

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії**

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:
Завідувач кафедри
_____ Василь БУДЬКО
«___» _____ 2024 р.

**Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра**

**за освітньо-професійною програмою «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»
зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
на тему: «Фотоелектрична система живлення об'єкту критичної інфраструктури»**

Виконав:
Студент II курсу, групи ЕД-21мп
Микита МОРОЗОВ

(підпис)

Науковий керівник:
доц., к.т.н.
Марина БУДЬКО

(підпис)

Рецензент:
доц., к.т.н.
Олег ХОМЕНКО

(підпис)

Засвідчую, що у цьому
дипломному проекті немає запозичень
з праць інших авторів без відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Київ - 2024 р.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Факультет електроенерготехніки та автоматики
Кафедра відновлюваних джерел енергії

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»
Освітньо-професійна програма – «Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

(підпис) Василь БУДЬКО
(ініціали, прізвище)

“ ____ ” _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту
Морозову Микиті Віталійовичу

1. Тема дисертації: «Фотоелектрична система живлення об'єкту критичної інфраструктури»

Науковий керівник дисертації: доц., к.т.н. Будько Марина Олександрівна
затверджені наказом по університету від 03.11.2023 р. №5131-с

2. Термін подання студентом проекту 12.01.2024 р.

3. Об'єкт дослідження: процеси перетворення енергії сонячного випромінювання в фотоелектричній системі електроживлення об'єкту критичної інфраструктури.

4. Предмет дослідження: режимні параметри фотоелектричної системи електроживлення з використанням АКБ та дизель-генератору для забезпечення гарантованого енергопостачання об'єкту критичної інфраструктури.

5. Вихідні дані до проекту

- Реанімаційний корпус дитячої лікарні в Чернігівській області
- Дані помісячного споживання корпусу лікарні
- Фото обстежень об'єкту
- Використання південного схилу покрівлі для розташування ФЕМ
- Автономність від АКБ не менше 3 годин при умові максимально можливого споживання

6. Дата видачі завдання 01.09.2023 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Розгляд первинної літератури	17.10.2023-24.10.2023	
2	Огляд джерел і аналіз знайденої інформації про існуючі рішення	25.10.2022-01.11.2023	
3	Аналіз вихідних даних до проекту	02.11.2022-05.11.2023	
4	Розрахунок основних параметрів фотоелектричної станції та підбір обладнання	06.11.2022-23.11.2023	
5	Розрахунок фотоелектричної станції в програмному комплексі PVSyst	24.11.2022-29.11.2022	
6	Розробка стартап проекту	30.11.2022-07.12.2022	
7	Оформлення магістерської дисертації та підготовка до захисту	08.12.2022-15.12.2022	

Студент

(підпис)

Микита МОРОЗОВ

Науковий керівник

Марина БУДЬКО

РЕФЕРАТ

Магістерська робота включає в себе пояснювальну записку та графічну частину. Пояснювальна записка представлена на 91 сторінках формату А4, в яку входять 17 таблиць, 21 рисунок, 1 презентація і 15 джерел використаної літератури.

В магістерській роботі розглянуто фотоелектричну систему живлення споживача з використанням фотоелектричної установки, дизель-генератора та акумуляторних батарей.

Актуальність роботи. Через бойові дії та військову агресію енергосистема України зазнає значних пошкоджень. У зв'язку з цим, критична інфраструктура стає особливо вразливою. Лікарні, комунікаційні вузли та інші важливі об'єкти, зазнають серйозних труднощів у функціонуванні. Через ризик відключення електроенергії під загрозою опиняються життя людей. У цьому контексті виникає необхідність у створенні та впровадженні нових, надійних та стійких до відключень систем живлення, які можуть забезпечити неперервне живлення таких споживачів.

Мета роботи. Раціональне поєднання відновлюваних та традиційних енергоресурсів в гібридній фотоелектричній системі живлення об'єкту критичної інфраструктури.

Задачі дослідження.

- Аналіз енергетичних потреб та вимог споживача;
- Аналіз існуючих підходів до реалізації фотоелектричних систем електроживлення;
- Розрахунок технічних параметрів фотоелектричної системи електроживлення;
- Вибір обладнання та устаткування для реалізації фотоелектричної системи електроживлення;
- Стартуп проєкт запропонованого технічного рішення;
- Охорона праці під час експлуатації розробленої системи електроживлення.

Об'єкт дослідження: Процеси перетворення енергії сонячного випромінювання в фотоелектричній системі електроживлення об'єкту критичної інфраструктури.

Предмет дослідження: режимні параметри системи електроживлення з використанням АКБ та дизель-генератору для забезпечення гарантованого енергопостачання об'єкту критичної інфраструктури.

Методи дослідження: на основі аналізу наукових робіт; програмні середовища Visual Studio, AutoCAD, MathCad. Розрахунки параметрів фотоелектричної системи в середовищі PVSyst. Оформлення пояснювальної записки в MS Office.

Наукова новизна роботи: Підвищення ефективності роботи фотоелектричної системи за рахунок раціонального поєднання відновлюваних джерел енергії та традиційних енергетичних ресурсів.

Ключові слова: фотоелектрична система, критична інфраструктура, фотоелектрична станція, акумуляторні батареї, акумуляування, інвертор, безперебійне живлення.

ABSTRACT

The master's thesis includes an explanatory note and a graphic part. The explanatory note is presented on 91 pages of A4 format, which includes 17 tables, 21 figures, 1 presentation and 15 sources of used literature.

In the master's thesis, a photovoltaic power supply system of the consumer using a photovoltaic installation, a diesel generator and storage batteries is considered.

Relevance of work. Ukraine's energy system has suffered significant damage due to hostilities and military aggression. In this regard, critical infrastructure becomes particularly vulnerable. Hospitals, communication hubs and other important facilities are experiencing serious difficulties in functioning. Due to the risk of power outages, people's lives are at risk. In this context, there is a need to create and implement new, reliable and outage-resistant power systems that can provide uninterrupted power to such consumers.

The purpose of master's thesis. A rational combination of renewable and traditional energy resources in a hybrid photovoltaic power supply system for a critical infrastructure facility.

Research tasks.

- Analysis of energy needs and consumer requirements;
- Analysis of existing approaches to the implementation of photovoltaic power supply systems;
- Calculation of technical parameters of the photovoltaic power supply system;
- Selection of equipment and facilities for the implementation of a photovoltaic power supply system;
- Startup project of the proposed technical solution;
- Labor protection during operation of the developed power supply system.

Object of study: Solar radiation energy conversion processes in a photovoltaic power supply system of a critical infrastructure facility.

Subject of study: Operational parameters of a power supply system using a battery and a diesel generator to ensure guaranteed energy supply to a critical infrastructure facility.

Research methods: Based on the analysis of scientific works; software environments Visual Studio, AutoCAD, MathCad. Calculations of hybrid system parameters in the PVSyst environment. Drawing up an explanatory note in MS Office.

Scientific novelty of the work: Increasing the efficiency of the hybrid photovoltaic system due to the rational combination of RES and traditional energy resources.

Key words: photovoltaic system, critical infrastructure, photovoltaic plant, storage batteries, storage, inverter, uninterrupted power supply.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ РІЗНИХ ТИПІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВДЕ	12
1.1. Аналіз технологій перетворення енергії сонячного випромінювання	12
1.2. Аналіз систем акумулювання електричної енергії	20
1.3. Системи контролю заряду акумуляторних батарей	23
1.4. Аналіз обладнання перетворення енергії постійного струму в змінний ..	27
1.5. Принципи реалізації систем електроживлення на основі фотоелектричних технологій	28
1.5.1. Автономна ФЕС	29
1.5.2. Мережева ФЕС	30
1.5.3. Резервна ФЕС	32
1.5.4. Гібридна ФЕС.....	32
Висновки до розділу	33
РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ОБ'ЄКТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ	35
2.1. Коротка характеристика об'єкта для реалізації фотоелектричної системи	35
2.2. Кліматичні умови	37
2.3. Стан даху будівлі	39
2.4. Фотоелектричні модулі	40
2.5. Визначення встановленої потужності ФЕС	42
2.6. Металоконструкції та система кріплення ФЕМ	43
2.7. Інверторне обладнання та система моніторингу	47
2.8. Акумуляторне обладнання.....	52
2.9. Дизель-генератор.....	53
Висновки до розділу	53
РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ФЕС В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ PVSYST	55
3.1. Мережа постійного струму	55
3.2. Вибір КЛ-0,4кВ змінного струму, перевірка на втрату напруги та за умовою нагрівання.....	57
3.3. Компенсація реактивної потужності.....	61
3.4. Заземлення	62
3.5. Блискавкозахист	62
3.6. Розрахунок ФЕС в програмному забезпеченні PVSyst.....	63
Висновки до розділу	65
РОЗДІЛ 4. СТАРТАП ПРОЕКТ	67
4.1. Резюме	67
4.2. Визначення вартості та терміну окупності проекту	70

Висновки до розділу	73
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	74
5.1. Основні вимоги до охорони праці	74
5.2. Заходи щодо забезпечення безпеки процесів.....	75
5.3. Заходи щодо унеможливлення наступних груп ризиків для працівників та людей під час будівництва та експлуатації об'єкту	76
5.4. Пожежна безпека об'єкту будівництва	78
5.5. Оцінка впливу об'єкту проектування на навколишнє середовище	79
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	81
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	82
ДОДАТОК А.....	83

ВСТУП

В сучасних умовах Україна стикається із систематичними викликами в енергетичному секторі, коли системи енергозабезпечення зазнають регулярних пошкоджень, особливо в найбільш уразливий час року – в період опалювального сезону. Це ставить під загрозу стабільність енергетичного сектору та нормальне функціонування об'єктів критичної інфраструктури, на які спирається безпека та життя населення. У зв'язку з цим, пошук нових та ефективних альтернатив для забезпечення енергетичних потреб стає важливим завданням національної енергетичної стратегії.

Сучасні виклики енергетичного сектору України визначають необхідність розгляду та імплементації альтернативних рішень для енергозабезпечення споживачів. З урахуванням стабільної загрози відключень електроенергії, важливо розглядати та впроваджувати інноваційні підходи для забезпечення енергетичної стійкості.

В такій ситуації актуальним є застосування незалежних відновлюваних джерел енергії, найбільш доступними з яких є сонячна та вітрова. Відновлювана енергія представляє собою енергію, яка виробляється за допомогою ресурсів, які швидко відновлюються внаслідок природних або природничих процесів, що тривають неперервно. Сонячна та вітрова енергетика, як основні галузі відновлюваних джерел енергії, привертають особливу увагу в контексті їх невичерпності та екологічної чистоти. Щоб ефективно використовувати коливання виробництва електроенергії з різних джерел, як традиційних так і відновлюваних, необхідно використовувати системи зберігання енергії, в основі яких зазвичай лежать акумуляторні батареї.

Загалом, гібридні енергетичні системи перетворюють отриману енергію в єдиний вид, переважно у форму електричної енергії, та накопичують її у різних формах (хімічній, стисненого повітря, тепловій, механічній у вигляді маховика тощо).

Гібридизація сприяє підвищенню надійності відновлюваних енергетичних

систем, однак вона передбачає ретельний вибір джерел енергії та технологій їхнього впровадження. Це визначає методологію проектування таких систем для оптимізації експлуатаційних характеристик та розв'язання завдань диспетчеризації та керування. Різноманітні джерела генерації можуть взаємодіяти для досягнення більшої енергетичної ефективності та покращення функціональності системи.

Таким чином, в контексті непередбачуваних відключень електроенергії та потреби в надійному енергозабезпеченні, гібридні системи, об'єднуючи в собі традиційні та відновлювані технології, стають ключовим рішенням для забезпечення ефективного та безперервного енергопостачання. Такі інтегровані системи мають потенціал вплинути на забезпечення стійкості енергетичного сектору та підвищити рівень безпеки критичних споживачів.

РОЗДІЛ 1. СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СПОЖИВАЧІВ РІЗНИХ ТИПІВ З ВИКОРИСТАННЯМ ВДЕ

1.1. Аналіз технологій перетворення енергії сонячного випромінювання

Системи перетворення сонячної енергії на основі напівпровідників на основі кремнію в останні роки широко використовуються в усьому світі. Однак через значне забруднення, створюване кристалічними кремнієвими модулями під час виробничого процесу, а також через відносно низьку теоретичну ефективність перетворення напівпровідників на основі кремнію, було запропоновано ряд унікальних фотоелектричних матеріалів і технологій. Органічні та перовскітові сонячні елементи, зокрема, викликали великий інтерес. Оскільки діапазон сприйнятливості сонячного спектра розширився від ультрафіолетового до видимого, фотосинтетична діяльність сонця викликала інтерес дослідників у галузі фізики, хімії, матеріалів та енергетики. Завдяки постійному розвитку каталітичної теорії, зростанню кількості матеріальних систем, збільшенню квантової ефективності та розширенню діапазону застосування фотосинтез став основною областю каталітичної хімії та енергетичних матеріалів.

Сонце забезпечує Землю приголомшливою кількістю енергії — достатньою для живлення великих океанічних і атмосферних течій, циклу випаровування та конденсації, який приносить прісну воду вглиб материка та рухає річковий потік, а також для тайфунів, ураганів і торнадо, які так легко руйнують природний і забудований ландшафт. Землетрус у Сан-Франциско 1906 року з магнітудою 7,8 призвело до вивільнення приблизно 10^{17} Дж енергії, тобто кількості, яку Сонце передає на Землю за одну секунду. Остаточний відновлюваний ресурс нафти на Землі, оцінений у 3 трильйони барелів, містить $1,7 \cdot 10^{22}$ Дж енергії, яку Сонце постачає на Землю за 1,5 дня. Кількість енергії, яку людина використовує щорічно, приблизно $4,6 \cdot 10^{20}$ Дж, доставляється на Землю Сонцем за одну годину. Величезна потужність, яку Сонце безперервно постачає на Землю, $1,2 \cdot 10^5$ ТВт, перевершує всі інші джерела енергії, відновлювані чи невідновлювані. Це значно

перевищує швидкість, з якою людська цивілізація виробляє та використовує енергію, наразі близько 13 ТВт.

Сонячне світло можна перетворити на електрику, збуджуючи електрони в сонячному елементі. Він може виробляти хімічне паливо за допомогою природного фотосинтезу в зелених рослинах або штучного фотосинтезу в системах, створених людиною. Концентроване або неконцентроване сонячне світло може виробляти тепло для прямого використання або подальшого перетворення в електрику [1].

Незважаючи на велику кількість і універсальність сонячної енергії, ми використовуємо її дуже мало для безпосереднього живлення людської діяльності. Сонячна електроенергія забезпечує мізерні 0,015% світового виробництва електроенергії, а сонячне тепло — 0,3% глобального нагрівання простору та води. Біомаса, вироблена природним фотосинтезом, на сьогоднішній день найбільше використовує сонячну енергію; на його спалювання або газифікацію припадає близько 11% енергетичних потреб людини. Однак більше двох третин цього збирають неефективно, тобто без плану заміни, і спалюють у маленьких неефективних печах, де згорання неповне, а забруднюючі речовини неконтрольовані.

Від 80% до 85% нашої енергії надходить з викопного палива, продукту стародавньої біомаси, яка зберігалася під поверхнею Землі протягом 200 мільйонів років. Ресурси викопного палива обмежені і розподілені під поверхнею Землі нерівномірно. Коли викопне паливо перетворюється на корисну енергію шляхом спалювання, воно виробляє парникові гази та інші шкідливі забруднювачі навколишнього середовища. Навпаки, сонячні фотони фактично невичерпні й не обмежені геополітичними кордонами. Їх пряме використання для виробництва енергії не загрожує здоров'ю та клімату. Величина сонячних ресурсів, широка доступність, універсальність і благотворний вплив на навколишнє середовище та клімат роблять його привабливим джерелом енергії.

Величезний розрив між потенціалом сонячної енергії та нашим використанням її пов'язаний із вартістю та потужністю перетворення. Викопне

паливо задовольняє наші потреби в енергії набагато дешевше, ніж сонячні альтернативи, частково тому, що викопні палива є концентрованими джерелами енергії, тоді як Сонце розподіляє фотони досить рівномірно по Землі з меншою щільністю енергії. Використання біомаси як палива обмежене виробничою потужністю наявної землі та води. Обмеження вартості та потужності використання сонячної енергії найефективніше вирішуються єдиною метою дослідження: економічно ефективно підвищення ефективності перетворення.

Найкращі комерційні сонячні елементи на основі монокристалічного кремнію мають ефективність близько 18%. Лабораторні сонячні батареї, засновані на більш дешевій сенсibiliзації барвником оксидних напівпровідників, зазвичай мають ефективність менше 10%, а ті, що базуються на ще дешевших органічних матеріалах, мають ефективність 2–5%. Зелені рослини перетворюють сонячне світло в біомасу з типовою середньорічною ефективністю менше 0,3%. Найдешевша сонячна електроенергія надходить не від фотоелектричних, а від звичайних індукційних генераторів, що працюють від парових двигунів, що працюють від сонячного тепла, з ККД у середньому 20% і 30% для найкращих систем. Ці показники ефективності набагато нижчі за їх теоретичні межі. Підвищення ефективності зменшує вартість і збільшує потужність, що піднімає сонячну енергетику на новий рівень конкурентоспроможності.

Значне економічно ефективно підвищення ефективності перетворення сонячної енергії стало можливим завдяки нашій зростаючій здатності розуміти та контролювати фундаментальні нанорозмірні явища, які керують перетворенням фотонів в інші форми енергії. Такі явища донедавна були недосяжними для наших найкращих структурних і спектроскопічних зондів. Розвиток нанонауки породжує нові методи виготовлення, засновані на самозбірці, нові глибокі дослідження структури та динаміки в дедалі менших масштабах довжини та часу, а також нові теоретичні можливості для моделювання збірок тисяч атомів. Ці досягнення обіцяють можливість зрозуміти та контролювати основні структури та динаміку процесів перетворення фотонів.

Сонячні батареї вловлюють фотони, збуджуючи електрони через заборонену зону напівпровідника, що створює електронно-діркові пари, які потім розділяються зарядами, як правило, за допомогою р–n-переходів, створених легуванням. Об’ємний заряд на інтерфейсі р–n-переходу рухає електрони в одному напрямку, а дірки – в іншому, що створює на зовнішніх електродах різницю потенціалів, що дорівнює ширині забороненої зони. Концепція та конфігурація: подібні до напівпровідникового діода, за винятком того, що електрони та дірки вводяться в перехід фотонним збудженням і видаляються на електродах.

Таблиця 1.1. – Ефективність фотоелектричного перетворення [2].

Технологія	ККД
Кремній (кристалічний)	25%
Кремній (нанокристалічний)	10%
Арсенід галію	25%

Провівши аналіз термодинамічної ефективності у 1961 році, Вільям Шоклі та Ганс Куйссер встановили етапну точку відліку для продуктивності сонячних батарей [3]. Аналіз базується на чотирьох припущеннях: єдиний р–n-перехід, одна електрон-діркова пара, збуджена на вхідний фотон, теплова релаксація енергії електрон-діркової пари, що перевищує заборонену зону, та освітлення неконцентрованим сонячним світлом. Досягнення межі ефективності в 31%, яку вони встановили для цих умов, залишається метою дослідження. Найкращі монокристалічні Si-елементи досягли 25% ефективності в лабораторії та близько 18% у комерційній практиці. Дешевші сонячні батареї можна виготовляти з інших матеріалів [4], але вони працюють зі значно нижчою ефективністю.

Обмеження Шоклі–Квейссера може бути перевищено, якщо порушити одну або більше його умов. Концентрація сонячного світла забезпечує більший внесок багатофотонних процесів; цей внесок збільшує теоретичну межу ефективності до 41% для одноперехідної комірки з тепловою релаксацією. Комірка з одним р–n-переходом захоплює лише частину сонячного спектру: фотони з енергією, меншою за ширину забороненої зони, не захоплюються, а фотони з енергією, більшою за

заборонену зону, втрачають свою надлишкову енергію на теплову релаксацію. Складені комірки з різними ширинами забороненої зони захоплюють більшу частину сонячного спектру; межа ефективності становить 43% для двох переходів, освітлених неконцентрованим сонячним світлом, 49% для трьох переходів і 66% для нескінченної кількості переходів.

Найбільш несподіваний потенційний приріст ефективності походить від розмноження носіїв [5], явища квантових точок, яке призводить до появи кількох електронно-діркових пар для одного падаючого фотона. Розмноження носіїв обговорювалося Артуром Нозіком у 2002 році та спостерігалось Річардом Шаллером і Віктором Клімовим через два роки. Нанокристали селеніду свинцю, сульфідів свинцю або селеніду кадмію генерують до семи електронів на вхідний фотон, що свідчить про те, що з такими нанокристаломі можна створити ефективні сонячні елементи. У об'ємних напівпровідникових сонячних елементах, коли падаючий фотон збуджує одну електрон-діркову пару, енергія електрон-діркової пари, яка перевищує ширину забороненої зони, ймовірно, буде втрачена на термічну релаксацію, тоді як у деяких нанокристалах більша частина надлишкової енергії може з'явитися як додаткові електронно-діркові пари. Якщо нанокристали можна буде включити в сонячну комірку, додаткові пари можна буде відводити як посилений фотострум, що підвищить ефективність комірки.

Екстракція гарячих електронів забезпечує ще один спосіб підвищення ефективності сонячних елементів на основі нанокристалів: відведення енергійних електронів і дірок до того, як вони встигнуть термічно релаксувати. Гарячі електрони підвищують ефективність, збільшуючи робочу напругу вище забороненої зони, тоді як множення носіїв збільшує робочий струм. Фемтосекундні лазерні та рентгенівські методи можуть забезпечити необхідне розуміння надшвидких процесів розпаду в об'ємних напівпровідниках та їх модифікації в нанорозмірних геометріях, що дозволить використовувати явища гарячих електронів у сонячних елементах нового покоління.

В якості джерела енергії в фотоелектричних системах є фотоелектричний

модуль (ФЕМ).

До складу ФЕМ входять кремнієві елементи, алюмінієва рама, загартоване скло, полімерна плівка, розподільча коробка, герметики.

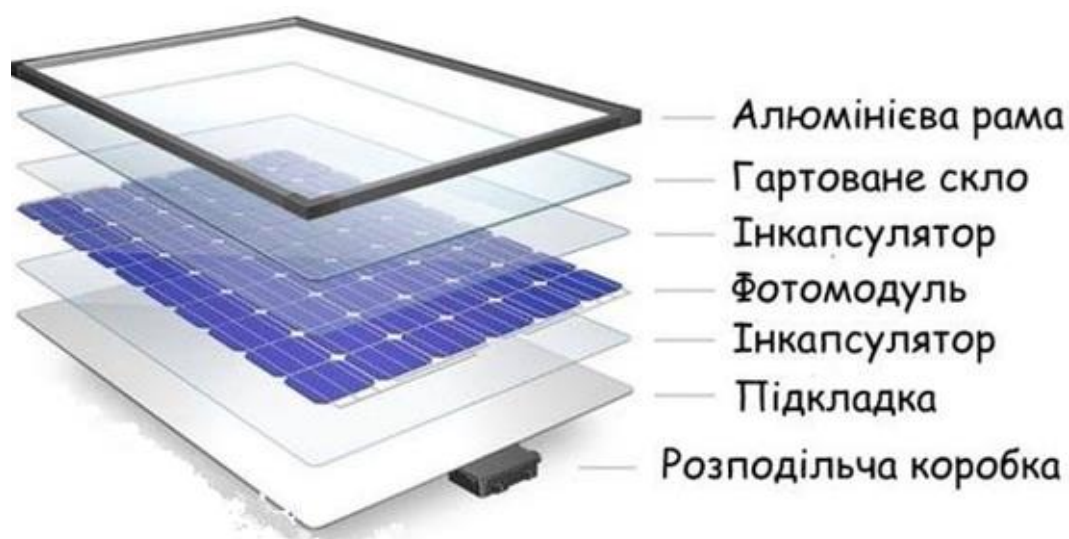


Рисунок 1.1 – Склад ФЕМ [6]

Основне завдання сонячних панелей полягає в тому, щоб перетворювати сонячну енергію в електричну. Для отримання електроенергії з сонячної батареї використовується явище фотоефекту. Цей процес пов'язаний із фізичним явищем р-п переходу, що відбувається у фотоелементі.

Конструктивно фотоелемент складається з двох пластин напівпровідникового матеріалу. Одна з пластин містить атоми бору, а інша - атоми миш'яку. У результаті верхній шар характеризується надлишком електронів (область електронів), а нижчий - їхнім недоліком (діркова область). На межі цих пластин утворюється електронно-дірковий перехід, або р-п перехід. Під впливом сонячних променів (фотонів) відбувається освітлення пластин, і обидва шари взаємодіють як електроди звичайної батареї, викликаючи електрорушійну силу (ЕРС).

Сонячний промінь збуджує електрони, які починають рухатися з однієї пластини до іншої. Для видобутку електричної енергії обидві поверхні покривають тонкими шарами провідника і підключають до навантаження. Виробництво такої енергії не вимагає хімічних реакцій, тому сонячна батарея може працювати

тривалий час.

Учені із завзятістю досліджують можливості підвищення ККД сонячних батарей для поліпшення виробництва електроенергії на сонячних електростанціях. Для цього у тонкошарових осередках можуть бути використані різноманітні матеріали, такі як галій, арсенід, кадмій, мідь, селен.

Ще однією значущою проблемою, що стоїть перед науковцями у покращенні ефективності сонячних батарей, є управління виникненням надмірного тепла при нагріванні пластин сонячних елементів. Вивчаються різні методи відведення цього тепла від сонячних батарей. Враховуючи, що ККД панелей в окремих випадках може перевищувати 25%, розробляються різноманітні підходи для подальшого підвищення ефективності цих технологій.

Генерація електроенергії сонячною панеллю також піддана впливу зовнішніх факторів. Заявлену номінальну потужність панелі можна досягти лише в ідеальних умовах, особливо влітку, коли сонце знаходиться в зеніті, а сонячні промені падають на поверхню панелі під прямим кутом.

Ефективність генерації електроенергії також залежить від інтенсивності сонячного випромінювання. Негативний вплив метеорологічних умов, таких як хмарність, дощ або хмарна погода, призводить до зменшення вироблення електроенергії. У випадку, якщо сонячні панелі вкриті снігом, вироблення електроенергії може зменшитися до нуля.

Кристалічний кремній, що використовується в ФЕМ, існує в декількох видах: монокристалічний, полікристалічний, аморфний.

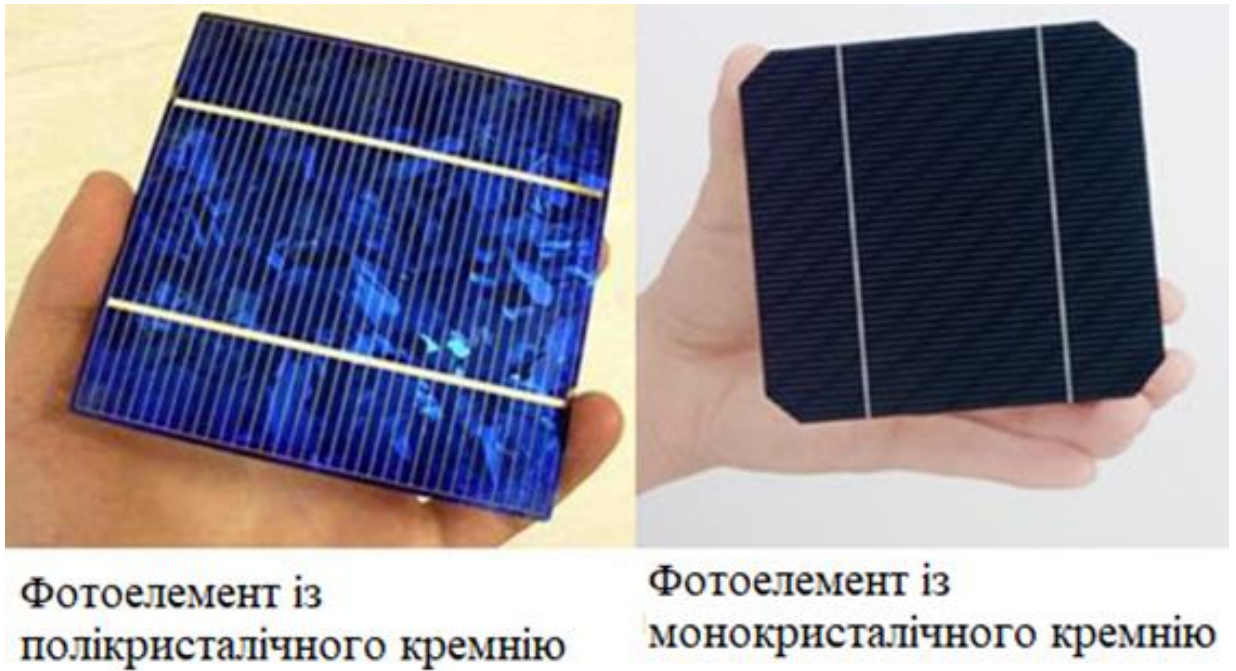


Рисунок 1.2 – Фотоелементи з полікристалічного та монокристалічного кремнію

Найбільшу популярність набули сонячні батареї з полікристалічних фотоелементів. Ефективність таких панелей у середньому становить 15-20%.

Такі панелі трохи дорожчі, ніж панелі з полікристалічного кремнію. Також комірки мають форму багатокутника і через це не повністю заповнюють простір сонячної батареї, що призводить до більш низької ефективності всієї батареї по відношенню до однієї комірки.

Сонячні батареї з аморфного кремнію мають найменшу ефективність (6-8%), але водночас мають найнижчу собівартість виробленої енергії.

ФЕМ на основі Телурид Кадмія (CdTe) являють собою тонкоплівкову технологію виробництва сонячних пробразувачів. Напівпровідникові шари наносять на панель завтовшки всього кілька сотень мікрон. Виробництво є менш шкідливим для довкілля. Ефективність сонячних батарей на основі Телурид Кадмія становить близько 11-12%

ФЕМ на основі суміші Індія, Галія, Міді, Селена (CIGS) також є тонкоплівковою технологією виробництва фотоелементів. Ефективність варіюється від 10 до 15%. Ця технологія ще мало поширена ринком, проте дуже

швидко розвивається.

Для збільшення потужності сонячні панелі з'єднують масив, наприклад, 4 сонячні панелі номінальною потужністю 250 Вт можуть видати сумарну потужність 1 кВт. При цьому сонячні панелі можна з'єднати між собою 3 різними способами:

- Паралельне з'єднання. При цьому типі з'єднання номінальна напруга 4-х з'єднаних сонячних панелей залишиться сталою, струм збільшиться.
- Послідовне з'єднання. Тут навпаки, номінальна напруга збільшиться, а значення струму залишиться на рівні, що відповідає одній панелі.
- Паралельно-послідовне з'єднання.

Який тип з'єднання потрібно використовувати в тому чи іншому випадку, головним чином залежить від периферійного обладнання, а саме контролера заряду, інвертора та запланованої кількості акумуляторів.

1.2. Аналіз систем акумулювання електричної енергії

Акумулятори дозволяють накопичувати електричну енергію, що виробляється сонячними панелями та використовувати її після заходу сонця. Основні параметри акумулятора включають:

- Номінальна потужність. Цей показник визначає, скільки пристроїв може одночасно заряджати акумулятор або яке електроспоживання цих пристроїв. Вимірюється в кіловатах (кВт).
- Номінальна ємність. Кількість електроенергії, яку акумулятор може зберігати та постачати. Виражається в кіловат-годинах (кВт·год). Цей параметр вказує на те, як довго батарея може забезпечувати електроенергією.
- Термін експлуатації батареї. Оцінюється за допомогою трьох характеристик: очікувані роки роботи, очікувана продуктивність та очікувані цикли заряду-розряду. Пропускна здатність вказує, скільки електроенергії можна передати через акумулятор протягом його терміну служби. Цикли визначають, скільки разів акумулятор може заряджатися та розряджатися.

Фотоелектричні системи використовують акумулятори різних типів: літій-

іонні, свинцево-кислотні, лужні і т.д. Хімічний склад визначає, яка сполука використовується для зберігання електроенергії всередині акумулятора. Цей параметр є ключовою характеристикою для порівняння, оскільки визначає багато з вищезазначених властивостей батарей.

- Лужні АКБ. Лужні акумулятори (залізо-нікелеві, нікель-кадмієві) використовуються рідше через низьку ефективність при низьких температурах і обмежені можливості збереження заряду. Крім того, ці батареї характеризуються повільною швидкістю заряду та розряду. Незважаючи на їхню довговічність і стійкість до перезаряду, глибокого розряду, коротких замикань та термічних ударів, вони оптимально працюють в умовах постійного заряджання. Без вмісту кадмію та свинцю ці акумулятори є екологічно безпечними. Найбільш широке застосування у фотоелектричних системах отримали свинцеві та літєві акумулятори для сонячних батарей.

- Свинцево-кислотні АКБ. Акумулятори на основі свинцю та кислоти для сонячних панелей отримали популярність завдяки своїй низькій вартості, задовільному терміну служби та високій енергетичній ємності. Вони застосовуються як аварійні та резервні джерела енергії. Свинцево-кислотні акумулятори можуть бути обслуговуваними або герметичними та необслуговуваними. У галузі сонячної енергетики зазвичай використовують герметичні варіанти, такі як VRLA (герметичний акумулятор з рекомбінацією газу) або SLA (герметичний свинцево-кислотний акумулятор).

- AGM (absorbent glass mat). Особливості: використовує губчасті сепаратори зі скловолокна для абсорбції електроліту. Переваги: надійна робота при низьких температурах (до -30°C), висока безпека, збільшений термін служби, менший саморозряд, велика швидкість заряду.

- EFB (enhanced flooded battery). Особливості: має щільну структуру сепараторів, товстіші пластини. Переваги: покращена ефективність, особливо при високих навантаженнях.

- Герметизовані гелеві (GE) батареї. Особливості: використовують

гелевий електроліт. Переваги: добре витримують цикли заряду-розряду, працюють при сильному морозі, мають тривалий термін служби.

- Літійові акумулятори. Літій-іонний хімічний склад визнається найбільш енергоємним, здатним зберігати більше електрики на одиницю ваги. Він гарантує відмінну ефективність, довговічність та безпеку, спроможний витримувати велику кількість циклів заряду-розряду. Акумулятори Li-Ion не страждають від ефекту пам'яті, адже їхній обсяг не зменшується від неповної зарядки. Залежно від хімічного складу та конструкції, літій-іонні акумулятори поділяються на різні типи:

- Нікель-марганцево-кобальтові (NMC) вважаються одними з найефективніших варіантів літій-іонної технології. Вони володіють високою продуктивністю та значною енергоефективністю. Можливість різної комбінації елементів надає їм оптимальні характеристики для застосування у фотоелектричних системах. Це найкращий варіант, якщо потрібна максимальна ємність при обмеженому просторі.

- Залізофосфатні (LiFePO_4 , LFP, IFR) представляють сучасне покоління з найвищим ресурсом, мають низький рівень саморозряду, допускають заряд великим струмом і забезпечують максимальну циклічність. Висока витривалість при великому навантаженні та стабільна напруга розряду роблять їх ідеальними для потужних рухових навантажень. Запобігають низьким температурам і є безпечними, добре пристосованими для використання у сонячних електростанціях. У сучасні часи акумулятори LiFePO_4 вважаються безперечною лідеркою серед силових акумуляторів.

Основні переваги LiFePO_4 акумуляторів порівняно з літій-іонними включають:

- Довговічність. Ці акумулятори можуть витримати від 2000 до 3000 циклів заряду/розряду, не втрачаючи більше 20% ємності.

- Термін служби. Здатні працювати протягом понад 10 років, навіть в циклічному режимі експлуатації.

- Стійкість до температурних екстремумів. Робочий температурний діапазон від -30°C до $+70^{\circ}\text{C}$ зі збереженням технічних характеристик.
- Безпека застосування. Висока термічна і хімічна стабільність підвищує безпеку використання.
- Стійкість та надійність. Витримують перезарядку, перепади напруги та короткі замикання, що робить їх надійними в різних умовах
- Екологічна чистота. Практично не виділяють токсини під час експлуатації та утилізації, сприяючи збереженню природи та здоров'ю людини
- Несхильність до ефекту старіння. Зменшення ємності на рівні близько 1,5% щороку, що значно менше, ніж у літій-іонних акумуляторах, які можуть старіти до 10% щорічно.

Однак важливо відзначити, що акумулятори LiFePO_4 мають високу вагу при однаковій ємності, і цей варіант може бути менш практичним для мінімізації ваги та розмірів у деяких випадках.

Принцип роботи акумуляторів LiFePO_4 базується на взаємодії літій-феррофосфату як катода і вуглецевого анода. Іони літію, які є переносниками заряду, взаємодіють з кристалічною структурою анода під час розрядження, передаючи накопичений заряд і відбувається окиснення. У процесі зарядження іони літію переміщуються від анода до катода, відновлюючи заряд та накопичуючи його знову.

1.3. Системи контролю заряду акумуляторних батарей

Основною функцією контролера заряду в фотоелектричній системі є захист акумулятора від перезаряду та надмірного розряду. Будь-яка система, яка має непередбачувані навантаження або будь-які характеристики, які можуть призвести до надмірного зарядження або надмірного розрядження батареї, вимагає контролера заряду. Відсутність контролера може призвести до скорочення терміну служби акумулятора та зниження доступності навантаження. Системи з малими, передбачуваними та безперервними навантаженнями можуть бути розроблені для роботи без контролера заряду батареї. Правильна робота контролера заряду

повинна запобігати перезаряду або надмірному розряду батареї незалежно від розміру/конструкції системи та сезонних змін профілю навантаження та робочих температур. Алгоритм або стратегія керування контролером заряду батареї визначає ефективність зарядки батареї та використання фотоелектричної панелі, а також, зрештою, здатність системи задовольняти вимоги до навантаження. Додаткові функції, такі як температурна компенсація, сигналізація та спеціальні алгоритми, можуть покращити здатність контролера заряду підтримувати працездатність, максимізувати ємність і продовжити термін служби батареї.

Незважаючи на те, що конкретний метод керування та алгоритм відрізняються залежно від контролера заряду, усі мають основні параметри та характеристики. Дані виробника, як правило, надають обмеження застосування контролера, такі як струми навантаження, робочі температури, втрати, задані значення та значення гістерезису заданих точок. У деяких випадках задані значення можуть навмисно залежати від температури батареї та/або контролера, а також від величини струму батареї. Нижче наведено обговорення чотирьох основних установок контролера заряду:

- Регульовальне задане значення (VR): це задане значення є максимальною напругою, яку контролер дозволяє досягти акумулятору. У цей момент контролер або припинить зарядку батареї, або почне регулювати величину струму, що подається до батареї. Правильний вибір цієї заданої точки залежить від конкретного хімічного складу акумулятора та робочої температури.

- Регулюючий гістерезис (VRH): Задане значення — це діапазон напруги або різниця між заданим значенням VR і напругою при повторному застосуванні повного струму масиву. Чим більше цей діапазон напруги, тим довше струм масиву переривається від заряджання батареї. Якщо VRH занадто малий, тоді елемент керування буде коливатися, викликаючи шум і, можливо, пошкоджуючи елемент перемикачів. VRH є важливим фактором у визначенні ефективності заряджання контролера.

- Відключення при низькій напрузі (LVD): задана точка - це напруга, при

якій навантаження від'єднується від батареї, щоб запобігти надмірному розряду. LVD визначає фактично допустиму максимальну глибину розряду та доступну ємність акумулятора. Доступна потужність повинна бути ретельно оцінена в процесі проектування системи та визначення розміру. Як правило, LVD не потребує температурної компенсації, якщо батареї часто не працюють при температурі нижче 0°C. Належне задане значення LVD підтримуватиме належний стан батареї, одночасно забезпечуючи максимальну доступну ємність батареї для системи.

- Гістерезис роз'єднання низької напруги (LVDH): це задане значення є діапазоном напруги або різницею між заданим значенням LVD і напругою, при якій навантаження знову підключається до батареї. Якщо LVDH занадто малий, навантаження може швидко вмикатися та вимикатися при низькому заряді батареї, що може пошкодити навантаження та/або контролер. Якщо LVDH занадто великий, навантаження може залишатися вимкненим протягом тривалого часу, доки масив повністю не зарядить акумулятор. З великим LVDH справність батареї може бути покращена завдяки зменшенню циклів батареї, але це зменшить доступність навантаження. Правильний вибір LVDH залежатиме від хімічного складу батареї, ємності батареї, PV і струму навантаження

Існують два основні методи керування або регулювання заряджання батареї від фотоелектричного модуля або масиву – шунтове та послідовне регулювання. Хоча обидва ці методи ефективно використовуються, кожен метод може включати ряд варіацій, які змінюють їх базову продуктивність і застосовність. Прості конструкції переривають або від'єднують масив від батареї під час регулювання, тоді як більш складні конструкції обмежують струм батареї лінійним чином, що підтримує високу напругу батареї. Алгоритм або стратегія керування контролером заряду батареї визначає ефективність заряджання батареї та використання фотоелектричної панелі та, зрештою, здатність системи задовольняти вимоги до електричного навантаження. Найважливішим є те, що алгоритм контролера визначає спосіб, у який живлення фотоелектричних батарей подається на батарею в системі. Загалом, контролери типу «вмикання-вимкнення» вимагають більш

високого значення регулювання, щоб привести батареї до повного заряду, ніж контролери, які поступово обмежують струм масиву.

Конструкція шунтового контролера.

Оскільки фотоелектричні елементи за своєю конструкцією обмежені струмом (на відміну від батарей), фотоелектричні модулі та масиви можуть бути закорочені без будь-якої шкоди. Здатність замикати модулі або масив є основою роботи шунтових контролерів. Шунтовий контролер регулює зарядку батареї від фотоелектричної батареї шляхом короткого замикання внутрішньої батареї контролера. Усі шунтові контролери повинні мати блокуючий діод, з'єднаний послідовно між батареєю та шунтовим елементом, щоб запобігти короткому замиканню батареї під час регулювання масиву. Оскільки існує деяке падіння напруги між масивом і контролером, а також через проводку та опір шунтового елемента, масив ніколи не замикається повністю, що призводить до деякого розсіювання потужності в контролері. З цієї причини більшості шунтових контролерів потрібен радіатор для розсіювання електроенергії, і вони, як правило, обмежені використанням у фотоелектричних системах зі струмом масиву менше 20 ампер. Елементом регулювання в шунтових контролерах зазвичай є силовий транзистор або MOSFET, залежно від конкретної конструкції. Існує кілька варіантів конструкції шунтового контролера. Перший - це проста конструкція контролера з перериванням або вмикання. Другий тип обмежує струм масиву поступовим шляхом, збільшуючи опір шунтового елемента, коли батарея досягає повного заряду.

Конструкція послідовних контролерів.

Як випливає з назви, цей тип контролера працює послідовно між масивом і акумулятором, а не паралельно, як для шунтового контролера [7]. Існує кілька варіантів контролера послідовного типу, у кожному з яких використовується певний тип елемента керування або регулювання, з'єднаного послідовно між масивом і батареєю. Хоча цей тип контролера зазвичай використовується в невеликих фотоелектричних системах, він також є практичним вибором для

великих систем через поточні обмеження шунтових контролерів. У конструкції серійного контролера реле або твердотільний перемикач розмикає ланцюг між масиву й батареї до припинення заряджання або обмежує струм послідовно-лінійним чином, щоб утримувати напругу батареї на високому рівні. У простішій конструкції послідовного переривання контролер повторно підключає масив до батареї, коли батарея падає до заданої точки повторного підключення масиву. Оскільки ці цикли заряджання тривають, час «увімкнення» стає все коротшим і коротшим, оскільки акумулятор стає повністю зарядженим. Оскільки послідовний контролер розмикає ланцюги, а не замикає масив, як у шунтових контролерах, блокуючий діод не потрібен, щоб запобігти короткому замиканню батареї, коли контролер регулює.

1.4. Аналіз обладнання перетворення енергії постійного струму в змінний

Обладнання, що перетворює енергію постійного струму в змінний, називається інвертором. Існують три типи інверторів, які використовуються в сонячній енергетиці:

- Автономні інвертори. Клеми цього типу інвертора підключаються до акумулятора, а на корпусі є роз'єм для підключення навантаження. Можна використовувати без сонячних панелей, оскільки вони мають вхід ~220 В. Можуть працювати в обидва напрямки: DC/AC та AC/DC, здатні заряджати акумулятор від мережі 220 В. Рекомендується використовувати з контролером заряду.

- Гібридні інвертори. Об'єднують контролер заряду та інвертор в одному корпусі. Підключають сонячні панелі безпосередньо до вбудованого контролера. Мають можливість роботи з вхідною напругою 220 В.

- Мережеві інвертори. Схожі на гібридні інвертори, але працюють без акумуляторів. Вся вироблена сонячними панелями електроенергія перетворюється на 220 В і живить споживачі. Невикористана енергія направляється у зовнішню електричну мережу за зеленим тарифом.

1.5. Принципи реалізації систем електроживлення на основі фотоелектричних технологій

Ракетні напади з боку російських сил свідчать про те, що ворог визначив енергетичну інфраструктуру України як один із стратегічних об'єктів. Регулярні атаки, спрямовані на електростанції та підстанції, мають на меті завдати удару економіці країни та позбавити громадян базових умов проживання. Отже, на сьогоднішній день критично важливо гарантувати енергетичну стабільність об'єктів критичної інфраструктури, використовуючи альтернативні джерела енергії в умовах військового конфлікту та відключення від мережі.

Використання відновлюваних джерел енергії та накопичувачів електроенергії дозволяє зменшити витрати підприємства на електропостачання. Істотна економія може бути досягнута лише у разі правильно організованої системи управління енергопотоками підприємства та закупівлями електроенергії.

Головною метою організаційної конфігурації енергосистеми підприємства є забезпечення неперервного енергопостачання установ з мінімальними витратами під час щоденних та сезонних пікових навантажень, а також в умовах аварійних відключень від центральної мережі. Для досягнення цієї мети важливо вирішити три ключові організаційно-технічні задачі:

- Інтеграція в енергосистему підприємства об'єктів внутрішньої генерації енергії на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), об'єктів зберігання енергії та об'єктів традиційної генерації у випадках екстремальних ситуацій.

- Створення системи управління енергопотоками всередині підприємства та вибору енергії зовнішнього середовища з урахуванням графіка змін добового тарифу.

- Розробка методології оцінки ефективності системи організації енергопостачання підприємства для визначення якісних та кількісних показників об'єктів системи при умові мінімізації капіталовитрат та експлуатаційних витрат.

Концепція організації системи енергопостачання ґрунтується на взаємодії

витрат на придбання енергії з зовнішньої мережі, на її накопичення та внутрішню генерацію за допомогою альтернативних джерел. У залежності від географічного розташування підприємства, як можливі альтернативні генератори енергії можуть вважатися сонячні батареї.

Навіть при тому, що операційні витрати під час впровадження альтернативних систем можуть бути низькими, капітальні витрати завжди є значними. Генерація енергії з природних джерел є нестабільною, що робить неможливим вирішення проблеми енергопостачання лише за їхньою участю. Тим не менш, на сучасному етапі забезпечення енергетичних потреб підприємств за рахунок альтернативних джерел є економічно вигідним і завжди сприяє диверсифікації ризиків.

Максимальний економічний вигаш може бути досягнутий шляхом оптимізації графіка закупівлі енергії протягом доби з врахуванням можливостей її короткострокового зберігання у накопичувачах. Зазвичай, вартість закупівлі електроенергії з мережі також змінюється і відображає графіки споживання, тобто підприємство платить максимальну ціну за енергію у період пікового регіонального споживання і мінімальну - у період низького споживання. Якщо підприємство здатне здійснювати економічне зберігання енергії, то цілком логічно закуповувати енергію в періоди надлишку за зниженими тарифами і накопичувати її для використання в періоди пікового споживання, уникнувши таким чином покупок електроенергії за завищеними тарифами.

1.5.1. Автономна ФЕС

У сучасний час встановлення фотоелектричних станцій (ФЕС) як автономного джерела енергії може бути ефективною альтернативою дизельним і бензиновим генераторам, переважно через економічну вигоду у вартості обслуговування та тривалості служби обладнання. У випадках, коли неможливо підключитися до мережі електропостачання з будь-яких причин, сонячна електростанція може допомогти повністю або частково вирішити це питання. Загалом, структура автономної сонячної електростанції є відносно простою:

сонячні модулі з'єднуються з акумуляторними блоками через контролер. Потім зібрана в елементах живлення електроенергія споживається користувачами.

Для забезпечення споживачів змінною напругою необхідно встановлення інвертора. Основний недолік, що властивий автономній сонячній станції, полягає у використанні акумуляторних блоків. Зазвичай акумулятори є найбільш дорогою частиною системи, і навіть при належному обслуговуванні термін експлуатації цих акумуляторів є меншим, ніж у решти обладнання.

Принципова схема автономної ФЕС зображена на рис. 1.3.

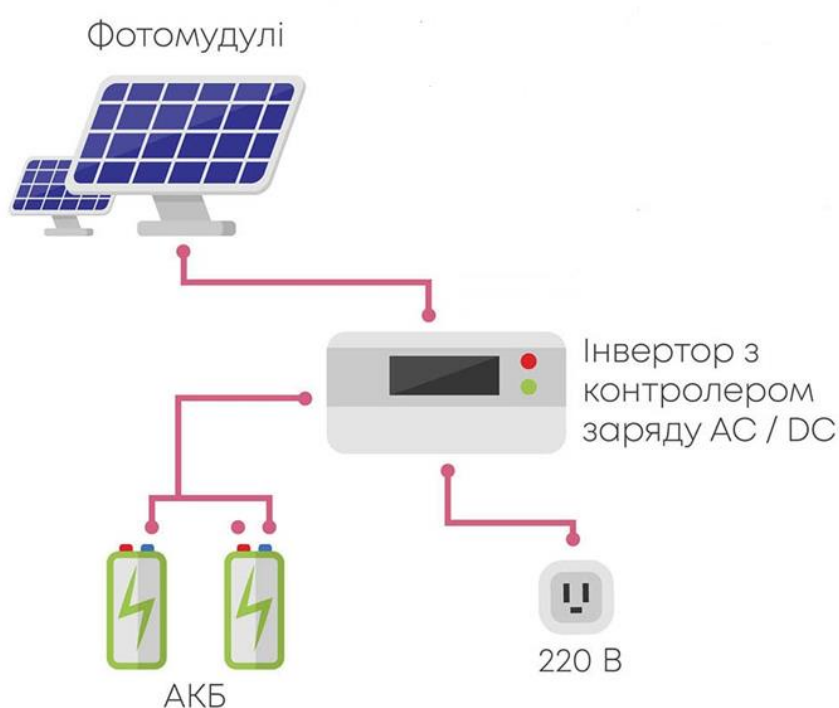


Рисунок 1.3 – Принципова схема автономної ФЕС [8]

1.5.2. Мережева ФЕС

Поза автономними фотоелектричними станціями існують сонячні електростанції, які працюють в мережевому режимі з метою зниження споживання електроенергії зі загальної мережі електропостачання. Основна ціль цієї системи полягає у використанні сонячних модулів та енергетичної мережі паралельно для забезпечення життєдіяльності. Термін служби обладнання виявляється значно тривалішим, ніж період окупності, і витрати на його встановлення виявляються меншими. Для досягнення найбільшого ефекту важливо дотримуватися принципу

«виробіток повинен відповідати споживанню». Але існують деякі обмеження у мережевій системі:

- Більшість фотоелектричних систем, що працюють в мережевому режимі, вимагають наявності напруги в мережі для нормальної функціональності. Мережа служить опорною напругою для мережевих інверторів, які синхронізуються з нею та генерують напругу, ідентичну мережі. У випадку відсутності такого сигналу або значних відхилень від норми (за напругою, частотою тощо), мережевий інвертор автоматично припинить роботу.

- При перевищенні виробітку над споживанням зайву енергію від сонячних батарей подається в мережу. Більшість лічильників електроенергії, встановлених в будинках та квартирах, є однонапрямленими. Більшість таких лічильників некоректно реагують на зворотний потік електроенергії в мережу, або вони просто не реєструють цього зворотного потоку, додаючи електроенергію, що подається в мережу, до загального обсягу спожитої електроенергії. Для уникнення цього можна використовувати спеціальні мережеві фотоелектричні інвертори, які автоматично зменшують потужність при виникненні надлишків енергії, або встановлювати спеціальний контролер надлишків енергії.

Принципова схема мережевої ФЕС зображена на рис. 1.4.

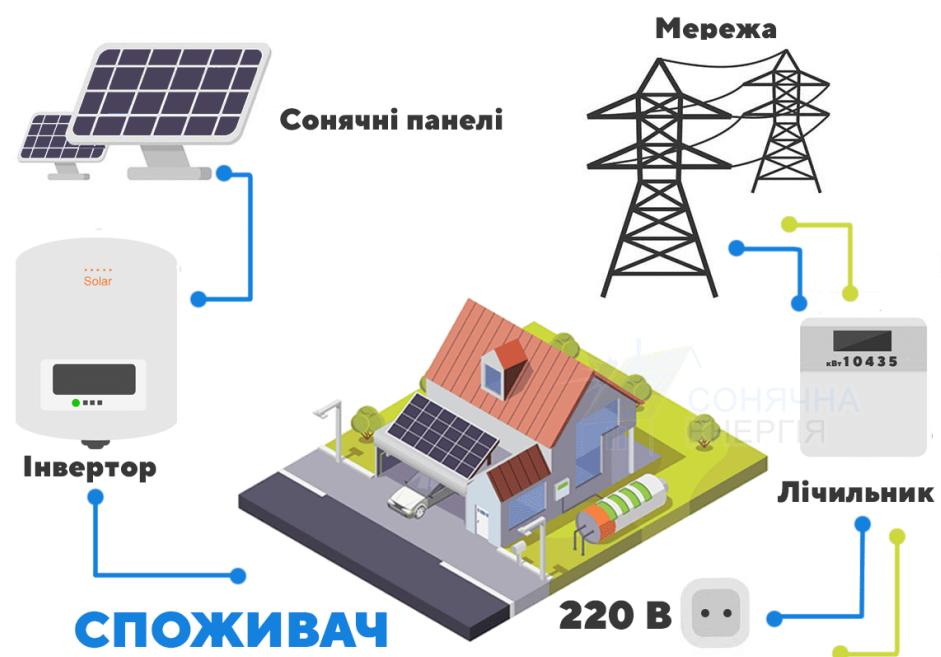


Рисунок 1.4. – Принципова схема мережевої ФЕС [8]

1.5.3. Резервна ФЕС

Також існують резервні ФЕС, які поєднують у собі функції мережевої та автономної систем. Схема резервної ФЕС відрізняється від схеми автономної станції тим, що в ній використовується не звичайний інвертор для батарей, а гібридний перетворювач, що має мережевий вхід і може «підмішувати» сонячну енергію до мережі. З точки зору споживача це є дуже вигідним, оскільки забезпечується як резерв за рахунок акумуляторів, так і економія за рахунок використання сонячних батарей.

Принципова схема резервної ФЕС зображена на рис. 1.5.



Рисунок 1.5 – Принципова схема резервної ФЕС [8]

1.5.4. Гібридна ФЕС

Гібридна ФЕС поєднує традиційне джерело енергії (дизель або бензиновий генератор) та джерело ВДЕ (фотоелектрична установка).

Гібридна система дозволяє ефективно використовувати сонячну енергію, що

допомагає знижувати залежність від дизельного пального та економити витрати. Доступ до електроенергії забезпечується навіть у випадках зниженої сонячної активності чи дефіциту акумульованої енергії.

В даній роботі для живлення об'єкту критичної інфраструктури, а саме – корпусу лікарні, було обрано гібридну ФЕС. Типова схема організації електропостачання наведена на рис. 1.6.

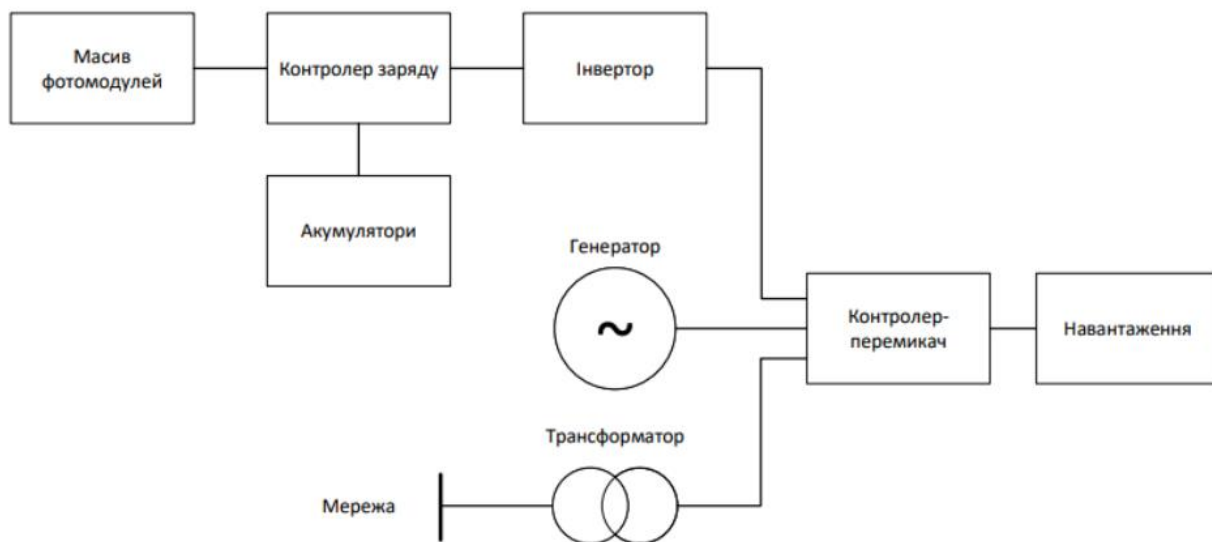


Рисунок 1.6 – Принципова схема гібридної ФЕС

Висновки до розділу

1. Монокристалічні сонячні елементи на основі кремнію вже досягли ефективності приблизно 18%, що робить їх найефективнішими комерційними елементами. Лабораторні дослідження демонструють можливість створення сонячних батарей із зменшеною вартістю на основі більш дешевих матеріалів, проте їх ефективність залишається менше 10%.
2. Різні типи акумуляторів, такі як літій-іонні, свинцево-кислотні, лужні та інші, мають свої унікальні характеристики та застосування в сонячних електростанціях. Літій-іонні акумулятори, зокрема LiFePO_4 , визначаються як високоефективні, надійні та екологічно чисті. Такі акумулятори мають численні переваги, такі як довговічність, стійкість до температурних екстремумів, безпека використання та екологічна чистота.
3. Контролер заряду у фотоелектричних системах виконує ключову функцію

захисту акумуляторів від перезаряду та надмірного розряду. Його наявність є обов'язковою для систем з непередбачуваними навантаженнями або характеристиками, що можуть викликати надмірне заряджання або розряджання батареї. Без контролера можливі скорочення терміну служби акумулятора та зниження доступності навантаження.

4. Інвертори поділяються на мережеві, автономні та гібридні.
5. Типові системи електроживлення на основі фотоелектричних технологій: автономна, мережева, резервна та гібридна. Для подальшої реалізації системи живлення об'єкту критичної інфраструктури обрано гібридну ФЕС.

РОЗДІЛ 2. РЕАЛІЗАЦІЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СИСТЕМИ ЖИВЛЕННЯ ОБ'ЄКТУ КРИТИЧНОЇ ІНФРАСТРУКТУРИ

2.1. Коротка характеристика об'єкта для реалізації фотоелектричної системи

В даній роботі розглядається влаштування ФЕС на даху будівлі реанімаційного корпусу Чернігівської обласної дитячої лікарні, котра знаходиться в державній власності. Адреса: Чернігівська обл., м. Чернігів, вул. Пирогова, 16. GPS-координати: 51°29'50.1"N 31°16'52.1"E.

Кадастровий номер ділянки: 7410100000:01:032:0926.

Цільове призначення ділянки: 03.03 Для будівництва та обслуговування будівель закладів охорони здоров'я та соціальної допомоги.

Частина ділянки заасфальтована, до будівель влаштовано під'їзди із твердого асфальтного покриття. Водовідведення із ділянки належним чином організовано за ухилом рельєфу. План місцевості зображений на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – План місцевості

Будівля прямокутна в плані та з'єднана надземним переходом із іншою будівлею головного корпусу лікарні. Конструктивна схема обстежуваної будівлі – із повздовжніми та поперечними несучими стінами.

Фундаменти будівлі стрічкові бетонні. Стіни цегляні. Переkritтя із збірних залізобетонних плит. Сходи залізобетонні. Вікна та двері металопластикові. Водопостачання, тепlopостачання наявне. Система примусової вентиляції відсутня, провітрювання здійснюється через вікна.

Ділянка не підтоплювана. Не сприятливі для будівництва фізико-геологічні процеси та явища не спостерігаються. Грунти не заболочені.

Спостерігається в окремих місцях пошкодження опорядження стін ззовні, відпадання окремих керамічних плиток. По периметру будівлі спостерігається наявність відмостки та належно організованого водовідведення.

Будівля відноситься до категорії технічного стану «2» (задовільний).

В точці приєднання ФЕС, а саме – ГРЩ корпусу лікарні, здійснюється живлення реанімаційного блоку новонароджених немовлят (4 палати) та аварійне освітлення. Розрахункові максимальні потужності споживання наведено в табл. 2.1.

В подальших розрахунках приймається, що споживання цілодобове та рівномірно розподілене по годинах доби.

Таблиця 2.1 – Споживання лікарні в точці підключення ФЕС

Споживач	Максимальна споживана потужність, кВт
Палата №1	3
Палата №2	2
Палата №3	7
Палата №4	5
Аварійне освітлення	13
Сума	30

Таким чином, сумарна максимальна потужність споживання P_{load} складає 30 кВт.

При цьому, загальне споживання ГРЩ лікарні приймається рівним 140 кВт.

2.2. Кліматичні умови

Згідно з ДСТУ-Н Б В.1.1-27:2010 «Будівельна кліматологія» об'єкт знаходиться в I кліматичному районі – Північно-західний. Кліматологічні показники (характеристики) даного району наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Кліматологічні показники

Кліматичний район	Температура повітря, °С				Кількість опадів за рік, мм	Відносна вологість у липні, %	Середня швидкість вітру у січні
	середня за		абсолютний мінімум	абсолютний максимум			
	січень	липень					
I – Північно-західний (Полісся, Лісостеп)	Від -5 до -8	Від 18 до 20	Від -37 до -40	Від 37 до 40	Від 550 до 70	Від 65 до 75	Від 3 до 4

Згідно з ДБН В.1.2-2:2006 «Навантаження і впливи» об'єкт має наступні характеристики навантажень і впливів:

- Вітрове навантаження W_0 (в паскалях): 410
- Снігове навантаження S_0 (в паскалях): 1720
- Товщина стінки ожеледі B (в мм): 16
- Вітрове навантаження при ожеледі W_v (в паскалях): 160
- Будівля, на якій планується встановлення сонячної електростанції мають максимальні розміри по висоті від позначки 0,000м до конькової частини +14,5м.
- Ухил на покрівлі будівлі 1: південний скат – 13 градусів, північний скат – 13 градусів.
- Матеріали покрівель – металочерепиця.
- Рельєф навколо будівлі – рівнинний, спокійний.

Зелені насадження на ділянці та прилеглих територіях під час встановлення дахової сонячної електростанції не будуть ушкоджені.

Поблизу будівлі відсутні об'єкти природно-заповідного фонду, відсутні об'єкти флори та фауни, які занесені в Червону книгу України або такі, на які може впливати виробнича діяльність об'єкту господарювання.

Нерухомі об'єкти культурної спадщини, землі історико-культурного призначення в межах робіт по влаштуванні сонячної електростанції відсутні.

Матеріали історико-архітектурного опорного плану з визначеними межами історичних ареалів та зон цих земельних ділянок відсутні.

Згідно з ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва» ступінь вогнестійкості будівель – III (Будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриття дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами або матеріалами груп горючості Г1, Г2. До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку).

Температурна зона (ДБН В.2.2.6-31:2006) - I

- розрахункова температура внутрішнього повітря - $+20^{\circ}\text{C}$

- розрахункове значення відносної вологості – 50%

- розрахункова температура зовнішнього повітря -22°C

Глибина промерзання ґрунтів - 0,8(0,96)м

Розрахункова температура:

- найбільш холодної п'ятиденки (коеф.0,98) -22°C

- найбільш холодної доби (коеф.0,98) -26°C

- найбільш жаркішої п'ятиденки (коеф.0,99) $+22^{\circ}\text{C}$

- найбільш жаркішої доби (коеф.0,95) $+26^{\circ}\text{C}$

Характеристичне снігове навантаження – 170кг/м.кв.(1720Па)

Районування за середньою швидкістю вітру в січні –IV район

Середня швидкість вітру:

- в січні – 4,2 м/с

- в липні – 3,1 м/с

Вологісний режим приміщень – нормальний

Належність до підроблюваних територій – не належить.

Належність до підтоплюваних територій – не належить.

Сейсмічність району за ДБН В.1.1-12:2006 - 5 балів

2.3. Стан даху будівлі

В 2015 році поверх плоского даху влаштовано шатровий дах із несучими дерев'яними конструкціями та покриттям із метало профілю. Влаштування шатрового даху не було передбачено при будівництві будівлі.

Шатровий дах влаштовано з опиранням на зовнішні цегляні стіни та на внутрішню повздовжню несучу стіну із дерев'яних несучих конструкцій. На зовнішні стіни влаштовано мауерлат із дерев'яного бруса перерізом 110x110 мм. На підмурівок по внутрішній несучій стіні влаштовано прогін із дерев'яного бруса перерізом 110x110мм.

На прогони опираються стійки . Стійки влаштовано із кроком 2,0-2,2 м .

Крокви влаштовано із кроком 95-98 см. крокви січення 170x50 мм. Під кожною кроквою влаштовано підкоси. По кроквах влаштовано обрешітку розміром 100x35 мм із кроком 400м м. Супердифузійна мембрана відсутня.

По обрешітці влаштовано металочерепицю.

В місцях опирання дерев'яних конструкцій на кам'яні конструкції влаштовано гідроізоляцію із руберойду. Дерев'яні конструкції даху зв'язано скрутками із дроту діаметром 5 мм до анкерних до плит покриття.

Ознак прогинів, деформацій не спостерігається. Протипожежна обробка дерев'яних конструкцій даху не проводилася. Блискавкозахист відсутній. Снігозатримувачі відсутні.

Водостік організований по водостічних лотках та трубах. Слідів руйнувань та пошкоджень конструкцій даху не спостерігається. Рекомендується виконати

протипожежну обробку дерев'яних конструкцій даху (зображені на рис. 2.2), встановити снігозатримувачі та блискавкозахист.



Рисунок 2.2 – Дерев'яні конструкції даху

2.4. Фотоелектричні модулі

Виробником ФЕМ для реалізації ФЕС було обрано китайську компанію Jinko Solar, що входить до списку Tier-1. Цей термін використовується для класифікації виробників залежно від їхньої репутації та якості продукції. Компанії, які мають статус Tier-1, це 2% від усіх світових виробників. Це великі компанії із річним виробництвом понад 1 ГВт потужності сонячних панелей. Ці компанії мають повний цикл виробництва від вирощування кремнію до збирання ФЕМ. Вони інвестують у наукові дослідження та оснащують виробництво сучасними роботизованими лініями. Зазвичай на ринку понад 5 років.

Основні характеристики Tier-1 виробників – це їх фінансова стійкість, технічна компетентність, довготривала діяльність та обсяг виробництва.

Модель ФЕМ обрана – JKM455M-7RL3-TV піковою потужністю 455 Вт при

умовах STC (температура комірки – 25 градусів за Цельсієм, потужність сонячного випромінювання – 1000 Вт на квадратний метр, маса повітря – 1,5, швидкість повітря – 1 м/с). ККД при тих самих умовах складає 20,00%. LID-деградація в перший рік роботи складає 2%, а лінійна деградація в наступні роки складає 0,45% на рік. Виробник надає гарантію на заявлені показники деградації на 30 років. Таким чином, на 30-й рік роботи генерація ФЕМ буде складати не менше ніж 84,85% від генерації в перший рік.

Основні характеристики даних ФЕМ наведені в табл. 3.3.

Таблиця 2.3 – Основні характеристики Jinko Solar JKM455M-7RL3-TV [9]

Механічні характеристики	
Кількість комірок (технологія Half-Cell)	156 (2x78)
Тип комірок	Монокристалічні
Габарити, мм	2205x1032x40
Маса, кг	26,5
Тип скла	Загартоване скло
Рамка	Анодований алюміній
Електричні характеристики (STC)	
ККД, %	20,00
Максимальна потужність (P_{max}), Вт	455
Напруга MPP (U_{mp}), В	43,25
Струм MPP (I_{mp}), А	10,52
Напруга холостого ходу (V_{oc}), В	51,8
Струм короткого замикання (I_{sc}), А	11,26

2.5. Визначення встановленої потужності ФЕС

Встановлена потужність – це потужність ФЕС по DC, тобто по постійному струму від ФЕМ.

З огляду на орієнтацію схилів даху будівлі корпусу, на якому встановлюється ФЕС, було прийнято рішення розмістити ФЕМ на південному схилі та використати всю корисну площу з врахуванням можливих затінь. Розміщення фотополя наведено на рис. 2.3.



Рисунок 2.3 – Схема розташування фотоелектричних модулів на скатах дахів будівель

При проектуванні розміщення ФЕМ було прийнято рішення обрати альбомну орієнтацію модулів. Перевагою над можливим варіантом з портретною (книжковою) орієнтацією є те, що на даній будівлі використання альбомної розкладки дозволяє розмістити більше панелей. Таким чином, сумарна кількість ФЕМ складає 98 шт.

Недоліком альбомної орієнтації ФЕМ є необхідність у використанні більшої металоємності порівняно з портретною орієнтацією через збільшення кількості напрямних, тому така система є дещо дорожчою.

Розрахункова максимальна потужність постійного струму дорівнює сумі

потужностей фотоелектричних модулів:

$$P_p = 98 \cdot 0,455 = 44,6 \text{ кВт}, \quad (2.1)$$

2.6. Металоконструкції та система кріплення ФЕМ

Влаштування сонячних панелей здійснюється за допомогою системи кріплення компанії Kripter [10]. Матеріалом елементів конструкцій прийнято алюмінієвий профіль з захисним анодним покриттям. Основні з'єднання виконані на нержавіючих метизах (клас А2) та сталевих оцинкованих. Кріплення фотоелектричних модулів (ФЕМ) до несучих конструкцій виконуються за допомогою алюмінієвих прижимів на гвинтах М8 по DIN 912, із нержавіючої сталі, клас міцності 5.8, клас точності В. Гайки спеціальні гарячеоцинковані М8, клас міцності 6.

В болтових з'єднаннях передбачаються засоби для запобігання розгвинчування гайок (постановка пружинних шайб по DIN 7980 або контргайок). Моменти затягування різьбових з'єднань: момент затягування гвинтів М8 на зажимах від 10 Нм до 14 Нм.

Виготовлення та монтаж металевих конструкцій системи кріплення ФЕМ виконуються відповідно до вимог:

- ДСТУ Б В.2.6 - 199:2014 «Конструкції металеві будівельні. Вимоги до виготовлення»
- ДСТУ Б В.2.6 - 200:2014 «Конструкції металеві будівельні. Вимоги до монтажу»
- ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека в будівництві»

Система забезпечує надійність кріплення фотоелектричних модулів до даху будівель і герметизацію отворів.

Фотоелектричні модулі очищенню від зимових опадів не підлягають. Термін експлуатації конструкцій - 20 років.

Розрахунок ваги металоконструкції виконується на прикладі максимальної збірної групи. Зображення групи показано на рис. 2.4. Елементи, з яких вони

складені, наведені в табл. 2.4.

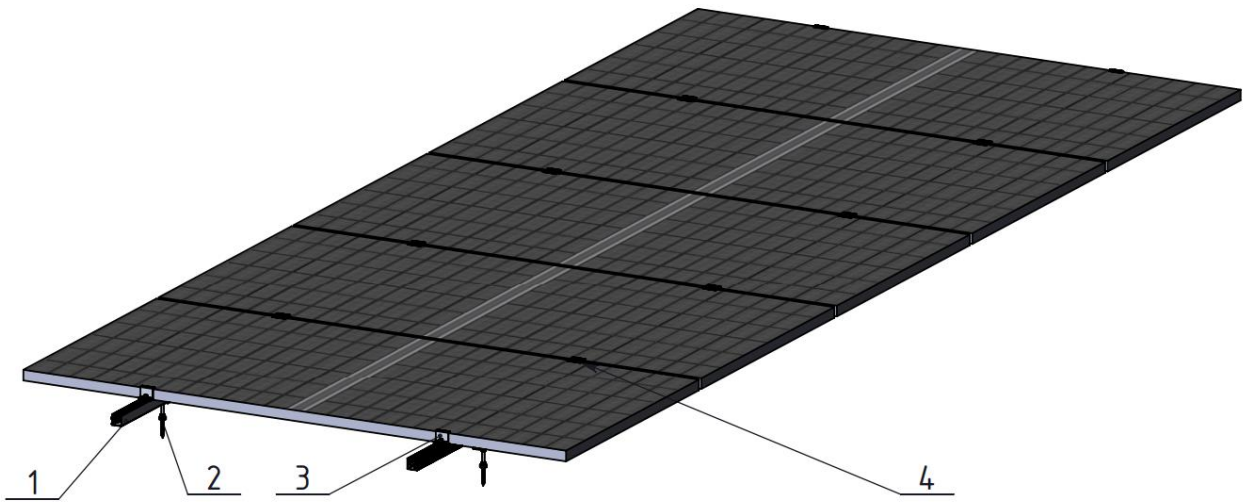


Рисунок 2.4 – Збірна група ФЕМ

Таблиця 2.4 – елементи збірної групи

№	Назва	Кількість	Маса од., кг	Загальна маса, кг
1	Напрямний металопрофіль	2	4,16	8,32
2	Кронштейн кріплення до металочерепиці у зборі	10	0,2	2
3	Z-подібний прижим у зборі	4	0,09	0,36
4	T-подібний прижим універсальний у зборі	8	0,09	0,72
Загальна маса металоконструкції				11,4

Таким чином, загальна маса металоконструкцій для збірної групи $m_{\text{КМ}}$ дорівнює 11,4 кг.

Для розрахунку сумарного навантаження на покрівлю від проектних фотоелектричних модулів та металоконструкцій необхідно врахувати масу ФЕМ.

Загальна маса збірної групи з 5 ФЕМ дорівнює:

$$m_{\text{ФЕМ}} = m_{\text{ФЕМ}(1)} \cdot N = 26,5 \text{ кг} \cdot 5 = 132,5 \text{ кг}, \quad (2.2)$$

Загальна площа дорівнює площі п'яти ФЕМ:

$$S_{\text{заг}} = S_{\text{ФЕМ}} \cdot N = 2,205 \text{ м} \cdot 1,032 \text{ м} \cdot 5 = 11,38 \text{ м}^2, \quad (2.3)$$

Загальне навантаження на покрівлю дорівнює:

$$P = \frac{m_{\text{КМ}} + m_{\text{ФЕМ}}}{S_{\text{заг}}} = \frac{11,4 \text{ кг} + 132,5 \text{ кг}}{11,38 \text{ м}^2} = 12,65 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2}, \quad (2.4)$$

Відповідно до технічних характеристик допустиме навантаження на конструкції покриття становить 200 кг/м^2 . Навантаження від снігу та покрівлі становить 170 кг/м^2 . Сумарне навантаження на покрівлю від проектних фотоелектричних модулів та металоконструкцій становить $12,65 \text{ кг/м}^2$, яке суттєво не збільшить навантаження на покриття, а також на інші несучі конструкції.

Ілюстрація процесу монтажу основних вузлів зображена на рис. 2.5-2.8.

Шуруп-гвинт з'єднується з монтажним профілем через кутник. Положення кутника регулюється і фіксується гайками

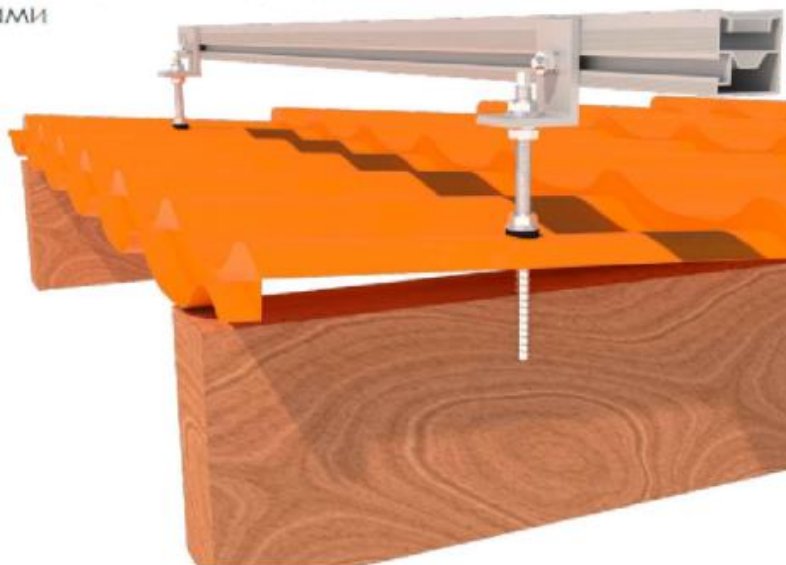


Рисунок 2.5 – Вузол кріплення шуруп-гвинта до покрівлі [10]

З'єднувач профілю

1. Поздовжній з'єднувач вставляється всередину двох монтажних профілів, що з'єднуються



2. За допомогою вкручення саморізів виконується надійна фіксація профілю між собою



Рисунок 2.6 – З'єднання профілів [10]

1. Гайка прижима вставляється в профіль

2. Затягуючи прижим, фотомодуль надійно притискається до монтажного профілю. Проміжок між модулями становить 20мм



Рисунок 2.7 – кріплення Т прижимів [10]

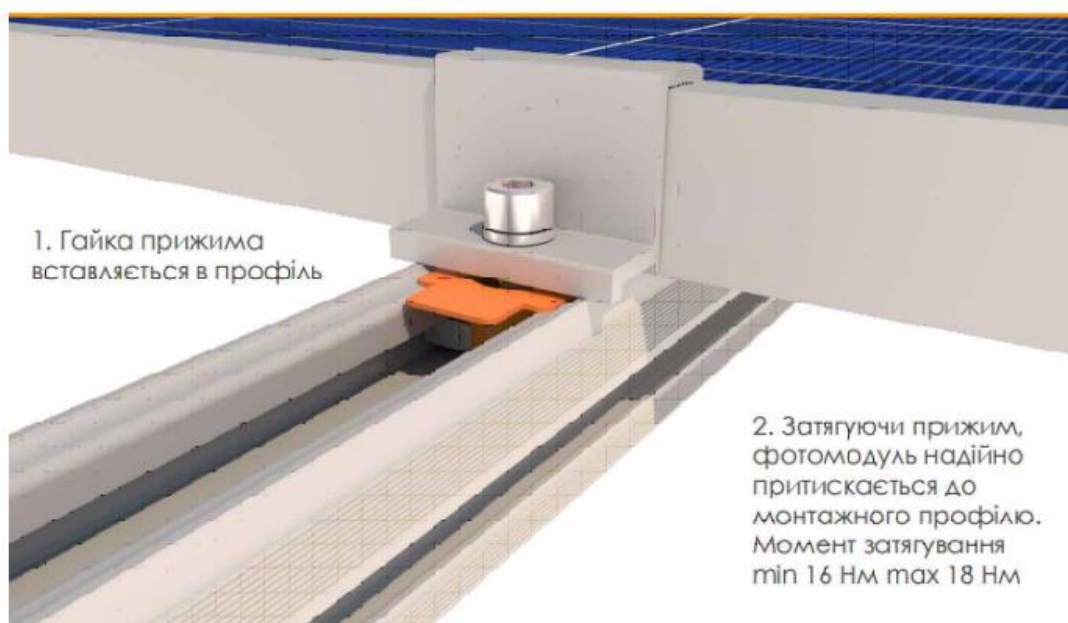


Рисунок 2.8 – кріплення Z прижимів [10]

2.7. Інверторне обладнання та система моніторингу

Обрано гібридні трифазні інвертори ZCS AZZURRO 3PH HYD20000 та ZCS AZZURRO 3PH HYD15000 потужністю 20 кВт та 15 кВт відповідно. Максимальний ККД інверторів складає 98,2%.

AZZURRO – це надійний італійський виробник інверторного обладнання. Безпосереднє виробництво здійснюється на заводі в Китаї.

Основні технічні характеристики інверторів наведені в табл. 2.5.

Таблиця 2.5 – Основні характеристики обраного інверторного обладнання ZCS AZZURRO [11]

Технічні дані	3PH HYD15000	3PH HYD20000
1	2	3
Номінальна потужність, кВт	15,00	20,00
Максимальна потужність DC на кожен MPPT, кВт	11,25	15,00
Кількість незалежних MPPT	2	2
Кількість стрінгів на один MPPT	2	2

1	2	3
Максимальна вхідна напруга DC, В	1000	1000
Стартова напруга, В	250	250
Максимальний струм на МРРТ, А	25	25
Максимальна потужність заряду/розряду АКБ, кВт	15,00	20,00
Максимальний струм заряду/розряду АКБ, А	25	25
Максимальний вихідний струм АС, А	24	32
Максимальний ККД, %	98,2	98,2
Допустима температура навколишнього середовища, градусів за Цельсієм	-30...+60	-30...+60
Клас захисту IP	IP65	IP65
Вага, кг	37	37
Габаритні розміри, мм	515x571x264	515x571x264

Таким чином, загальна потужність ФЕС по змінному струму АС складає 35 кВт. Вибір двох окремих гібридних інверторів та їхніх номінальних потужностей продиктований трьома основними факторами:

- Потужність споживання. Оскільки максимальна потужність споживання P_{load} складає 30 кВт, загальна потужність ФЕС по АС в 35 кВт дозволить жити всіх споживачів. Також залишається запас в 5 кВт.

- Збільшення загальної надійності системи порівняно з можливим використанням одного інвертора, оскільки при виходу з ладу одного з них в роботі залишається другий.

- Співвідношення потужностей DC/AC, також відомий як «перевантаження» інверторів.

В даній ФЕС коефіцієнт перевантаження складає:

$$K_p = \frac{44,6 \text{ кВт}}{35 \text{ кВт}} = 1,274, \quad (2.5)$$

Обидва інвертори перевантажені однаково, оскільки до інвертора потужністю 20 кВт приєднується 4 стрінга по 14 ФЕМ, а до інвертора потужністю 15 кВт приєднується 3 стрінга по 14 ФЕМ.

Перевантаження інверторів дозволяє істотно збільшити об'єм генерованої електроенергії в дні, коли генерація ФЕМ нижче пікової. Таких днів, коли ФЕС не може вийти на максимальну потужність генерації по DC через погодні умови – абсолютна більшість протягом року. В дні пікової генерації інвертор обрізає потужність, яка вища за номінальну потужність інвертора.

Ефект збільшення загальної генерації при використанні перевантаження графічно зображений на рис. 2.9.

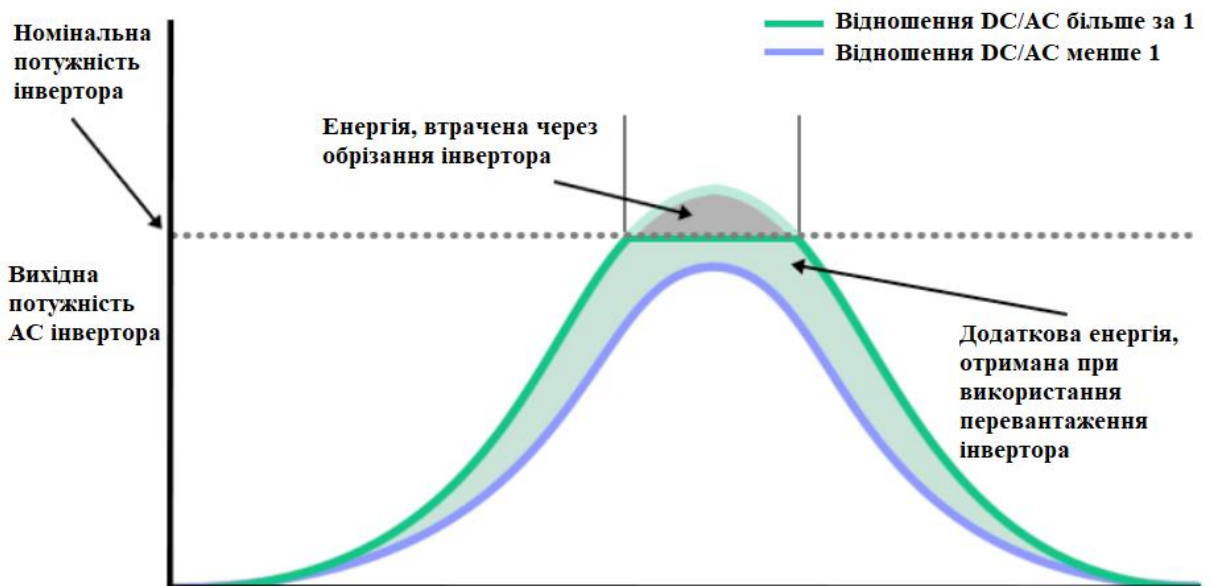


Рисунок 2.9 – Генерована енергія протягом дня при перевантаженні та недовантаженні інвертора

Крім цього, перевантаження інверторів дозволяє зменшити питому вартість ФЕС за один кіловат встановленої потужності.

Визначення оптимального коефіцієнту перевантаження інверторів – задача нетривіальна та залежить від великої кількості факторів, зокрема орієнтації та кута нахилу ФЕМ, географічного положення (метеоданих), затінення та інших. Розрахунок оптимального значення коефіцієнта DC/AC не є основною метою даної роботи, а обраний за допомогою підбору потужності DC фотополя та AC інверторів фактичний коефіцієнт 1,274 вважається прийнятним та обґрунтованим з технічної та економічної точки зору.

Для віддаленого моніторингу елементів ФЕС передбачається організація системи автоматизованого збору інформації.

Система реалізована на базі ZSM WIFI-USB. Він є зовнішнім пристроєм управління, з функціями агрегації інтерфейсів, обробкою протоколів, збором даних та централізованим управлінням. Пристроєм ZSM WIFI-USB від компанії ZCS можна керувати однією сонячною станцією (зображений на рис.2.10). Панель розрахована на підключення 1 пристрою, серед яких можуть бути мережеві та гібридні інвертори ZCS. У фотоелектричній системі «ZCM» грає роль центру управління, реєстратора даних, мережевого комутатора.



Рисунок 2.10 – Зовнішній вигляд пристрою моніторинга

Може розміщуватися як і в приміщенні, так і на вулиці. Виконання корпусу виключає випадковий контакт персоналу з електрообладнанням, забезпечує захист від бруду і слабких бризок. Завдяки ZSM WIFI-USB, користувачу відкривається

доступ до менеджмент системи «ZCS APP» з широким набором різноманітних можливостей. Система моніторингу дозволяє збирати і аналізувати повний пакет даних про роботу станції, здійснювати конфігурацію системи, відслідковувати і сигналізувати про системні помилки.

Габарити ZSM WIFI-USB – 130 x 50 x 30 мм. Вага 300 грам.

Передача даних здійснюється за допомогою бездротового типу зв'язку.

Система моніторингу надає наступні можливості:

- Графічне представлення основних параметрів ФЕС (рис. 2.11)
- Загальна миттєва потужність в реальному часі
- Аналіз роботи інверторів в реальному часі
- Представлення енергетичного балансу.

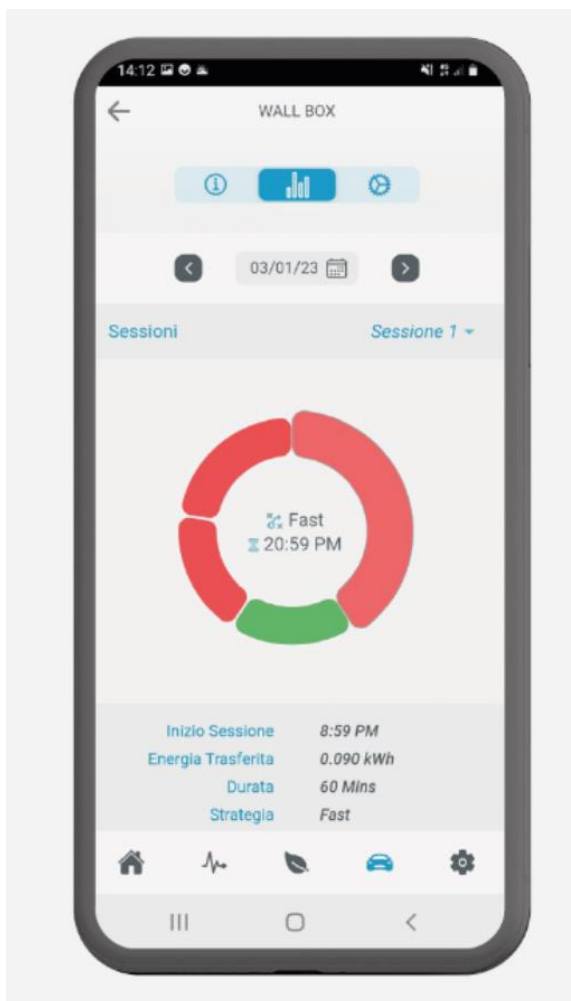


Рисунок 2.11 – Локальний веб інтерфейс ZCS App

2.8. Акумуляторне обладнання

Для автономної роботи станції, у випадку відключення електроенергії і живлення критичних споживачів, передбачається встановлення акумуляторних батарей WECO ZZT-BAT-6KWH-W [12] з одиничним запасом акумуляованої енергії 6 кВт·год в кількості 16 шт. Сумарна ємність складає:

$$Q = Q_{bat} \cdot N_{bat} = 96 \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (2.6)$$

Дане обладнання буде об'єднане в 2 групи та підключено до кожного інвертора (по 1 групі на інвертор). Для контролю використання заряду/розряду буде використано контролер WECO ZZT-HV-BOX. Габаритні розміри однієї батареї складають: 460 x 520 x 155 мм. Вага 50 кг. Катод – LiFePO₄.

На рис. 2.13 наведено вигляд контролеру WECO ZZT-HV-BOX.



Рисунок 2.13 – Контролер WECO ZZT-HV-BOX

Ємність АКБ, що встановлюються на об'єкті, достатня для забезпечення автономного живлення всіх споживачів протягом понад трьох годин:

$$T_{backup} = \frac{Q}{P_{load}} = \frac{96 \text{ кВт} \cdot \text{год}}{30 \text{ кВт}} = 3,2 \text{ год.}, \quad (2.7)$$

2.9. Дизель-генератор

Для виконання умови гібридності ФЕС в якості резервного традиційного джерела енергії використовується дизель-генератор. Обрано модель PROFI-TEC WDSG187-3 Power MAX [13], виробництво – Китай.

Обраний генератор має наступні параметри, відповідно до табл.2.6.

Таблиця 2.6. – Технічні характеристики генератора

Показник	Значення
Номінальна потужність	150 кВт
Вид палива	Дизель
Час неперервної роботи	20 годин
Витрата палива	215 г/кВт-год
Номінальна сила струму	270 А
Ступінь захисту	IP23
Вага	2 600 кг
Габарити	3600x1300x1850 мм
Тип охолодження	Водяне

Потужність генератора обрано відповідно до максимальної потужності ГРЩ, а саме – 140 кВт.

Висновки до розділу

1. Потужність, яку необхідно забезпечити ФЕС в точці підключення складає 30 кВт. Загальна потужність ГРЩ складає 140 кВт.
2. Поточний стан будівлі реанімаційного корпусу лікарні дозволяє встановлення ФЕС.
3. Поточний стан даху реанімаційного корпусу лікарні дозволяє встановлення ФЕС.
4. Обрана модель ФЕМ – Jinko Solar JKM455M-7RL3-TV.
5. Розрахункова потужність ФЕС складає 44,6 кВт DC.

6. Сумарне навантаження на покрівлю від проектних фотоелектричних модулів та металоконструкцій становить $12,65 \text{ кг/м}^2$, яке суттєво не збільшить навантаження на покриття, а також на інші несучі конструкції.
7. Обрано гібридні трифазні інвертори ZCS AZZURRO 3PH HYD20000 та ZCS AZZURRO 3PH HYD15000 потужністю 20 кВт та 15 кВт відповідно. Потужність ФЕС складає 35 кВт по АС.
8. Обрано АКБ WECO ZZT-BAT-6KWH-W в кількості 16 шт. Загальна ємність складає 96 кВт-год, що дозволяє живити критичні споживачі протягом 3,2 годин в автономному режимі.
9. Обрано дизель-генератор PROFI-TEC WDSG187-3 Power MAX потужністю 150 кВт для резервного живлення всього ГРЩ.

РОЗДІЛ 3. ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ТА РОЗРАХУНОК ФЕС В ПРОГРАМНОМУ ЗАБЕЗПЕЧЕННІ PVSYST

3.1. Мережа постійного струму

Ланцюги ФЕМ під'єднуються кабельними лініями постійного струму до входів інвертора. Захист кабельних ліній від перевантаження та струмів короткого замикання вже встановлений у інверторах, тому встановлення окремих щитів захисту проектом не передбачається. Кабельні лінії постійного струму прокладаються по кабельному лотку з кришкою.

Таблиця 3.1 – Перевірка кабельних ліній постійного струму за умови нагрівання

Марка кабелю	Розрахунковий струм I_p , А	Допустимий струм I_d , А [14]	Виконання умови
КВЕ 1x6	11,26	50	Виконується

Значення розрахункового струму ланцюга сонячних панелей прийнято відповідно до технічних характеристик (струм короткого замикання). Схема комутації ФЕМ в стрінги зображена на рис. 3.1.

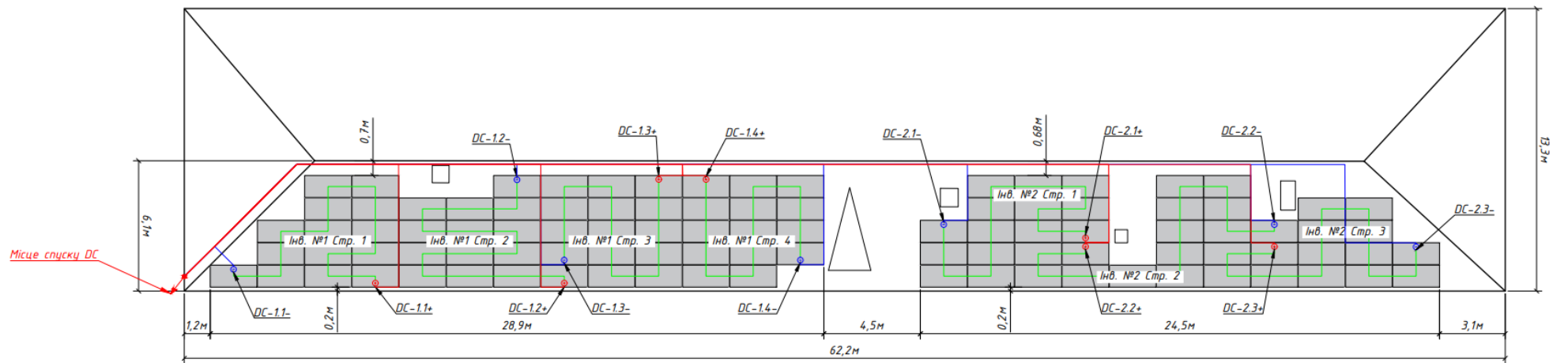


Рисунок 3.1 – План DC кабеля та схема комутації ФЕМ в стрінги

Таблиця 3.2 – Схема комутації по стрінгам

Інвертор	MPPT		Стринги		Модель ФЕМ
	Номер MPPT	Номер входу	Номер стрингу	Кількість ФЕМ в стрінгу	
ZCS AZZURRO 3PH HYD20000	1	1	Стр. 1.1	14	JKM455M-7RL3-TV
		2	Стр. 1.2	14	JKM455M-7RL3-TV
	2	3	Стр. 1.3	14	JKM455M-7RL3-TV
		4	Стр. 1.4	14	JKM455M-7RL3-TV
ZCS AZZURRO 3PH HYD15000	1	1	Стр. 2.1	14	JKM455M-7RL3-TV
		2	Стр. 2.2	14	JKM455M-7RL3-TV
	2	3	Стр. 2.3	14	JKM455M-7RL3-TV
		4	-	-	-

3.2. Вибір КЛ-0,4кВ змінного струму, перевірка на втрату напруги та за умовою нагрівання

Електрична енергія постійного струму, що виробляється ФЕМ, надходить до інвертора, де перетворюється в електричну енергію змінного струму. З інвертора електрична енергія змінного струму напругою 0,4 кВ по КЛ-0,4кВ надходить до ГРЩ лікарні кабельними лініями ВВГнгд, прокладеними в лотках.

Однолінійна схема електрощитової до встановлення ФЕС зображена на рис.3.2.

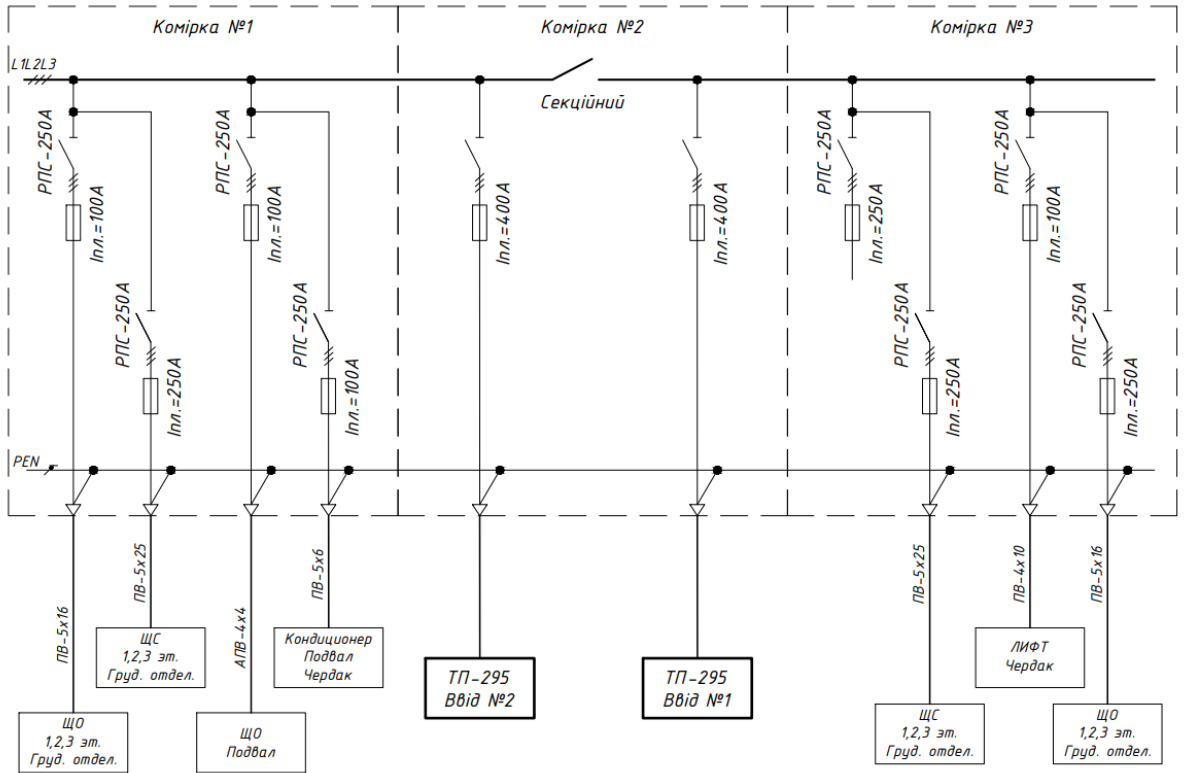


Рисунок 3.2 – Однолінійна схема електрощитової до встановлення ФЕС

Від інвертора та АВР до шин існуючого ГРЩ передбачено прокладання силового кабелю марки ВВГнгд - 5 x 25, ВВГнгд - 5 x 16 та ВВГнгд - 5 x 10.

Однолінійна схема після підключення ФЕС та дизель-генератора до електрощитової №4 зображена на рис. 3.3.

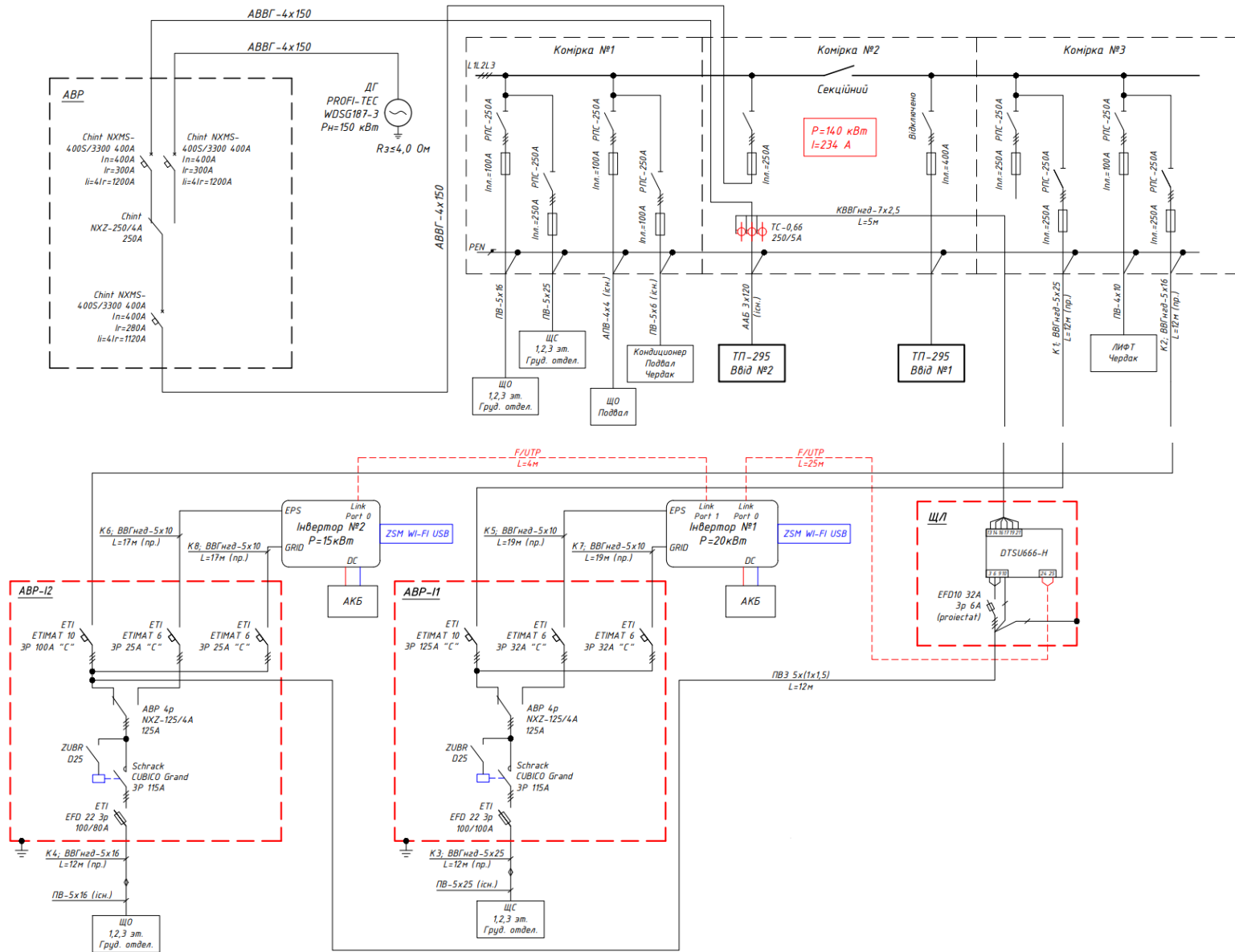


Рисунок 3.3 – Однолінійна схема після підключення ФЕС до електрощитової

Таблиця 3.3 – Перевірка кабельних ліній змінного струму за умови нагрівання

Лінія	Марка кабелю	Розрахунковий струм I_p , А	Допустимий струм I_d , А	Виконання умови
К1	ВВГнгд - 5 x 25	105	112	Виконується
К2	ВВГнгд - 5 x 16	83	87	Виконується
К3	ВВГнгд - 5 x 25	105	112	Виконується
К4	ВВГнгд - 5 x 16	83	87	Виконується
К5	ВВГнгд - 5 x 10	32	63	Виконується
К6	ВВГнгд - 5 x 10	24	63	Виконується
К7	ВВГнгд - 5 x 10	32	63	Виконується
К8	ВВГнгд - 5 x 10	24	63	Виконується

Значення розрахункового струму інверторів прийнято відповідно до технічних характеристик, а саме: К1-К4 – струм відповідного запобіжника (ЕТІ EFD 22 3р 100/80А та ЕТІ EFD 22 3р 100/100А) плюс зона нечутливості, тобто 100+5 та 80+3 А, К5-К8 – максимальні вихідні струми АС інверторів згідно з табл. 2.5.

Таблиця 3.4. – Перевірка кабельних ліній змінного струму на втрату лінійної напруги

Лінія	Марка кабелю	Розрахунковий струм I_p , А	Напруга, В	Довжина, м	ΔU , В	ΔU , %	Виконання умови $\Delta U < 5\%$
K1	ВВГнгд - 5 x 25	105	380	11	1,45	0,38	Виконується
K2	ВВГнгд - 5 x 16	83	380	10	1,64	0,43	Виконується
K3	ВВГнгд - 5 x 25	105	380	11	1,45	0,38	Виконується
K4	ВВГнгд - 5 x 16	83	380	10	1,64	0,43	Виконується
K5	ВВГнгд - 5 x 10	32	380	19	1,93	0,51	Виконується
K6	ВВГнгд - 5 x 10	24	380	17	1,29	0,34	Виконується
K7	ВВГнгд - 5 x 10	32	380	19	1,93	0,51	Виконується
K8	ВВГнгд - 5 x 10	24	380	17	1,29	0,34	Виконується

Втрата напруги розраховується за формулами ($\cos\varphi=1$):

$$\Delta U_B = \sqrt{3}I(R\cos\varphi L + X\sin\varphi L), \quad (3.1)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{100\sqrt{3}I(R\cos\varphi L + X\sin\varphi L)}{U_{л}}, \quad (3.2)$$

Приклад розрахунку для лінії K1:

$$\Delta U_B = \sqrt{3} \cdot 105 \cdot (0,000727 \cdot 11) = 1,45 \text{ В}, \quad (3.3)$$

$$\Delta U_{\%} = \frac{100\sqrt{3} \cdot 105 \cdot (0,000727 \cdot 11)}{380} = 0,38, \quad (3.4)$$

Запроектовані кабельні лінії не перевищують допустимих значень втрат напруги.

3.3. Компенсація реактивної потужності

Інвертори ZCS AZZURRO 3PH HYD20000 та ZCS AZZURRO 3PH HYD15000, які встановлюються для даної ФЕС, передбачають можливість регулювання реактивної потужності в межах $\cos(\varphi)$ інвертора. За замовчуванням інвертори налаштовані на генерацію лише активної потужності ($\cos(\varphi)=1$), тому

встановлення систем компенсації реактивної потужності для дахової ФЕС не передбачається.

Зі сторони сонячної електростанції інверторне обладнання містить в собі захист від коротких замикань і у випадку виникнення аварійної ситуації інвертор миттєво відмикається від мережі і припиняє генерацію, тобто не підживлює точку КЗ.

Облік електроенергії забезпечується існуючими електронними багатофункціональними засобами обліку активної та реактивної електроенергії.

3.4. Заземлення

Контур захисного заземлення будівлі існуючий. Опір заземлюючого пристрою повинен бути не більшим ніж 4,0 Ом. В іншому випадку необхідно забити додаткові електроди.

Всі металеві частини (лотки, щити) та інверторне обладнання заземляється проводом марки ПВ-3 перерізом 6 та 10 мм² (згідно з ПУЕ 2017 1.7).

3.5. Блискавкозахист

Дахова сонячна електростанція розглядається як зовнішня споруда (зовнішня електроустановка), яка розміщується на даху існуючої будівлі, оснащеної системою блискавкозахисту, яка відповідає вимогам ДСТУ EN 62305. Дахова сонячна електростанція не зменшує надійність захисту будівлі від прямого влучання блискавки та вторинних впливів блискавки (захист від перенапруг). Блискавкозахист дахової сонячної електростанції проектується відповідно норм та положень ДСТУ EN 62305. Споруда (електроустановка) дахової сонячної електростанції класифіковано як:

- по типу пошкоджень – S1, S4;
- по типу пошкоджень – D3;
- по типу втрат – L4.
- по типу ризику – R4.

З огляду на те, що пряме влучання блискавки в електроустановку сонячної електростанції може привести тільки до ризику економічних збитків (R4), при

незначних економічних втратах окремих елементів устаткування сонячної електростанції, та не може завдати шкоди будівлям, людям або привести до втрати об'єктів культурної спадщини, з техніко-економічних міркувань прийнято:

- влаштування додаткової системи блискавкозахисту для захисту устаткування сонячної електростанції від прямого влучання блискавки не потребується;

- основним способом захисту від вторинних проявів блискавки встановити захисне заземлення всіх провідних металоконструкцій сонячної електростанції.

3.6. Розрахунок ФЕС в програмному забезпеченні PVsyst

PVsyst - це потужний програмний комплекс, спеціально розроблений для проектування, аналізу та оптимізації сонячних електростанцій. PVsyst призначений для використання архітекторами, інженерами та дослідниками. PVsyst може імпортувати метеодані, а також особисті дані з різних джерел [15].

Перелік можливостей PVsyst:

- Проектування СЕС. Геометричне моделювання - PVsyst надає інструменти для точного визначення геометрії майданчика та розташування фотоелектричних модулів. Розрахунок та оцінка втрат - враховує різноманітні втрати, такі як втрати від затінення, втрати від запилення, деградації ФЕМ, та інші.

- Енергетичний аналіз. Імітація виробництва енергії - можливість моделювання виробництва електроенергії в залежності від географічного положення, орієнтації модулів, нахилу, технічних характеристик модулів та інших факторів. Симуляція роботи обладнання - розрахунки ефективності інверторів, акумуляторів, та інших компонентів.

- Фінансовий аналіз. Розрахунок витрат та прибутків, можливість розрахувати економічні показники проекту, включаючи повернення інвестицій, чистий прибуток, та інші фінансові показники.

- Оптимізація. Пошук оптимальних параметрів - PVsyst дозволяє моделювати різні сценарії для визначення оптимальних параметрів системи.

- Метеорологічні дані. Можливість використовувати реальні

метеорологічні дані для точніших прогнозів.

- 3D візуалізація. Представлення результатів моделювання у формі графіків, діаграм та 3D-моделей для легкого сприйняття інформації.

- Підтримка різних типів ФЕС. Гнучкість вибору технологій: PVSyst може використовуватися для аналізу різних типів СЕС, включаючи дахові, наземні та трекерні системи.

PVSyst використовується як інструмент для професійного проектування та аналізу СЕС та надає широкі можливості для оптимізації та оцінки різних параметрів систем.

Для моделювання та прогнозу генерації проектованої ФЕС було використано метеорологічні дані Meteonorm 8.1. Всього база даних Meteonorm містить 8325 метеостанцій. Середньомісячні значення радіації розраховувалися за періоди не менше 10 років.

Дані охоплюють таку інформацію для PVSyst:

- Глобальна горизонтальна радіація
- Дифузне горизонтальне освітлення
- Швидкість вітру
- Температура навколишнього середовища

Ефект далекого затінення від гір на сході та заході сонця не враховується, що означає, що в гірських регіонах необхідно додатково застосовувати маску горизонту в зоні проекту PVSyst.

В програмному комплексі PVSyst використані PAN та OND файли з технічними параметрами, що відповідають обраним в роботі ФЕМ та інверторам. Програма також враховує втрати від запилення ФЕМ та втрати в кабельних лініях.

Для точного моделювання та врахування втрат від затінення модулів було розроблено 3D модель реальної будівлі корпусу лікарні. При моделюванні враховані конструктивні особливості покрівлі, реальна орієнтація схилу, на якому встановлюються модулі, кут його нахилу, об'єднання ФЕМ в стрінги. Врахована

реальна геолокація об'єкту для завантаження відповідних метеоданих для прогнозу генерації електричної енергії протягом року.

Потужність споживання врахована відповідно до визначеної в роботі, а саме – 30 кВт кожну годину доби протягом всього року. Така модель споживання обрана для розрахунків з причини відсутності системи АСКОЕ на об'єкті та неможливості отримати реальне погодинне споживання.

Провівши всі відповідні налаштування, отримано детальний звіт. Результат роботи програмного комплексу PVSyst v.7.4.5 наведено в Додатку А.

Основні висновки моделювання даної ФЕС:

- Загальна річна генерація ФЕС складає 49 538 кВт-год (Produced Energy, E_Avail)
- Питома річна генерація при встановленні 1 кВт ФЕМ складає 1 111 кВт-год (Specific Production).
- Річне споживання корпусу лікарні складає 262 800 кВт-год (Used Energy).
- Надлишкова генерація ФЕС, що виникає в моменти коли генерація ФЕС перевищує споживання, обмежується інверторами для запобігання її експорту в мережу та складає 425,1 кВт-год (E_Grid). Таким чином, майже вся енергія, генерована ФЕС, надходить до споживача.
- Проектована ФЕС забезпечує перекриття річного споживання корпусу лікарні на 18,69% (Solar Fraction SF).
- Коефіцієнт продуктивності системи складає 86,00% (Performance Ratio). Це відношення фактично виробленої енергії до енергії, яка була б вироблена, якби система безперервно працювала з номінальною ефективністю STC.

Висновки до розділу

1. Розроблено план прокладки DC кабеля та схему комутації ФЕС по стрінгам. Кабельні лінії DC перевірено на умови нагрівання.

2. Розроблено однолінійну схему приєднання ФЕС до існуючих мереж корпусу лікарні. Кабельні лінії АС перевірено на умови втрати лінійної напруги та нагрівання.
3. Встановлення систем компенсації реактивної потужності для дахової ФЕС не передбачається.
4. Використовується існуючий контур заземлення корпусу лікарні.
5. Розраховано енергетичні параметри ФЕС в програмному забезпеченні PVSystem.

РОЗДІЛ 4. СТАРТАП ПРОЕКТ

4.1. Резюме

Проблема електропостачання в Україні набуває важливості внаслідок пошкоджень енергетичної системи. Вирішенням цього питання для споживачів може стати використання фотоелектричної станції, обладнаної акумуляторними батареями. Під час відключень електроенергії в мережі, інвертор автоматично перемикає живлення об'єкту на акумуляторні батареї. Така електростанція здатна живити всі прилади протягом певного часу, що є важливим аспектом забезпечення стабільності енергопостачання.

Мета проекту: розрахунок ФЕС для потреб об'єкту критичної інфраструктури.

Об'єкт дослідження: процес перетворення енергії сонячного випромінювання у форму електричної енергії з її подальшим накопиченням.

Продукт проекту: фотоелектрична станція із акумуляторними батареями.

Актуальність: бойові дії та військова агресія завдали серйозних пошкоджень енергосистемі України, що зробило критичну інфраструктуру більш вразливою. Лікарні, комунікаційні вузли та інші важливі об'єкти стикаються з серйозними труднощами у функціонуванні. Настає потреба в розробці та впровадженні нових, надійних та стійких до відключень систем живлення для забезпечення неперервного електропостачання цих об'єктів.

Технологія: конвертація сонячної енергії в електричну форму та подальше її акумуляування, що здійснюється за допомогою перетворення електричної енергії у хімічну.

Таблиця 4.1 – Резюме стартап проекту

Показник	Характеристика
Сутність стартап проекту	Безперебійне електропостачання об'єкту критичної інфраструктури
Аналоги	Типові рішення гібридних ФЕС від відомих виробників
Результати реалізації проекту	Безперебійне електропостачання споживача
Фактори успіху стартапу	Безперебійне електропостачання споживача протягом заданого часу
Поширеність технології	Технологія є розповсюдженою
КВЕД	D – Постачання електроенергії
Очікува потужність	Мала, живлення обладнання
Бізнес модель	B2B
Спеціалізація	Широка
Чисельність персоналу	Мала
Розташування	На території об'єкту критичної інфраструктури
Конкуренція	Присутня на території України та за її межами.
Споживачі	Юридичні особи
Джерела фінансування	Власні кошти та кошти благодійних фондів

Необхідно враховувати ризики, які можуть виникнути під час реалізації проекту та шляхи їх подолання.

Таблиця 4.2 – Ризики, та методи їх вирішення

Ризики	Суть ризику	Шляхи вирішення
Технологічні	Помилки персоналу; Наявність браку; Несправність обладнання;	Навчання персоналу; Підвищення якості контролю обладнання; Підписання сервісного договору на обслуговування; Регулярний технічний огляд.
Економічні	Зміна законодавства.	-
Техногенні	Вибух або пожежа на підприємстві;	Регулярна перевірка, встановлення системи попередження працівників та пожежної сигналізації.

Таблиця 4.3 – Аналіз зацікавленості партнерів

Зацікавлена сторона	Її вплив на реалізацію проекту	Її зацікавленість проектом	Загальний вплив на проект
1	2	3	4
Суб'єкти зовнішнього оперативного середовища			
Виробник	6	6	0,36
Постачальник	6	5	0,30
Споживач	5	10	0,50
Посередники	6	7	0,42

1	2	3	4
Зовнішнє середовище			
Законодавство країни	7	1	0,07
Економічні структури	5	8	0,40

Таблиця 4.4 – Аналіз факторів впливу та їх ефект

Фактор впливу	Переваги	Недоліки
1	2	3
Організаційна структура	Високий рівень кваліфікації співробітників	Брак досвіду співробітників
Виробництво	Високий рівень технологічності підприємства	Брак інвестицій
Персонал	Власна науково-технічна база для підготовки	Брак кваліфікованого персоналу

4.2. Визначення вартості та терміну окупності проекту

Проведемо оцінку електроенергії, що згенерована ФЕС, та електроенергії, яка була спожита, і представимо результати у таблиці 5.5. Дані беруться зі звіту PVSyst (Додаток А). Також проведемо аналіз витрат для реалізації проекту, який представлений у таблиці 5.6. В розрахунках приймається вартість електроенергії на рівні 4,1 грн/кВт-год без ПДВ за РДН (ринок на добу наперед). Курс UAH/EUR: – 41,70.

Таблиця 4.5 – Прогнозування обсягів реалізації стартап продукту

Місяць	Загальна генерація, кВт-год (E_Avail)	Споживання підприємства, кВт-год (E_User)	Надлишкова генерація, кВт-год (E_Grid)	Корисна енергія, кВт-год (E_Avail - E_Grid)	Економія, EUR з ПДВ
Січень	1 347	22 320	0,0	1347	159
Лютий	2 183	22 320	0,0	2183	258
Березень	4 237	22 320	18,4	4218,6	498
Квітень	5 444	22 320	58,2	5385,8	635
Травень	6 802	22 320	81,5	6720,5	793
Червень	7 032	22 320	125,1	6906,9	815
Липень	6 839	22 320	98,8	6740,2	795
Серпень	6 079	22 320	30,8	6048,2	714
Вересень	4 413	22 320	12,2	4400,8	519
Жовтень	2 844	22 320	0,0	2844	336
Листопад	1 293	22 320	0,0	1293	153
Грудень	1 025	22 320	0,0	1025	121
Сума за рік	49 538	262 800	425,1	49 113	5 795

Таблиця 4.6 – Вартість витрат для реалізації проекту

Найменування	Кількість	Вартість, EUR без ПДВ	Всього, EUR без ПДВ
1	2	3	4
Розробка робочого проекту ФЕС; Схема приєднання (зовнішні мережі); Оцінка навантажень на дахи	1	1 475,00	1 475,00
Фотоелектричні модулі Jinko Solar JKM455M-7RL3-TV	98	92,82	9 096,36

1	2	3	4
Інвертор AZZURRO 3PH HYD20000 ZSS	1	3 480,00	3 480,00
Інвертор AZZURRO 3PH HYD15000 ZSS	1	3 120,00	3 120,00
Пристрій моніторингу USB WI-FI MONITORING	2	28,80	57,60
АКБ WECO ZZT-BAT-6KWH-WXP	16	2 400,00	38 400,00
BMS контролер для АКБ WECO ZZT-HV-BOX-XP	2	1 080,00	2 160,00
Опорні металоконструкції та система кріплення ФЕМ	1	2 293,20	2 293,20
Матеріали: кабельні лотки, система заземлення, кабель АС, кабель DC, система моніторингу та обмеження, витратні матеріали	1	5 826,16	5 826,16
Будівельні роботи (система заземлення, прокладання кабелів АС/DC); Спецтехніка та механізми; Монтажні роботи (монтаж опорних конструкцій та основного обладнання ФЕС); Доставка матеріалів; Шефмонтаж та пусконаладка ФЕС	1	4 946,06	4 946,06
Введення ФЕС в експлуатацію (ДІАМ - повідомлення та декларація)	1	960,00	960,00
Всього за проектом, EUR без ПДВ		71 814,38	
Всього за проектом, EUR з ПДВ		86 177,26	

Таким чином, простий термін окупності складає:

$$T_{\text{окуп}} = \frac{CAPEX}{\text{Дохід}_{\text{рік}}} = \frac{86\,177,26}{5\,795,00} = 14,87 \text{ років}, \quad (4.1)$$

Висновки до розділу

1. Впровадження та реалізація ФЕС з АКБ є актуальним та перспективним стартап-проектом. Проаналізовано ризики та шляхи їх попередження.
2. Розраховано термін окупності ФЕС, що складає 14,87 років. Цей показник є доволі гарним, враховуючи вартість АКБ.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Основні вимоги до охорони праці

Основними нормативними документами для розроблення даного розділу слугують:

- ДБН В.1.2-9-2021 «Основні вимоги до будівель і споруд безпека експлуатації»;

- ДБН А.3.2-2-2009 «Охорона праці і промислова безпека у будівництві. Основні положення»;

Будівельно-монтажні роботи здійснюються з забезпеченням правил техніки безпеки відповідно до ДБН А.3.2-2-2009.

Санітарно-побутові приміщення та проходи до них розміщуються за межами небезпечних зон.

Будівельно-монтажні роботи у охоронній зоні діючих ліній електропостачання необхідно проводити безпосередньо під керівництвом інженерно-технічного працівника, відповідального за безпечне виконання робіт, при наявності письмового дозволу організації - власника лінії та наряд - допуску, які визначають безпечні умови праці та видаються у відповідності з правилами ДБН А.3.2-2-2009.

Наряд-допуск на виконання будівельно-монтажних робіт у охоронній зоні діючої лінії електропостачання повинен бути підписаний головним інженером будівельно-монтажної організації та особою, відповідальною за безпечний стан електрогосподарства в організації та несе відповідальність за виконання необхідних заходів вказаних у даному стандарті.

Для виконання обсягу БМР генпідрядник залучає в необхідній кількості ІТП і робітників відповідної кваліфікації, у залежності від характеру роботи бригади.

Охорона праці повинна забезпечувати:

- організацію технологічних процесів у відповідності з вимогами до діючих санітарних норм, механізацію та автоматизацію небезпечних робіт;

- видачу працівникам необхідних засобів індивідуального захисту спецодягу, взуття, захисних касок);

- надання санітарно-побутових приміщень та устаткування у відповідності з діючими нормами.

Робітникам повинні бути створені необхідні умови праці, харчування та відпочинку. У процесі виконання БМР необхідно дотримуватися нормативних вимог щодо попередження порушень технологічної дисципліни, техніки безпеки та пожежної безпеки у будівництві.

З усіма працівниками повинен проводитись вступний інструктаж та інструктаж на робочих місцях з техніки безпеки, пожежної безпеки та виробничої санітарії згідно вимог ДБН А.3.2-2-2009.

5.2. Заходи щодо забезпечення безпеки процесів

Виробничі процеси при влаштуванні сонячних електростанцій не є пожежо- і вибухонебезпечними, а також не забруднюють навколишнє середовище шкідливими виробами.

По периметру будівля огорожується тимчасовою сигнальною стрічкою. Персонал, який виконує роботи, повинен працювати в спецодязі. Передбачене використання обладнання, сертифікованого належним чином підприємствами – виробниками для використання на території України.

Об'ємно-планувальні рішення, матеріали і конструкції, що застосовуються, при будівництві сонячної електростанції задовільняють умовам вибухо- та пожежобезпеки.

Приміщення, що відведене для працівників, що реалізують сонячну електростанцію, забезпечене відповідними системами опалення, вентиляції й освітлення.

При проведенні робіт можлива дія наступних небезпечних і шкідливих виробничих чинників, специфічних для господарства:

- падіння предметів та інструментів;

- небезпечного рівня напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може

відбутися через тіло людини;

У разі виникнення на об'єкті умов, що загрожують життю і здоров'ю людей, слід негайно припинити роботи в цих місцях та вивести людей з небезпечної зони.

Під час виконання робіт, до яких висуваються додаткові (підвищені) вимоги безпеки праці відповідальному виконавцю видається наряд-допуск та у виняткових випадках роботи можуть виконуватися без розпорядження.

Наряд видається на термін, необхідний для виконання заданого обсягу робіт. У разі перерви у виробництві робіт більше доби або зміни його умов наряд-допуск анулюється, і при поновленні робіт видається новий.

5.3. Заходи щодо унеможливлення наступних груп ризиків для працівників та людей під час будівництва та експлуатації об'єкту

Основна вимога «безпека експлуатації» при будівництві сонячної електростанції стосується двох груп ризиків:

- ковзання, падіння, удари;
- опіки, електроудари, вибухи.

Ковзання і удари, обумовлені, наприклад, падінням, спотиканням чи ковзанням користувачів об'єктів. Щоб запобігти вище вказаним ризикам необхідно:

1. Дотримання нормативних вимог що до ширин коридорів та проходів, розташування обладнання.
2. Тримати робочі місця в порядку.
3. Не захарашувати проходи та коридори.
4. Підлоги виробничих приміщень має бути рівною, з нормативним ухилом та не мати впадин чи виступів.
5. Робітники мають бути забезпечені спецвзуттям та зручним спецодягом.
6. Підлоги та поверхні мають бути сухими та чистими для цього потрібно проводити планові прибирання та влаштовувати позапланове прибирання в разі забруднення підлоги чи робочих поверхонь.

9. Необхідно проводити інструктажі з техніки безпеки.

10. Не допускається провисання будівельних конструкцій або інженерних мереж.

11. В небезпечних місцях має бути попереджувальний напис, яких розташовано у видимій області.

12. Необхідно дотримуватися правил складування та штабелювання матеріалів.

15. Всі робітники мають бути забезпечені власними засобами захисту, такими як каски.

Тілесні пошкодження як наслідки контакту чи маніпуляції з елементами рухомих частин будівельних об'єктів (затиснення, трощення, різання, тощо).

Щоб запобігти вище вказаним ризикам необхідно:

1. Всі рухомі елементи механізмів мають бути закритими.

2. Не дозволяється торкатися до рухомих частин обладнання під час роботи пристрою.

3. Всі небезпечні ділянки мають бути оснащені попереджувальними написами.

4. Робітники мають бути забезпечені власними засобами захисту такими як спец рукавиці.

5. З одягу не повинно звисати шнурки та зав'язки для запобігання потрапляння на рухомі частини приладів.

6. Волосся необхідно прибрати під головним убором для запобігання потрапляння на рухомі частини приладів.

7. Необхідно проводити інструктажі з техніки безпеки.

8. До користування обладнанням допускаються лише робітники які мають відповідні навички та кваліфікацію, після проведення інструктажу та роз'яснювальних робіт.

Для запобігання ризику електричного удару та електрошоку розділом ЕТР

передбачено: автоматичні вимикачі, розроблено контур заземлення та прокладання проводки в гофрорукавах та коробах.

Обладнання чи умови які можуть спровокувати вибух в даному проекті відсутні. На будівельному майданчику визначаються небезпечні зони, які огорожуються сигнальними стрічками та огорожами та позначаються попереджувальними написами та знаками. Візуалізація знаків у темний період доби проектом не передбачена, оскільки роботи виконуються у світлий час доби.

До початку робіт необхідно розробити проект виконання робіт згідно з ДБН А.3.1-5:2016 «Організація будівельного виробництва».

5.4. Пожежна безпека об'єкту будівництва

Проектні рішення розроблені з урахуванням наступних вимог:

- Правила улаштування електроустановок 2017р;
- НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні.

Для виконання протипожежної безпеки передбачаються наступні заходи:

- обладнання, що використовується, не містить легкозаймистих речовин і матеріалів.

- кабельні мережі електропостачання, що використовуються в проекті, виконані кабелем марки КВЕ - 1х6; ВВГнгд - 5 х 25, ВВГнгд - 5 х 16 та ВВГнгд - 5 х 10.

- електричні кабелі прокладаються по металевих лотках. Вид електропроводки і спосіб прокладання кабелів виконаний згідно вимог електробезпеки, пожежної безпеки та глави 2.1 ПУЕ 2017.

- електричне обладнання, що встановлюється на покрівлі будівлі запроектовано із захистом від струмів короткого замикання та інших аварійних режимів.

- перевірено вибір уставок спрацювання існуючих автоматичних вимикачів, що забезпечують відключення ушкодженої ділянки електромережі при надструмах.

- виконано заземлення проєктованих корпусів електрообладнання .

- передбачається з'єднання, відгалуження та окінцювання жил проводів і кабелів.

5.5. Оцінка впливу об'єкту проектування на навколишнє середовище

Будівництво сонячної електростанції не виходить за межі існуючої будівлі на даху якої вона буде розташована.

Основними елементами розміщеними на майданчику проектування є:

- сонячні модулі, встановлені на металевих каркасах з алюмінієвого сплаву із захисним анодним покритим;
- інверторне обладнання, що встановлюється в будівлях.

При визначенні екологічних обмежень та потенційних джерел впливу на навколишнє середовище, а також можливих меж зон впливу від них було використано ДБН А.2.2-1-2021 «Склад і зміст матеріалів оцінки впливів на навколишнє середовище (ОВНС) при проектуванні і будівництві підприємств, будинків і споруд».

Будівництво даної сонячної електростанції не призведе до зміни природного рельєфу, зміни гідрологічного режиму підземних вод, не створить радіаційної небезпеки. Над сонячними (фотоелектричними) елементами (ФЕМ) не нагрівається повітря, що не спричиняє зміни мікроклімату в районі розташування електростанції.

В атмосферу не передбачається викид забруднюючих речовин від автотранспорту. Даний об'єкт не призведе до забруднення атмосферного повітря біологічними речовинами та не створить специфічних запахів. Будівництво даної сонячної електростанції має позитивні соціальні та економічні наслідки, які будуть сприяти енергозбереженню.

Попередньою оцінкою впливу на навколишнє середовище визначені рівні впливу об'єкту містобудування на довкілля:

- на геологічне середовище - не впливає;
- на атмосферне повітря - не впливає;

- на мікроклімат - не впливає;
- на водне середовище - не впливає;
- на верхній родючий шар ґрунту - не впливає;
- на соціальне середовище - впливає позитивно;
- на техногенне середовище - не впливає;
- на рослинний та тваринний світ - не впливає.

Сонячна електроенергетика зберігає тисячі тон кисню, запобігає утворенню сотень тон забруднюючих та озоноруйнуючих речовин від традиційних джерел енергії.

Висновки до розділу

1. Визначено основні вимоги до охорони праці у відповідності до ДБН В.1.2-9-2021 та ДБН А.3.2-2-2009.
2. Виробничі процеси при влаштуванні сонячних електростанцій не є пожежо- і вибухонебезпечними, а також не забруднюють навколишнє середовище шкідливими виробами.
3. Визначено засоби попередження ризиків травмування працівників під час будівельно-монтажних робіт та експлуатації ФЕС.
4. Пожежна безпека на об'єкті забезпечується у відповідності до ПУЕ 2017р. та НАПБ А.01.001-2014.
5. Проектована ФЕС є екологічно чистим виробництвом, діяльність сонячної електростанції не супроводжується забрудненням атмосферного повітря шкідливими речовинами.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У даній магістерській дисертації було розраховано параметри фотоелектричну систему живлення для реанімаційного корпусу лікарні в Чернігівській області із використанням дизель-генератора та акумуляторних батарей.

У першому розділі розглянуто конструктивне виконання сонячних фотомодулів, інверторів та акумуляторних батарей для будівництва ФЕС. Проаналізовано та порівняно принципові системи ФЕС.

У другому розділі обрано тип обладнання для будівництва сонячної електростанції. Виконано розрахунок потужностей АС та DC ФЕС, а також ємності АКБ. Обрана система кріплення фотомодулів, визначено їх розташування на даху будівлі. ФЕС складається із 98 ФЕМ Jinko Solar JKM455M-7RL3-TV потужністю 455 Вт та двох трифазних гібридних інверторів ZCS AZZURRO номінальною потужністю 15 та 20 кВт. Номінальна потужність встановлених ФЕМ становить 44,6 кВт. Обрано літій-залізо-фосфатні АКБ WECO ZZT-BAT-6KWH-WXP в кількості 16 шт. загальною ємністю 96 кВт-год. АКБ встановлюються по 8 шт. на інвертор та з'єднуються паралельно. Така конфігурація дозволяє забезпечувати безперебійне живлення корпусу лікарні протягом близько 3 годин при умові максимального навантаження споживачів. Обрано традиційне резервне джерело енергії – дизель-генератор потужністю 150 кВт для живлення всього ГРЩ.

У третьому розділі проведено розробку електротехнічних рішень. Розроблена однолінійна схема, а також схема комутації ФЕС по стрінгам. Розраховано енергетичні параметри ФЕС в програмному комплексі PVSyst.

У четвертому розділі проведено розробку стартап проекту. Досліджено перспективність проекту, фактори ризику та засоби їх попередження. Розраховано вартість проектування, обладнання, матеріалів, робіт з монтажу, введення в експлуатацію. Розраховано простий термін окупності ФЕС, що складає 14,87 років.

У п'ятому розділі описано необхідні умови для виконання вимог до охорони праці.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. N. S. Lewis , G. W. Crabtree , eds., Basic Research Needs for Solar Energy Utilization: Report of the Basic Energy Sciences Workshop on Solar Energy Utilization, April 18–21, 2005, US Department of Energy Office of Basic Energy Sciences (2005).
2. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.nrel.gov/>
3. W.Shockley , Н. J.Queisser , J. Appl. Phys. 32, 510 (1961).
4. J. Liu et al, J. Am. Chem. Soc. 126, 6550 (2004).
5. A. J.Nozik , Physica E (Amsterdam) 14, 115 (2002).
6. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://ecotech.com.ua/ua/a286780-srok-sluzhby-proizvoditelnost.html>
7. James P. Dunlop, Florida Solar Energy Center for Sandia National Laboratories: Batteries and Charge Control in Stand-Alone Photovoltaic Systems. Fundamentals and Application, 1997.
8. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://elektro.in.ua/>
9. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.jinkosolar.com/en/>
10. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://kripter.ua/>
11. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.zcsazzurro.com/uk/>
12. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://wecobatteries.com/>
13. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://generator.ua/dyzelniheneratory/7948-generator-dizelnij-profi-tec-wdsg187-3-power-max.html>
14. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.kbe-elektrotechnik.com/>
15. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://www.pvsyst.com/>



PVsyst - Simulation report

Grid-Connected System

Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

Tables on a building

System power: 44.6 kWp

Chernihiv - Ukraine

Author

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)



Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.5

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

Project summary

Geographical Site Chernihiv Ukraine	Situation Latitude 51.50 °N Longitude 31.28 °E Altitude 156 m Time zone UTC+2	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Chernihiv Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 20.1 / -22 °	Tables on a building Near Shadings Linear shadings : Fast (table)	User's needs Daily profile Constant over the year Average 720 kWh/Day
System information PV Array Nb. of modules 98 units Pnom total 44.6 kWp	Inverters Nb. of units 2 units Pnom total 35.0 kWac Pnom ratio 1.274	

Results summary

Produced Energy 49538 kWh/year	Specific production 1111 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 86.00 %
Used Energy 262800 kWh/year		Solar Fraction SF 18.69 %

Table of contents

Project and results summary	2
General parameters, PV Array Characteristics, System losses	3
Near shading definition - Iso-shadings diagram	5
Main results	6
Loss diagram	7



Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.5

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

General parameters

Grid-Connected System		Tables on a building											
PV Field Orientation		Sheds configuration					Models used						
Orientation		Nb. of sheds					Transposition						
Fixed plane		98 units					Perez						
Tilt/Azimuth		Sizes					Diffuse						
20.1 / -22 °		Sheds spacing 0.99 m					Perez, Meteorom						
		Collector width 1.03 m					Circumsolar						
		Ground Cov. Ratio (GCR) 104.3 %					separate						
		Shading limit angle											
		Limit profile angle 86.7 °											
Horizon		Near Shadings					User's needs						
Free Horizon		Linear shadings : Fast (table)					Daily profile						
							Constant over the year						
							Average 720 kWh/Day						
Hourly load	0 h	1 h	2 h	3 h	4 h	5 h	6 h	7 h	8 h	9 h	10 h	11 h	
	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	kW
	12 h	13 h	14 h	15 h	16 h	17 h	18 h	19 h	20 h	21 h	22 h	23 h	
	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	30.00	kW

PV Array Characteristics

Array #1 - PV Array			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	SofarSolar
Model	JKM455M-7RL3-TV	Model	SOFAR HYD 20KTL-3PH
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	455 Wp	Unit Nom. Power	20.0 kWac
Number of PV modules	56 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	25.48 kWp	Total power	20.0 kWac
Modules	4 string x 14 In series	Operating voltage	180-960 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>25°C)	22.0 kWac
Pmpp	23.33 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.27
U mpp	542 V	Power sharing within this inverter	
I mpp	43 A		
Array #2 - Sub-array #2			
PV module		Inverter	
Manufacturer	Jinkosolar	Manufacturer	SofarSolar
Model	JKM455M-7RL3-TV	Model	SOFAR HYD 15KTL-3PH
(Custom parameters definition)		(Custom parameters definition)	
Unit Nom. Power	455 Wp	Unit Nom. Power	15.0 kWac
Number of PV modules	42 units	Number of inverters	1 unit
Nominal (STC)	19.11 kWp	Total power	15.0 kWac
Modules	3 string x 14 In series	Operating voltage	180-960 V
At operating cond. (50°C)		Max. power (=>25°C)	16.5 kWac
Pmpp	17.50 kWp	Pnom ratio (DC:AC)	1.27
U mpp	542 V	Power sharing within this inverter	
I mpp	32 A		



Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.5

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

PV Array Characteristics

Total PV power		Total inverter power	
Nominal (STC)	45 kWp	Total power	35 kWac
Total	98 modules	Max. power	38.5 kWac
Module area	223 m ²	Number of inverters	2 units
Cell area	203 m ²	Phom ratio	1.27

Array losses

Array Soiling Losses		Thermal Loss factor		LID - Light Induced Degradation				
Loss Fraction	1.5 %	Module temperature according to irradiance		Loss Fraction	2.0 %			
		Uc (const)	15.0 W/m ² K					
		Uv (wind)	0.0 W/m ² K/m/s					
Module Quality Loss		Module mismatch losses		Strings Mismatch loss				
Loss Fraction	-0.5 %	Loss Fraction	2.0 % at MPP	Loss Fraction	0.1 %			
IAM loss factor								
Incidence effect (IAM): User defined profile								
0°	30°	50°	60°	70°	75°	80°	85°	90°
1.000	1.000	1.000	0.998	0.981	0.961	0.930	0.856	0.000

DC wiring losses

Global wiring resistance	10 mΩ		
Loss Fraction	1.5 % at STC		
Array #1 - PV Array		Array #2 - Sub-array #2	
Global array res.	208 mΩ	Global array res.	277 mΩ
Loss Fraction	1.5 % at STC	Loss Fraction	1.5 % at STC

AC wiring losses

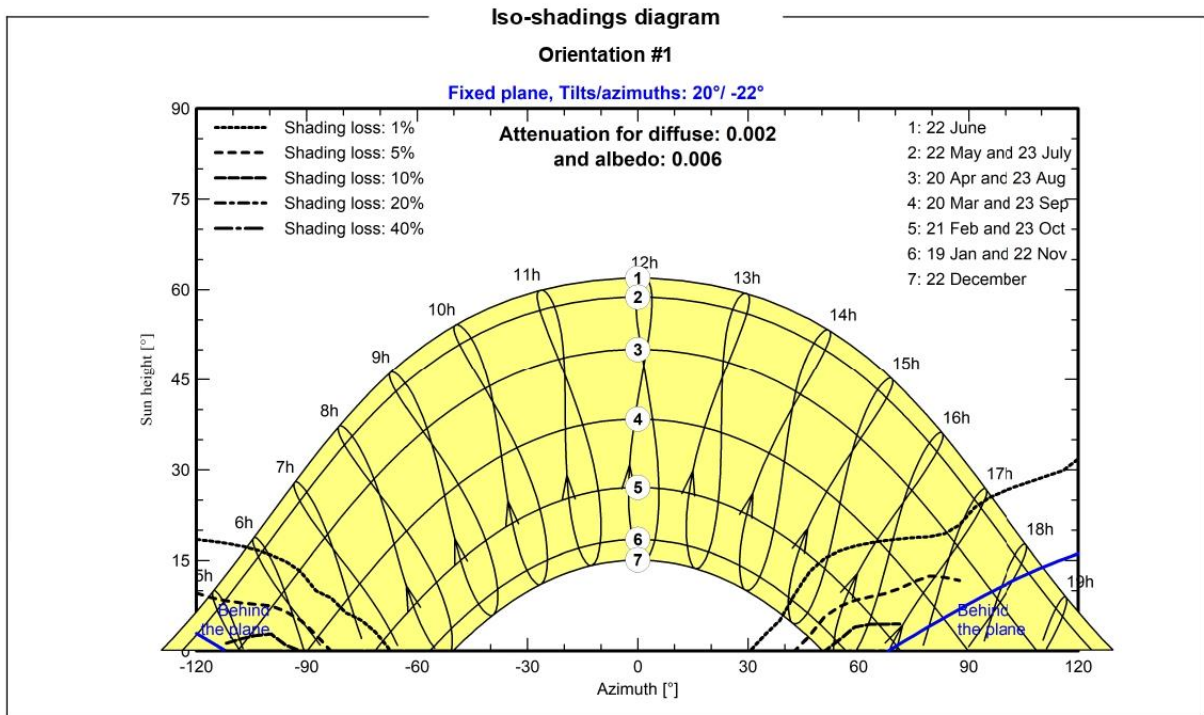
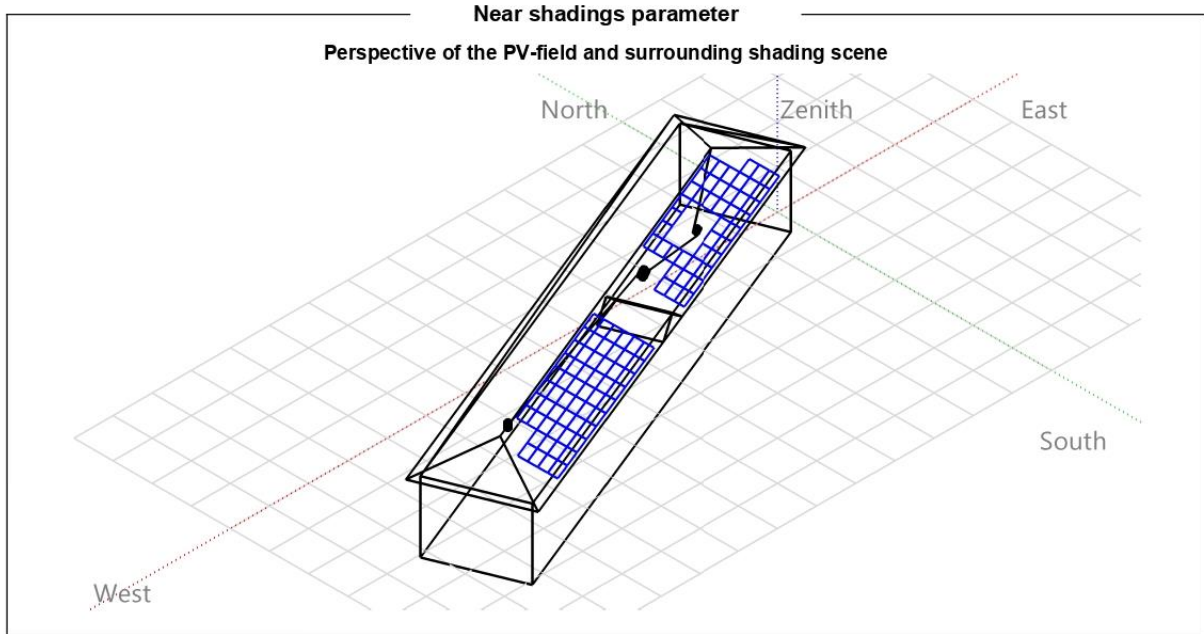
Inv. output line up to injection point	
Inverter voltage	400 Vac tri
Loss Fraction	0.63 % at STC
Inverters: SOFAR HYD 20KTL-3PH, SOFAR HYD 15KTL-3PH	
Wire section (2 Inv.)	Alu 2 x 3 x 70 mm ²
Average wires length	100 m



PVsyst V7.4.5
VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня
Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)





Project: фЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: фЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.5

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

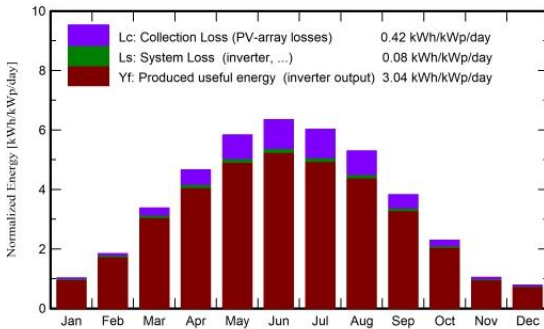
Main results

System Production

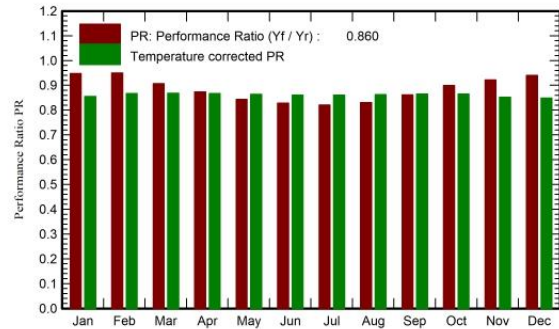
Produced Energy 49538 kWh/year
Used Energy 262800 kWh/year

Specific production 1111 kWh/kWp/year
Perf. Ratio PR 86.00 %
Solar Fraction SF 18.69 %

Normalized productions (per installed kWp)



Performance Ratio PR



Balances and main results

	GlobHor kWh/m ²	DiffHor kWh/m ²	T_Amb °C	GlobInc kWh/m ²	GlobEff kWh/m ²	EArray kWh	E_Grid kWh	EArrMPP kWh	EffArrR %	EFrGrid kWh
January	21.6	14.03	-4.77	31.9	31.1	1391	0.0	1391	19.58	20973
February	38.9	23.65	-4.04	51.5	50.4	2244	0.0	2244	19.52	17977
March	85.6	37.34	1.36	104.8	102.6	4347	18.4	4347	18.60	18101
April	125.3	61.14	9.02	139.8	136.9	5583	58.2	5583	17.91	16214
May	171.1	80.05	15.69	180.9	177.2	6974	81.5	6974	17.29	15599
June	185.5	80.17	18.69	190.3	186.3	7212	125.1	7212	16.99	14694
July	180.7	75.80	21.36	186.9	183.1	7015	98.8	7015	16.83	15580
August	148.9	66.44	20.04	164.2	160.8	6233	30.8	6233	17.03	16272
September	98.6	48.52	13.64	114.8	112.4	4525	12.2	4525	17.67	17199
October	55.8	32.01	7.27	70.9	69.4	2921	0.0	2921	18.46	19476
November	23.0	15.69	2.31	31.5	30.7	1338	0.0	1338	19.07	20307
December	17.1	12.68	-2.29	24.4	23.9	1062	0.0	1062	19.49	21295
Year	1152.0	547.51	8.26	1291.8	1264.8	50845	425.1	50845	17.65	213687

Legends

GlobHor	Global horizontal irradiation	EArray	Effective energy at the output of the array
DiffHor	Horizontal diffuse irradiation	E_Grid	Energy injected into grid
T_Amb	Ambient Temperature	EArrMPP	Array virtual energy at MPP
GlobInc	Global incident in coll. plane	EffArrR	Effic. Eout array / rough area
GlobEff	Effective Global, corr. for IAM and shadings	EFrGrid	Energy from the grid



Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

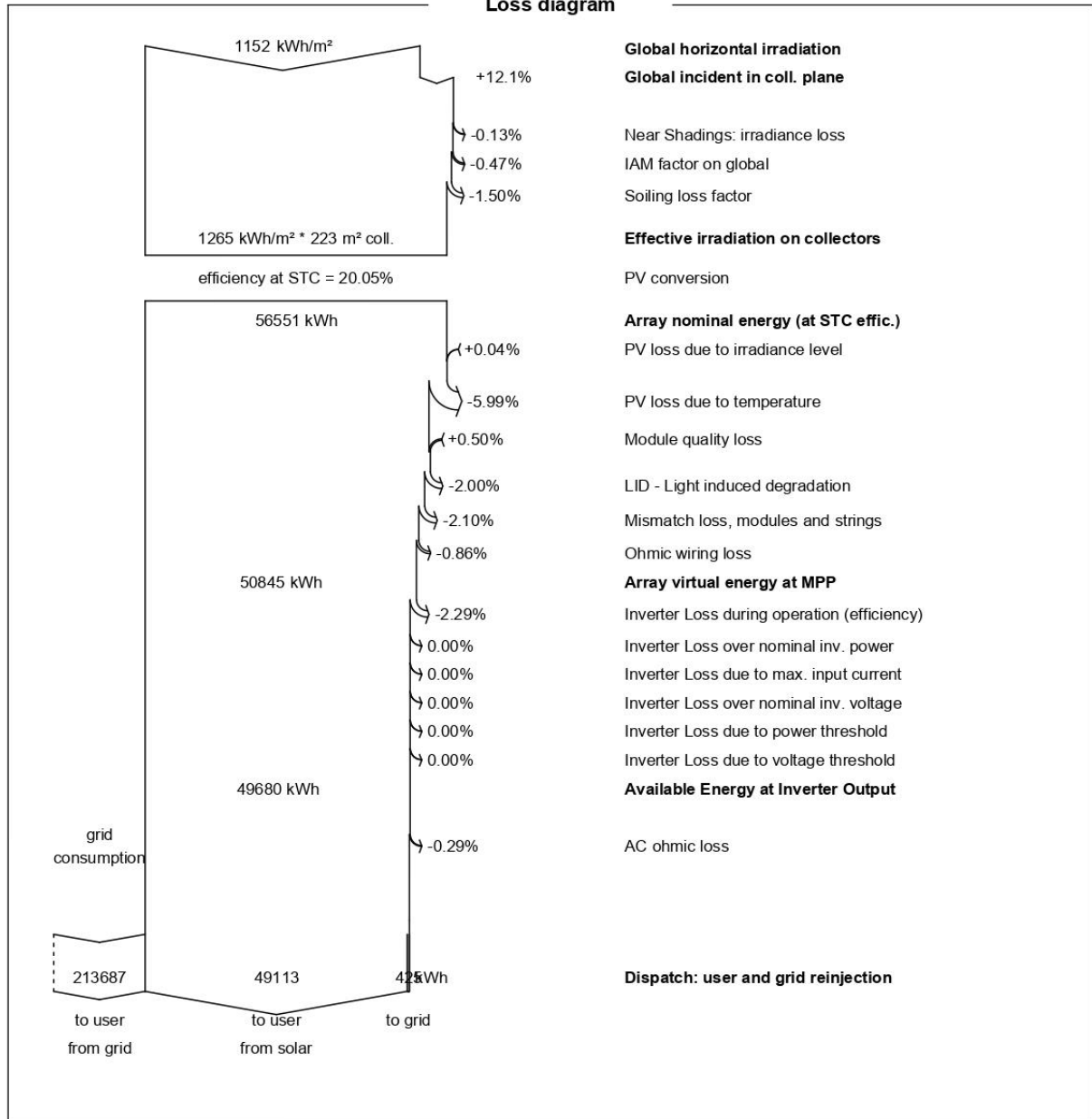
Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.5

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

Loss diagram





PVsyst V7.4.4
VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня
Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт
Energy use and User's needs

	E_Avail	E_User	E_Grid	SolFrac	PR
	kWh	kWh	kWh	ratio	ratio
January	1347	22320	0.0	0.060	0.948
February	2183	20160	0.0	0.108	0.950
March	4237	22320	18.4	0.189	0.907
April	5444	21600	58.2	0.249	0.874
May	6802	22320	81.5	0.301	0.843
June	7032	21600	125.1	0.320	0.829
July	6839	22320	98.8	0.302	0.821
August	6079	22320	30.8	0.271	0.830
September	4413	21600	12.2	0.204	0.862
October	2844	22320	0.0	0.127	0.899
November	1293	21600	0.0	0.060	0.922
December	1025	22320	0.0	0.046	0.940
Year	49538	262800	425.1	0.187	0.860



Project: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня

Variant: гФЕС Чернігівська обласна дитяча лікарня_455_без АКБ_30кВт

PVsyst V7.4.4

VC4, Simulation date:
04/12/23 09:43
with v7.4.4

UNISOLAR ENGINEERING LLC (Ukraine)

Project summary

Geographical Site Chernihiv Ukraine	Situation Latitude 51.50 °N Longitude 31.28 °E Altitude 156 m Time zone UTC+2	Project settings Albedo 0.20
Meteo data Chernihiv Meteonorm 8.1 (1996-2015), Sat=100% - Synthetic		

System summary

Grid-Connected System PV Field Orientation Fixed plane Tilt/Azimuth 20.1 / -22 °	Tables on a building Near Shadings Linear shadings : Fast (table)	User's needs Daily profile Constant over the year Average 720 kWh/Day
System information PV Array Nb. of modules 98 units Pnom total 44.6 kWp	Inverters Nb. of units 2 units Pnom total 35.0 kWac Pnom ratio 1.274	

Results summary

Produced Energy 49.54 MWh/year	Specific production 1111 kWh/kWp/year	Perf. Ratio PR 86.00 %
Used Energy 262.80 MWh/year		Solar Fraction SF 18.69 %

Table of contents

Project and results summary	2
-----------------------------	---