання.

Податковим кодексом України дозволено використовувати прямолінійний (пропорційний) метод амортизації, при якому річна сума

амортизації визначається діленням вартості, яка амортизується, на строк корисного використання об'єкта основних засобів. Вартістю основних засобів і нематеріальних активів, що амортизується, є первісна або переоцінена вартість основних засобів і нематеріальних активів за вирахуванням їх ліквідаційної вартості, яка розраховується за формулою (3.3.1 – 3):

$$\Phi_a = \Phi_n - Л, \quad (3.3)$$

де Φ_n – первісна (або переоцінена) вартість об'єкта основних засобів;
 $Л$ – розрахункова ліквідаційна вартість основних засобів.

Якщо визначити очікувану ліквідаційну вартість об'єкта основних засобів складно, то при прямолінійному методі амортизації дозволяється вважати її рівною нулю. Норма амортизації при прямолінійному методі постійна протягом усього амортизаційного періоду і дорівнює[19]:

$$H_a = \frac{\Phi_n - Л}{\Phi_n * T_n} * 100\% \quad (3.4)$$

де T_n – термін корисного використання (амортизаційний період).

Термін корисного використання об'єктів основних засобів для нарахування амортизації, який приймається у даній роботі, відповідає мінімально допустимому терміну корисного використання для споруд (третья група основних засобів) і становить 12 років.

У розрахунку приймаємо первісну вартість об'єктів основних засобів рівною витратам на придбання основних засобів. Ліквідаційну вартість приймаємо рівною 8% від початкової вартості основних засобів, що підлягають амортизації. Норма амортизації становитиме:

$$H_a = \frac{528\,202 - 52800}{(528\,202 * 12)} * 100\% = 7,5\%,$$

Тоді річні амортизаційні відрахування АО за прямолінійним методом:

$$AO = \frac{\Phi_n * H_a}{100},$$

$$AO = \frac{528\,202 * 7,5\%}{100\%} = 39615 \text{ грн,}$$

Річний фонд амортизаційних відрахувань визначається за видами основних фондів та нематеріальних активів за розділами зведення капітальних витрат для проектного варіанту і за даними підприємства про балансову вартість замінного устаткування для базового варіанту. Результати розрахунків заносяться до таблиці:

Таблиця № 10 Амортизаційні відрахування

№1	Найменування	Капітальні вкладення, грн	Норма амортизації, %	Амортизаційні відрахування, грн
1	Приватна СЕС	528 202	7,5	39615

3.4. Визначення річних витрат на технічне обслуговування і поточний ремонт

Річні витрати на технічне обслуговування і поточний ремонт електротехнічного обладнання включають витрати на матеріали, запасні частини, заробітну плату ремонтним робітникам і можуть визначатися за фактичними даними підприємства.

Витрати на поточний ремонт апаратури автоматики і систем автоматизації можна розрахувати за формулою:

$$Z_{т.р.} = \sum_{i=1}^n \left(R_i * t_i * m_i * R_{\Sigma i} + \frac{S_i * \Pi_i}{T_i} * T_{\phi} \right) \quad (3.4)$$

де n – число пристроїв автоматики, що підлягають ремонту;

R_i – годинна ставка робітників, що виконують ремонт, грн;

t_i – трудомісткість одного ремонту при категорії складності ремонту в одну ремонтну одиницю залежно від виду ремонту год./ од;

m_i – число ремонтів за рік (наприклад, для закритих електромашин число малих ремонтів - 2, середніх - 1, капітальних - 0,1);

$R_{\Sigma i}$ – сумарна категорія складності ремонту в залежності від виду електрообладнання

S_i - вартість однотипних замінних елементів, грн.;

Π – кількість однотипних замінних елементів;

T – середній термін служби деталей даного типу, год.;

$$Z_{т.р} = 6745 \text{ грн}$$

3.5 Розрахунок експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати - це поточні витрати на експлуатацію та обслуговування об'єкта проектування за певний період (рік), виражені в грошовій формі.

До основних статей експлуатаційних витрат електротехнічного устаткування відносяться:

- амортизаційні відрахування (C_a);
- заробітна плата обслуговуючого персоналу (C_3);
- єдиний соціальний внесок (C_c);
- витрати на технічне обслуговування й поточний ремонт устаткування та мереж (C_T);

- інші експлуатаційні витрати (C_{np}).

Таким чином, річні експлуатаційні витрати складуть:

$$C = C_a + C_z + C_c + C_m + C_{np}, \text{ грн,} \quad (3.5)$$

$$C = 39615 + 6775 = 51946 \text{ грн} \quad (3.5)$$

3.6. Розрахунок річної економії від впровадження науково-технічного рішення

Річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення (E_{kp}) полягає в наступному:

- безпосередній економії ресурсів (електроенергії), зниженні собівартості і збільшенні прибутку від реалізації продукції ;

- економії платежів за спожиту електроенергію за рахунок застосування диференційованих (багатозонних) тарифів на електроенергію та упорядкування графіка навантажень або підвищення класу точності приладів обліку;

Повна річна економія від впровадження прийнятого науково-технічного рішення визначається з урахуванням експлуатаційних витрат по даному об'єкту:

$$E_{kn} = E_{kp} - C, \text{ грн.} \quad (3.6)$$

$$E_{kn} = 90\,487 - 46\,360 = 44\,127 \text{ грн.} \quad (3.6)$$

3.7. Визначення та аналіз показників економічної ефективності

Оцінка економічної ефективності розглянутих у кваліфікаційній роботі технічних і організаційних рішень здійснюється на основі визначення та аналізу наступних показників:

а) розрахункового коефіцієнта ефективності (прибутковості) капітальних витрат E_p ;

б) терміну окупності капітальних витрат T_p .

K_{np} - капітальні витрати за варіантом, що викликали економію, тис. грн.

Термін окупності капітальних витрат T_p показує, за скільки років вони окупляться за рахунок загальної економії від впровадження прийнятого технічного рішення:

$$T_p = K_{np}/E_{kn}, \text{ років} \quad (3.7)$$

$$T_p = 528202/44\ 127=11,97 \text{ років} \quad (3.7)$$

ВИСНОВКИ

Під час розробки проекту електричної частини СЕС потужністю 10 кВт, враховано встановлення всіх найважливіших вузлів.

Для перетворення сонячного випромінювання в електроенергію постійного струму на опорних конструкціях встановлюється масив фотоелектричних модулів (ФЕМ) Risen з максимальною потужністю 545 Вт. Згенерована електроенергія перетікає по PV кабелю до інвертора (20 кВт), в залежності від кількості згенерованої електроенергії заряджаються акумуляторні батареї (6 шт) кожна має 2.3 кВт ємність що забезпечує стабільне споживання впродовж цілої доби.

В склад проекту сонячної електростанції області входять:

- інверторне обладнання одиничною потужністю 10 кВт (1 шт.);
- фотоелектричні модулі одиничною потужністю 545 Вт (20 шт.);
- Акумуляторні батареї одиничною ємністю 2,3 кВт (5 шт.);

Згідно усіх розрахунків, можна зробити висновок, що сонячну електростанцію побудовано згідно усім нормам і ДСТУ, ємність акумуляторних батарей вистачить для необхідного мінімуму потреб. Проект готовий для впровадження.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Розробка ТЕО URL: https://studopedia.su/12_24077_rozrobka-teo-ie-treoyu-stadiiuyu-peredinvestitsiynoi-fazi.html
2. Розробка ТЕО URL: <https://pro-consulting.ua/ua/services/razrobotka-teo>
3. Будівництво сонячних електростанцій URL: <https://edsltd.com.ua/stroitelstvo-solnechnoy-elektrostantsii/>
4. Розробка проектної документації URL: <https://gravicappa.com.ua/ua/rozrobka-proektnoyi-dokumentaciyi-0>
5. Отримання зеленого тарифу URL: <https://www.sae.gov.ua/documents/green-card.pdf>
6. Принцип роботи сонячних батарей URL: <http://elektrik.info/main/news/401-kak-ustroeny-i-rabotayut-solnechnye-batarei.html>
7. Принцип роботи інверторів URL: <http://electricalschool.info/electronica/1889-chno-takoe-invertor-naprjazhenija-kak.html>
8. Тарифи на електричну енергію URL: <https://www.dtek-dnem.com.ua/ua/services-tariffs>
9. Офіційний сайт НЕК УКРЕНЕРГО: <https://ua.energy/>
10. Вибір сонячних панелей:
11. Вибір інверторного обладнання:
12. Зелений тариф в Україні
URL: <http://www.biowatt.com.ua/informatsiya/zelenij-tarif-v-ukrayini/>
13. Вимоги до ВЕС та СЕС:
https://ua.energy/wpcontent/uploads/2017/02/Vymogy-do-VES-ta-SES_2-red_08112017.pdf
14. Закон України «Про електроенергетику» від 16.10.1997 № 575/97-ВР.
15. ГОСТ 28249-93. Короткі замикання в електроустановках. Методи розрахунку в установках змінного струму напругою до 1 кВ.

16. Державне підприємство «Національна енергетична компанія «Укренерго». Вимоги до вітряних та сонячних електростанцій при їхній роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України.
17. ПУЕ: Розділ 7.4. Електричні установки в пожежонебезпечних зонах.
18. ДБН 5.2.2-12:2019 «Планування та забудова територій».
19. Кириленко В.В. К43 Економіка. Навчальний посібник для студентів вищих навчальних закладів. – Тернопіль: Економічна думка, 2002. – 193с.
20. ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА. Конспект лекцій для самостійного вивчення дисципліни „ЕКОНОМІКА ТА ОРГАНІЗАЦІЯ ВИРОБНИЦТВА» (для студентів спеціальності 6.092202 – „Електричний транспорт»). / Укл.: Бойко Л.Г. – Харків: ХНАМГ, 2008. – 194 с.
21. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни – Сонячна енергетика» для студентів спеціальності 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка" / І.М. Луценко, Є.В. Кошеленко, П.С. Циган, О.А. Замкова – Д.: НТУ «Дніпровська політехніка», 2019. – 20 с.
22. Методичні вказівки до виконання економічної частини дипломної роботи для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Укладачі: Л.В. Тимошенко, Н.В. Дементьєва - Дніпро: НГУ, 2018. - 15 с.
23. Вартість та характеристики аккумуляторного модулю URL: <https://vipmart.com.ua/ua/p1504593458-modul-akkumulyatornyj-stromherz.html>
24. Спеціальні алюмінієві кріплення на покрівлю URL: https://alfa.solar/ru/alyuminievaya-besprofilnaya-sistema-krepleniya-solnechnoj-paneli-za-1-panel-id1525.html?utm_campaign=google&utm_source=merchant_center&utm_medium=gmerchantcenterpro&gad_source=1&gclid=CjwKCAiA98WrBhA

YEiwA2WvhOhY8amQBw1GNtatWoBNJAObLK8JhmzVfOHS0hm0eX
CFJpUVayJNNRoC_mEQAvD_BwE

25. Калькулятор споживаної потужності URL:
https://www.lez.com.ua/calculator_pobu
26. Зелений тариф в Україні URL:
https://pret.com.ua/tariff?hard_tag_id=5b928d692c8b8311901c3946&type_id=5b9299a82c8b8316fe96aee7
27. Характеристики та вартість інвертора URL:
<https://voltenergy.com.ua/ua/stromherz-10kvt/>
28. Сайт виробника обладнання для СЕС URL:
https://stromherz.at/product_b.php?lang=en
29. Сонячні електростанції потужністю 10кВт URL:<https://sun-energy.com.ua/solar-power/solar-power-plants/biudzhetna10kwt>
30. Програмне забезпечення URL:<https://apkpure.com/stromherz-home/stromherz.com>