

Вінницький національний технічний університет
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет електроенергетики та електромеханіки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Бакалаврська кваліфікаційна робота на тему:

«Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної
електростанції загальною потужністю 220кВт»

Виконав: студент 4 курсу, гр. ЕМСА-216
спеціальності 141 – Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)
Денис АМБРУСЕВИЧ
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

Керівник: к.т.н., доцент кафедри КЕМСК
Володимир БОГАЧУК
(ім'я ПРІЗВИЩЕ, підпис)

« 17 » червня 2025 р.

Рецензент: к.т.н., доц. кафедри ЕСЕСМ
Валеріо О.В.
(прізвище та ініціали)

« 10 » 06 2025 р.

Допущено до захисту

Зав. кафедри _____

« 3 » червня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет

Факультет Електроенергетики та електромеханіки

Кафедра комп'ютеризованих електромеханічних систем і комплексів

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 14 – Електрична інженерія

Спеціальність 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

Освітньо-професійна програма «Електромеханічні системи автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачкафедри

К.Т.Н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“18” лютого 2025 року

**З А В Д А Н Н Я
НА БАКАЛАВРСЬКУ ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Амбрусевичу Денису Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт

Керівник роботи Богачук Володимир Васильович, к.т.н., доц. каф.КЕМСК
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від “20” березня 2025 року №97

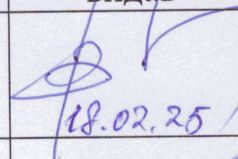
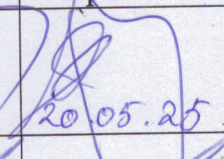
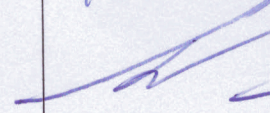
2. Термін подання студентом роботи 03.06.2025р.

3. Вихідні дані до роботи: тип електростанції – промислова (220 кВт), джерело електроенергії – сонячні панелі; тип інвертора – мережевий; спосіб монтажу – дах. Технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалами опису і автоматизації технологічного процесу розробки системи керування сонячною електростанцією

4. Зміст текстової частини: 1 Аналіз функціонування сонячних електростанцій та режимів їх роботи. Постановка задач дослідження. 2 Обґрунтування та розробка структури автоматизованої система керування рівнем генерації. 3 Вибір обладнання автоматизована система керування рівнем генерації. 4. Розробка автоматизованої системи керування рівнем генерації. 6 Охорона праці. Висновки

5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження; Загальна характеристика систем ЕП на основі СФЕС. Структурні схеми автономних фотоелектричних електростанцій. Види сонячних електростанцій. Структурні схеми основних типів СФЕС. Методика визначення параметрів та характеристик міні-СФЕС. Автоматизовані системи керування рівнем генерації промислових сонячних електростанцій. Визначення типів та характеристик обладнання і комплектуючих. Визначення типів та характеристик обладнання АСК СФЕС. Схема електрична принципова автоматичної системи керування генерацією СФЕС. Схема включення Smart Logger. Практична реалізація АСК СФЕС. Система моніторингу АСК генерацією. Висновки.

6. Консультанти розділів роботи

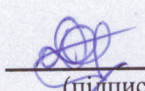
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	виконання прийняв
Спеціальна частина	к. т. н., доц. каф. КЕМСК Богачук В.В.	 18.02.25	 20.05.25
Охорона праці	Зав. каф. БЖДПБ, д.пед.н., проф. Кобилянський О. В.	 18.02.25	 20.05.25

7. Дата видачі завдання 18.02.25р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

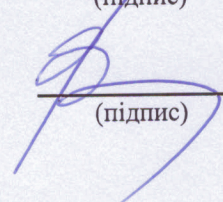
№ з/п	Назва етапів роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Формування та затвердження теми бакалаврської дипломної роботи (БДР)	18.02.25	вик
2	Виконання спеціальної частини БДР. Перший рубіжний контроль виконання БДР	06.05.25	вик
3	Виконання спеціальної частини БДР. Другий рубіжний контроль виконання БДР	20.05.25	вик
4	Виконання розділу «Охорона праці»	20.05.25	вик
5	Попередній захист БДР	03.06.25	вик
6	Нормоконтроль БДР	03.06.25	вик
7	Рецензування БДР	10.06.25	вик
8	Захист БДР	19.06.25	вик

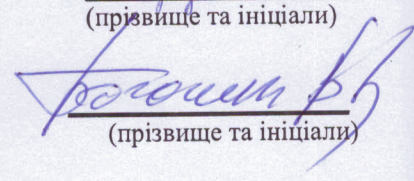
Студент


(підпис)

Амбрусевич Д.О.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)


(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Бакалаврська дипломна робота складається з 104 сторінки формату А4, на яких є 19 рисунків, 10 таблиць, список використаних джерел містить 21 найменування.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка та оптимізація режимів роботи системи керування сонячної фотоелектричної установки промислового підприємства, оптимізація її експлуатаційно-технічних характеристик та її функціональних можливостей.

Розглянуті особливості застосування сонячних електростанцій, сучасні тенденції їх розвитку та концепції, а також вимоги, які пред'являються до комбінованих систем автономного електропостачання. Обґрунтовано розробку структури СФЕС. Розраховано потужність сонячної міні електростанції із врахуванням типових потреб приватного будинку, визначено характеристики основних елементів системи електропостачання. Здійснено вибір та розрахунок елементів комбінованої автономної системи електропостачання. Розроблено схеми електричні структурні та принципові сонячної мініелектростанції. Методом комп'ютерного моделювання досліджено динамічні характеристики системи. Приведено результати побудови проектованої сонячної електростанції в на підприємстві, приведено результати її функціонування із можливістю здійснення моніторингу режимі роботи станції.

Визначено основні положення щодо безпечної експлуатації досліджуваного електротехнічного комплексу, на який впливають різного роду шкідливі фактори.

Ключові слова: електротехнічний комплекс, сонячна станція, мережевий інвертор, система моніторингу, моделювання, схема принципова.

ABSTRACT

The bachelor's thesis consists of 104 pages of A4 format, on which there are 19 figures, 10 tables, the list of used sources contains 23 names.

The purpose of the bachelor's qualification work is to develop and optimize the operating modes of the control system of a solar photovoltaic installation of an industrial enterprise, optimize its operational and technical characteristics and its functional capabilities.

The features of the application of solar power plants, modern trends in their development and concept, as well as the requirements for combined autonomous power supply systems are considered. The development of the structure of the solar power plant is justified. The capacity of the solar mini-power plant is calculated taking into account the typical needs of a private house, the characteristics of the main elements of the power supply system are determined. The selection and calculation of the elements of the combined autonomous power supply system are carried out. The electrical structural and principle diagrams of the solar mini-power plant are developed. The dynamic characteristics of the system are studied using the method of computer modeling. The results of the construction of the designed solar power plant at the enterprise are presented, the results of its operation are presented with the possibility of monitoring the operating mode of the station.

Keywords: electrical complex, solar station, network inverter, monitoring system, modeling, schematic diagram.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	9
1.1 Аналіз застосування фотоелектричних енергетичних установок в системах електропостачання.....	9
1.2 Будова та принципи роботи сонячних установок	12
1.3 Види сонячних електростанцій.....	19
1.4 Переваги та недоліки використання сонячної енергії	24
1.5 Постановка задач дослідження в дипломній роботі.....	25
2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ.....	27
2.1 Методика визначення параметрів та характеристик СФЕС	27
2.2 Розрахунок потужності виробітку електроенергії сонячної електростанції.....	29
2.3 Автоматизовані системи керування рівнем генерації промислових сонячних електростанцій.....	33
2.4 Техніко-економічне порівняння вибору варіантів обладнання автоматизованої системи керування рівнем генерації.....	37
3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ	40
3.1 Визначення типів та характеристик обладнання і комплектуючих.....	40
3.2 Вибір сонячних батарей для СФЕС.....	41
3.3 Вибір мережевих інверторів.....	42
3.4 Вибір пристроїв автоматичного керування генерацією СФЕС.....	45
3.5 Вибір периферійних вузлів та допоміжних матеріалів СФЕС.....	47
4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ.....	50

4.1 Розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи керування.....	50
4.2 Практична реалізація автоматизованої системи керування генерацією та моніторинг показників генерації.....	56
6 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	61
ВИСНОВКИ.....	73
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
Додаток А Технічне завдання.....	78
Додаток Б Ілюстративні матеріали.....	83
Додаток В Протокол перевірки кваліфікаційної роботи.....	98

ВСТУП

Актуальність теми. У зв'язку зі зменшенням запасів традиційних енергоносіїв, зростає інтерес до сонячної енергії як до потенційного основного джерела енергії в майбутньому [1]. Наразі будівництво сонячних електростанцій ведеться не лише в регіонах з інтенсивною інсоляцією, але й у багатьох країнах світу з різними кліматичними умовами. Підвищення вартості традиційної енергії сприяє активному впровадженню фотоелектричних систем (ФЕС), особливо у віддалених районах, де відсутня централізована електромережа. Це не лише сприяє зниженню негативного впливу на довкілля, а й виявляється економічно доцільним [2].

Попри технічний прогрес, сучасні ФЕС характеризуються відносно низьким коефіцієнтом перетворення сонячної енергії в електричну. У сприятливих погодних умовах на кожен квадратний метр фотоелектричного модуля, орієнтованого під прямим кутом до сонячного проміння, потрапляє близько 1 кВт енергії. Однак лише частина цієї енергії перетворюється на корисну електрику. Через обмеження ефективності кремнієвих фотоелементів, які мають середній ККД близько 20 %, та неповне використання потенціалу фотоелектричних модулів, загальний ККД типових систем становить лише 10–15 %. Тому одним із ключових завдань у сфері розвитку сонячної енергетики є пошук способів підвищення продуктивності ФЕС [3–6].

Існують різні підходи і методи підвищення енергетичної ефективності ФЕС. До найбільш ефективних методів підвищення енергетичної ефективності ФЕС відносяться:

- метод удосконалення конструкції елементів ФЕС;
- метод застосування технології наведення сонячних панелей на сонці (сонячний трекер);
- метод використання режиму екстремального регулювання

потужності (ЕРП), також відомий як технологія MPPT (Maximum Power Point Tracking – відстеження точки максимальної потужності).

Оскільки ефективність фотоелектричного перетворення значною мірою залежить як від зовнішніх умов (інтенсивності освітлення, температурного режиму, кута інсоляції, наявності тіней), так і від внутрішніх характеристик самої системи (наприклад, струму короткого замикання, напруги холостого ходу та ступеня деградації елементів), найвищу ефективність керування потужністю можна досягти лише за умов використання адаптивних алгоритмів.

Актуальність зазначених технічних викликів стимулює проведення досліджень, основна мета яких полягає в створенні високоефективних методів пошуку точки максимальної потужності (ТМП), що дозволяють забезпечити оптимальне використання енергетичного потенціалу ФЕС [13, 14]. Серед сучасних підходів до реалізації таких адаптивних алгоритмів можна виокремити кілька перспективних напрямів: впровадження методів, заснованих на нечіткій логіці [15, 16]; застосування систем, що використовують модель-еталон [14]; а також побудову систем виявлення ТМП на основі нейро-нечіткових мереж.

Сонячний автономний інвертор (АІ) напруги є одним із ключових компонентів сонячних фотоенергетичних установок (СФЕУ). Окрім основної функції — перетворення постійного струму, який генерується фотоелектричними модулями, у змінний, такий інвертор також виконує роль стабілізатора напруги. Від його характеристик значною мірою залежать загальні техніко-експлуатаційні властивості всієї установки. Сучасні моделі АІ, що використовуються у сфері сільського господарства, зазвичай мають обмежений ресурс, невисоку ефективність та помірні енергетичні показники, зокрема коефіцієнт корисної дії. До того ж більшість із них забезпечують лише однофазну напругу промислової частоти [1–2].

Сьогодні існує ряд підходів до визначення конфігурації та технічних

характеристик фотоелектричних енергосистем, які, як правило, публікуються на онлайн-ресурсах виробників. Проте ефективність таких методик не підтверджена об'єктивними дослідженнями, а самі вони часто мають комерційне спрямування — на меті стоїть збільшення масштабів і вартості установки, що дозволяє штучно підвищити її ціну.

У межах цієї роботи сформульовано та вирішується завдання розробки автономної мініелектростанції на основі фотоелектричних модулів і автономного інвертора з акцентом на підвищення її енергетичної ефективності.

Об'єкт дослідження є процеси зміни режимів роботи сонячної фотоелектричної станції.

Предметом дослідження є розробка автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт.

Метою роботи є розробка та оптимізація режимів роботи автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції.

В процесі виконання мети дослідження необхідно вирішити такі **задачі**:

- виконати огляд та аналіз основних характеристик енергетичної ефективності фотоелектричних станцій;
- дослідити структури автономних мініелектростанцій на основі фотоелектричних перетворювачів;
- провести аналіз пропонованих на ринку сучасних конструктивних елементів сонячних електростанцій;
- розробити схему електричну структурну та принципову автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції;

і

ї

оптимізація її експлуатаційно-технічних характеристик та її функціональних можливостей.

- виконати моделювання режимів роботи розробленої сонячної міні електростанції.

Методи дослідження Розробка ґрунтується на використанні положень теорії електричних ланцюгів, основ електромашинобудування та принципів силової перетворювальної техніки. Для оцінки точності як теоретичних розрахунків, так і експериментальних даних застосовано методи статичного аналізу. Моделювання енергетичних систем здійснювалося в середовищі графічного моделювання MATLAB Simulink. Для створення таблиць, побудови діаграм та виконання інженерних розрахунків використовувалися програмні засоби MathCad та Microsoft Excel.

Практична цінність одержаних у роботі результатів:

- результати аналізу особливостей конструкції та режимів роботи сонячних електростанцій;
- розроблена принципова електрична схема побудови системи керування СФЕС та алгоритм її роботи, який покращує експлуатаційно-технічні характеристики сонячної фотоенергетичної установки;

Апробація результатів роботи. Основні положення і результати досліджень доповідались та обговорювались на науково-технічній конференції Матеріали конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН-2025)».

1 АНАЛІЗ ФУНКЦІОНУВАННЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ ТА РЕЖИМІВ ЇХ РОБОТИ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Аналіз застосування фотоелектричних енергетичних установок в системах електропостачання

Сонячні фотоелектричні установки (СФЕУ), також відомі як фотоелектричні установки (ФЕУ) або фотоелектричні системи (ФЕС), являють собою технологічні рішення, призначені для виробництва електроенергії шляхом перетворення сонячного випромінювання. Це досягається за допомогою спеціальних світлочутливих компонентів, які фіксують сонячне світло. Окрім генерації електроенергії, такі системи також забезпечують її зберігання та подальше постачання споживачам [2].

Відомо, що використання ФЕС у сфері енергопостачання демонструє стабільну тенденцію до зростання [4]. Фотоелектричні установки широко використовуються в різних напрямках науки та техніки, зокрема в космічній індустрії, робототехніці, системах енергопостачання як у містах, так і в сільській місцевості, автономних енергосистемах, побутовій електроніці тощо [6].

На сьогоднішній день сонячні електростанції зводять не лише в регіонах із високим рівнем сонячного випромінювання, а майже в усіх частинах світу, незалежно від кліматичних умов. З огляду на постійне зростання цін на традиційні енергоресурси, використання сонячних фотоелектричних установок набуває дедалі більшого поширення в місцевостях, де відсутні постійні електромережі. Такий підхід не тільки сприяє зменшенню шкідливого впливу на довкілля, а й дозволяє суттєво скоротити витрати [11].

Сонячна енергія знаходить застосування у різних сферах діяльності:

- промислові тепло- та електростанції;

- станції постачання теплової та електричної енергії різного роду будівель і приміщень;
- економічно вигідні установки для приватних будинків;
- застосування еластичних сонячних батарей як будівельний матеріал;
- резервні джерела живлення в товарах масового споживання: калькулятори, годинники, ноутбуки, ліхтарі, акумулятори та інше;
- резервні джерела живлення транспортних засобів;
- освітлення у темний час доби дорожніх знаків та іншого за рахунок накопиченої енергії сонця.

У віддалених та децентралізованих регіонах застосування сучасних технологій, що використовують природні відновлювані ресурси, може стати ключовим фактором у вирішенні проблем з енергозабезпеченням. Такий підхід дозволяє значно скоротити витрати бюджету, які раніше спрямовувалися на закупівлю пального для дизельних генераторів, а також підвищує стабільність і надійність електро- та теплопостачання для місцевих мешканців. Серед усіх наявних технологій у сфері відновлюваної енергетики найбільшу практичну цінність для децентралізованих систем живлення мають вітрові електроустановки та сонячні фотоелектричні станції (СФЕС) (рисунок 1.1).

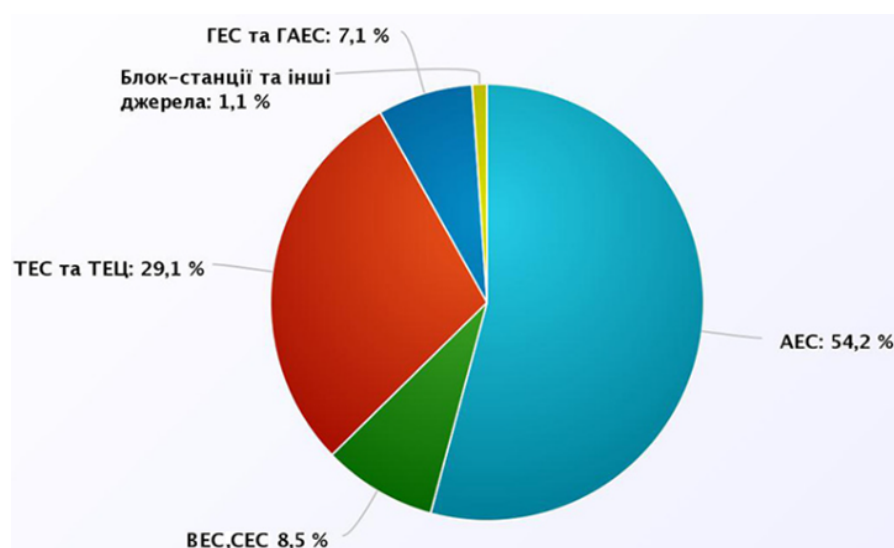


Рисунок 1.1 – Структура виробництва електроенергії в Україні

Серед технологій малої відновлюваної енергетики найбільш універсальними для використання в децентралізованих районах є ті, що забезпечують пряме перетворення сонячного випромінювання та руху повітря в електроенергію. До головних переваг вітроенергетичних установок (ВЕУ) і фотоелектричних систем (ФЕС) належать доступність і широке розповсюдження природних джерел енергії, можливість розміщення енергетичних установок безпосередньо поблизу споживачів, а також широкий спектр потужностей, у якому ці установки серійно виготовляються [6–7].

На сьогоднішній день фотоелектричні перетворювачі (ФЕП) отримують усе ширше застосування в багатьох країнах світу. Понад 90% світового ринку припадає на ФЕП, виготовлені з полікристалічного та монокристалічного кремнію, модулі яких забезпечують коефіцієнт корисної дії (ККД) на рівні 15–17%. У кліматичних умовах середніх широт такі установки здатні генерувати від 120 до 200 кВт·год електроенергії на квадратний метр щороку.

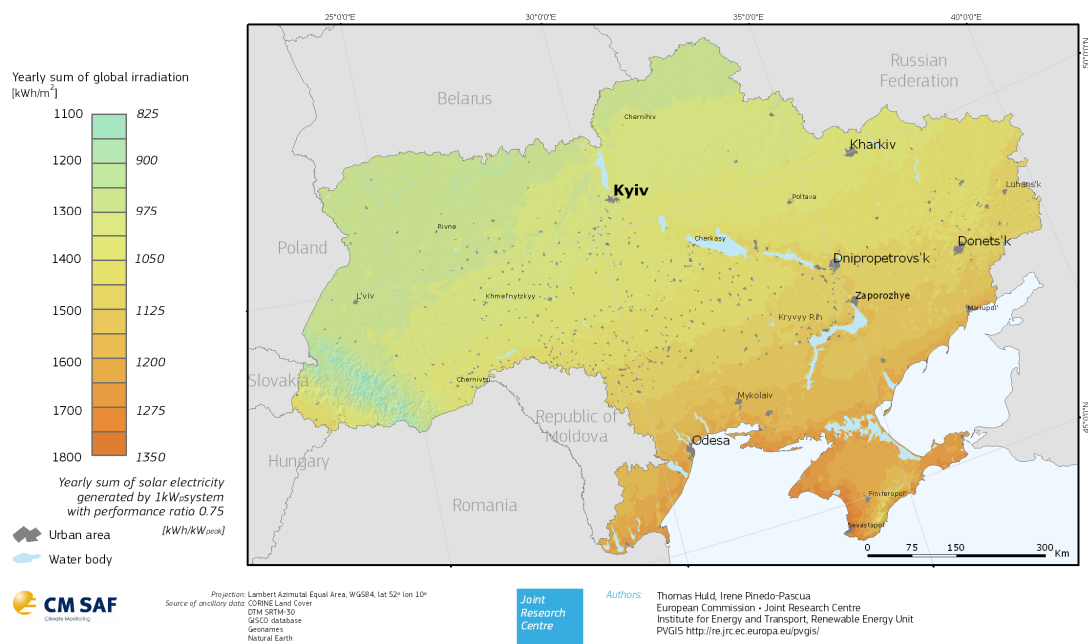


Рисунок 1.2 – Карта сонячної активності України

Сонячні фотоелектричні станції (див. рисунок 1.2) є привабливими для інвесторів завдяки своїй модульній структурі, яка дозволяє уникати значних початкових капіталовкладень. Запуск окремих модулів у роботу дає змогу

одразу розпочати процес повернення інвестицій, що робить можливим поетапне фінансування та планування витрат і прибутку протягом усього періоду будівництва СЕС.

1.2 Будова та принципи роботи сонячних установок

Хоч існує багато способів генерації електроенергії, одним із найперспективніших вважається пряме перетворення сонячного світла за допомогою сонячних батарей (СБ) [2]. Зазвичай будь-яка сонячна електростанція — незалежно від того, чи вона призначена для приватного будинку, чи для промислових об'єктів — має стандартну конструкцію.

У загальному випадку фотоелектричні системи (див. рис. 1.1) складаються з кількох основних компонентів: масиву сонячних модулів (ФМ), які виконують функцію перетворення сонячної енергії в електричну; контролера заряду-розряду, що регулює роботу системи; акумуляторних батарей (АБ) для зберігання електроенергії; та інвертора, який перетворює постійний струм у змінний.

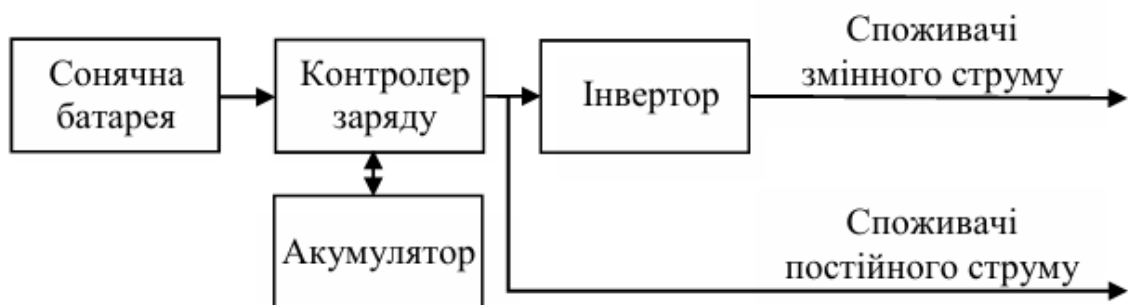


Рисунок 1.3 – Принцип побудови сонячної фотоелектричної установки

Отже, звичайна сонячна система енергопостачання складається з таких елементів: - сонячної батареї (фотоелектричного сонячного модуля); - контролера заряду; - акумуляторів; - балансиру заряду акумуляторів; - інвертора; - лічильника електроенергії.

Ключовим компонентом сонячної електростанції є сонячний модуль, який складається з об'єднаних між собою сонячних елементів — напівпровідникових пристроїв, здатних генерувати електроенергію з сонячного світла. Принцип їхньої роботи ґрунтується на перетворенні сонячного випромінювання в електричний струм. Це відбувається тоді, коли фотони сонячного світла збуджують електрони в кремнієвих осередках, запускаючи процес генерації струму.

Сонячні модулі, виготовлені з монокристалічного кремнію, покриваються захисним шаром, стійким до різких температурних змін, граду та інших несприятливих погодних умов. Їх зазвичай встановлюють на дахах будівель або інших відповідних поверхнях.

Контролер заряду відіграє важливу роль у забезпеченні ефективної роботи системи: він відповідає за оптимальний заряд акумуляторних батарей та розподіл електроенергії між різними джерелами живлення. Саме контролер визначає, з якого джерела — сонячної енергії чи зовнішньої електромережі — повинна працювати система в той чи інший момент. Крім того, він захищає акумулятори від перезаряду або надмірного розряду, що позитивно впливає на їхній термін служби.

Акумуляторні батареї (АКБ) використовуються для накопичення надлишкової електроенергії, яка не була спожита одразу. Збережена енергія може використовуватися у вечірній або нічний час, коли сонячні панелі не працюють. АКБ є джерелами постійного струму багаторазового використання та функціонують завдяки оборотним хімічним процесам, що відбуваються під час циклів заряду і розряду.

До основних характеристик, які визначають ефективність експлуатації акумуляторів, належать: ємність, щільність енергії, рівень саморозряду, стійкість до температурних і кліматичних умов, а також тип батареї. Ємність акумулятора визначається кількістю заряду, яку він може передати

споживачам — від повністю зарядженого стану до мінімально допустимого рівня напруги.

Інвертор змінного/постійного струму (AC/DC) з виходом на 220 В призначений для перетворення постійного струму, що надходить від сонячних панелей або акумуляторних батарей, у змінний струм, який сумісний з більшістю побутових електроприладів. Саме інвертор забезпечує живлення різних електронних пристроїв та систем освітлення.

Балансир — це пристрій, що вирівнює напругу між акумуляторами, з'єднаними в єдиний масив із напругою 12 В. Він підтримує рівномірну напругу серед підключених акумуляторів, незалежно від їх типу — гелевих, свинцево-кислотних або AGM. У процесі експлуатації (під час заряду, розряду або простою) напруга в окремих елементах акумуляторного масиву може відрізнятися. Коли різниця досягає 100 мілівольт, балансир автоматично починає роботу: він обмежує заряд струмом у батареї з вищою напругою та передає його до батареї з нижчою, поки напруга не стане однаковою. Це дозволяє збільшити ефективність системи та подовжити термін експлуатації акумуляторів.

Балансири можна використовувати в масивах з напругою 24 В, 36 В, 48 В і вище, кратною 12 В. Проблема розбалансування заряду часто виникає в системах із кількома послідовно з'єднаними батареями. Вирівнювання заряду є ключовим технічним рішенням, що підвищує безпеку експлуатації, збільшує час автономної роботи й загальну довговічність акумуляторного блоку.

Правильне вирівнювання напруги в акумуляторних батареях є важливим фактором для підвищення безпеки їх використання та продовження строку служби. Сучасні технології балансування дають змогу постійно контролювати стан кожного окремого елемента, що забезпечує стабільнішу роботу системи та підвищує її надійність.

Зокрема, технологія швидкого активного балансування PowerPump дозволяє ефективно вирівнювати напругу між батареями наприкінці циклу

розряду, що суттєво підвищує ефективність використання накопиченої енергії. Завдяки цьому значно збільшується час автономної роботи системи без підзарядки та забезпечується більш повне використання ємності акумуляторного масиву.

Правильне поєднання усіх компонентів фотоелектричної системи відповідно до конкретного завдання має вирішальне значення. Грамотна конфігурація дозволяє не лише підвищити загальну продуктивність системи, а й суттєво зменшити її вартість. У деяких випадках можна обійтися без окремих елементів, таких як контролер, інвертор або акумуляторні батареї. Наприклад, при масштабному виробництві електроенергії — для промислових підприємств або невеликих населених пунктів — вироблена енергія одразу передається до централізованої мережі, і потреба в накопиченні відсутня, тож акумулятори не використовуються. Аналогічно, інвертори можуть бути непотрібними, якщо електрика подається у вигляді, що відповідає параметрам мережі.

Варто зазначити, що більшість автономних систем на основі відновлюваних джерел енергії, представлених на ринку, є завершеними технічними рішеннями, орієнтованими на конкретний тип обладнання. Вони зазвичай не передбачають можливості розширення функціоналу чи збільшення потужності шляхом додавання нових генераторів. Це зумовлено тим, що параметри електроенергії, яку виробляють різні установки ВДЕ, можуть суттєво відрізнятися — зокрема за типом струму, частотою та рівнем напруги.

Запропонована на рисунку 1.4 структурна блок-схема системи слідкуючого електроприводу СФЕС, яка є досить таки простою та має певні переваги від реалізації.

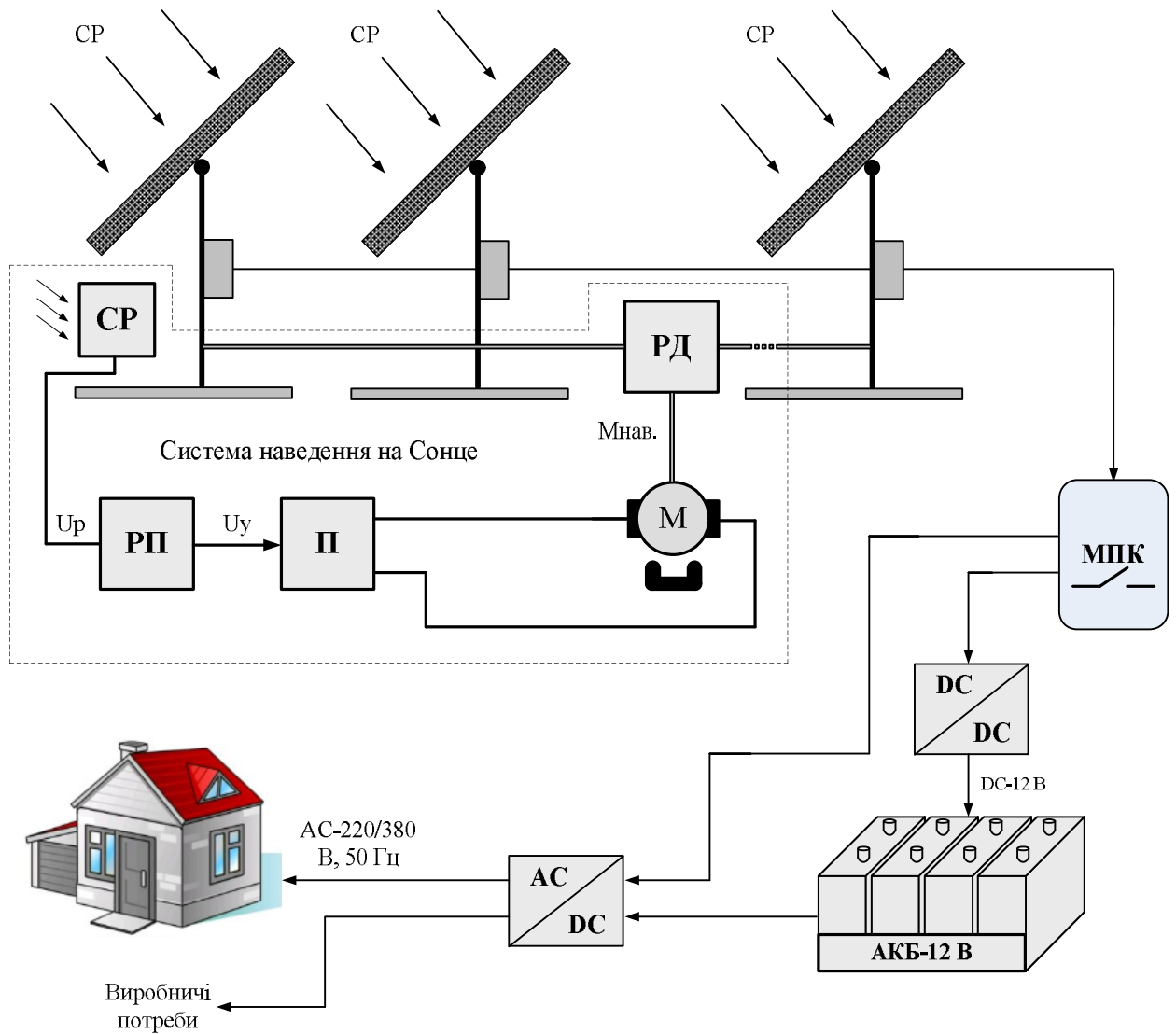


Рисунок 1.4 – Структурна схема системи СФЕС на базі трекера

Сонячна фотоелектрична енергосистема (СФЕС) із сонячною енергетичною підсистемою (СЕР) для гарантованого автономного електропостачання включає такі основні компоненти: фотоелектричні панелі, систему слідкування за сонцем на основі електропривода з двигуном постійного струму з постійними магнітами, комбінований енергонакопичувач та спільний інверторний вихід для підключення навантаження.

Конфігурація такої системи може змінюватися залежно від потреб, із застосуванням силової електроніки — зокрема узгоджувальних DC/DC перетворювачів. Це дозволяє оптимізувати розміри обладнання та кількість

модулів, а також адаптувати систему до необхідного рівня потужності — як для її збільшення, так і для зменшення.

Загалом структура сонячної енергетичної підсистеми (СЕР) є багатоконтурною, де кожен контур являє собою сукупність елементів, об'єднаних за принципом зворотного зв'язку. Найбільш поширеними є системи електроприводів, у яких реалізовано підпорядковане регулювання — зокрема, контури струму та швидкості. Такі рішення активно використовуються і в слідкувальних електроприводах, конструкція яких додатково включає контур регулювання кута повороту.

Відомою є структура фотоелектричної установки (див. рисунки 1.5 та 1.6), у якій поєднано функції екстремального регулювання потужності сонячних панелей та автоматичного наведення їх на Сонце. Представлена на рисунку 1.5 автоматизована сонячна фотоелектрична енергосистема (АСФЕС) включає такі основні компоненти: електромеханічну частину, контролер заряду акумуляторних батарей із вбудованим екстремальним кроковим регулятором потужності сонячних батарей, дві сонячні панелі (СБ), дві акумуляторні батареї (АБ), контролер системи наведення панелей на Сонце, драйвери для управління кроковими двигунами, а також інвертор.

На рисунку прийняті такі позначення: СБ – сонячна батарея; КНС – контролер наведення СБ на Сонце; ДКД1, ДКД2 – драйвери управління кроковими двигунами; М1, М2 – крокові двигуни; Р1-Р4 – редуктори; КЗАБ – контролер заряду акумуляторних батарей; І – інвертор; АБ1, АБ2 – акумуляторні батареї; ДПС 1, ДПС2 – сенсори положення Сонця по азимуту та куту місця; КВ1-КВ4 – кінцеві вимикачі.

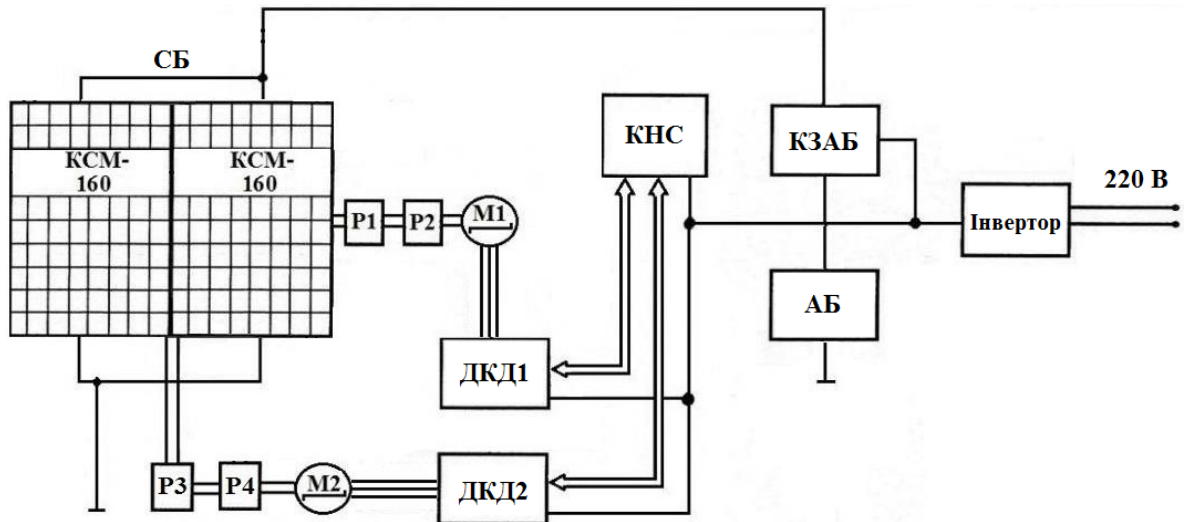


Рисунок 1.5 – Структурна схема АФЕУ з функцією наведення СБ та екстремальним регулюванням їх потужності

Функціональна схема контролера заряду акумуляторних батарей приведена на рисунку 1.6, де прийняті такі позначення: СБ1, СБ2 – фотоелектричні модулі AXIOMA ENERGY 160 Вт; МК – мікроконтролер ATmega 128; АБ1, АБ2 – акумуляторні батареї 12В, 155 А год; СССБ, ССАБ – сенсори струму Lemlv25-р; СНСБ, СНАБ – датчики напруги Lemla25-пр. В запропонованому контролері застосована силова схема на основі понижуючого перетворювача напруги.

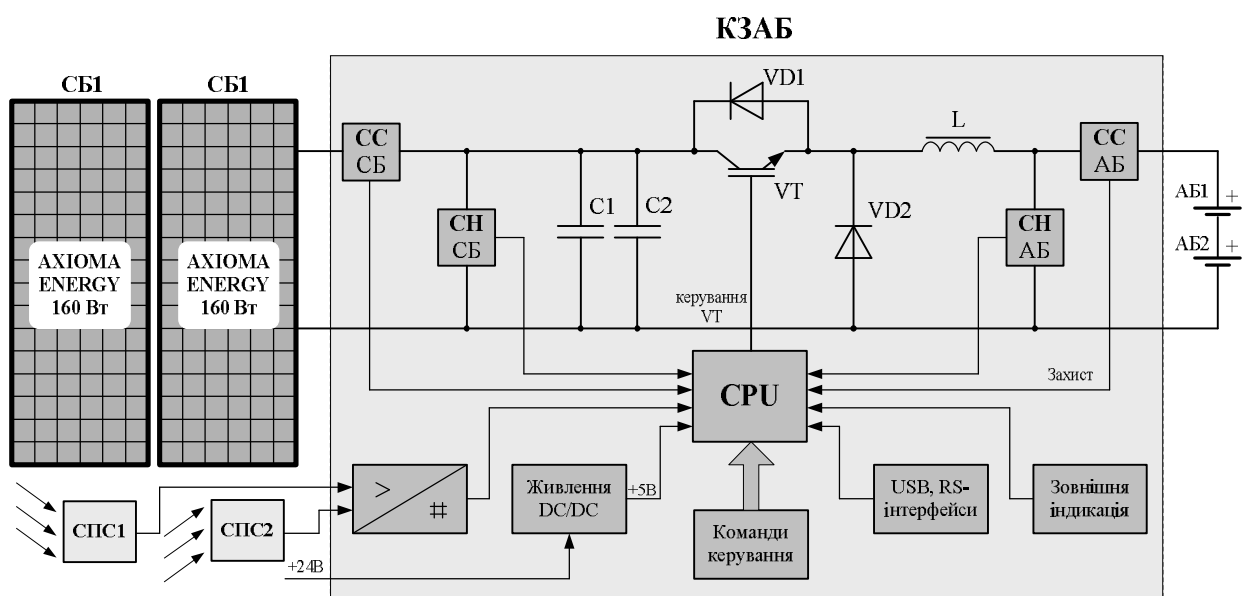


Рисунок 1.6 – Функціональна схема КЗАБ

У схемі контролера передбачено два режими роботи, які перемикаються вручну за допомогою перемикача. Перший режим — стабілізація напруги сонячної батареї (СБ) на заданому рівні, де користувач самостійно встановлює бажану робочу точку на вольт-амперній характеристиці (ВАХ) панелі. Другий режим — режим екстремального керування (ЕКР), у якому контролер автоматично здійснює пошук точки на ВАХ, що забезпечує максимальну вихідну потужність. Регулювання напруги в цьому режимі відбувається за допомогою крокового алгоритму пошуку екстремуму, що реалізується контролером заряду акумуляторних батарей.

Склад і структура автоматизованої фотоелектричної установки (АФЕУ) залежать насамперед від умов експлуатації та вимог кінцевого користувача. Сьогодні існує безліч методів і програм для визначення оптимальної конфігурації, параметрів і характеристик таких систем. Однак переважна більшість цих рішень — це шаблонні методики або автоматизовані онлайн-калькулятори, що розміщені на сайтах виробників і постачальників обладнання. Вони часто не враховують індивідуальні особливості проєкту, а іноді навмисно ускладнюють систему й підвищують її вартість з метою комерційної вигоди.

1.3 Види сонячних електростанцій

Мережева сонячна електростанція — це тип сонячної енергетичної системи, яка не передбачає використання акумуляторних батарей для зберігання електроенергії. Принцип її роботи ґрунтується на безпосередній взаємодії з загальною електромережею. У разі знеструмлення мережі така система автоматично відключається з міркувань безпеки, що є стандартною вимогою. Мережеві СЕС є найпоширенішими і водночас — найбільш економічно ефективними рішеннями.

Надлишок виробленої електроенергії може або продаватися в загальну мережу за «зеленим тарифом», або використовуватися виключно для власних

потреб, якщо встановлено спеціальні обмежувальні пристрої, які унеможливають зворотне постачання електроенергії. Варто зазначити, що для продажу електроенергії в мережу необхідно мати відповідну ліцензію. Схематична структура мережевої СЕС наведена на рисунку 1.7.

Основними перевагами таких станцій є їхня низька вартість, оскільки відсутня потреба в акумуляторних системах, а також економія на оплаті електроенергії завдяки покриттю власного споживання за рахунок сонячної генерації. Додатковим бонусом може стати прибуток від продажу надлишкової електроенергії за «зеленим» тарифом.

До недоліків мережевих СЕС належить повна залежність від наявності напруги в електромережі — у разі аварії або відключення електропостачання система не здатна забезпечити резервне живлення. Крім того, поступове зниження ставок «зеленого тарифу» може негативно вплинути на економічну доцільність таких інвестицій у майбутньому.

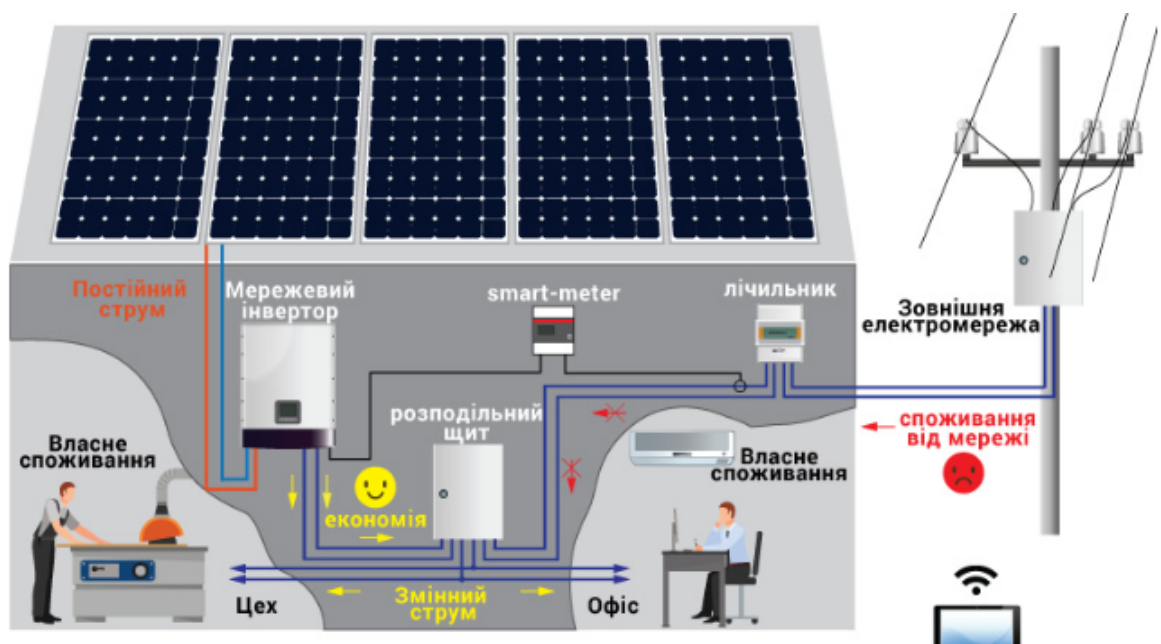


Рисунок 1.7 – Структура мережевої електростанції

Гібридна сонячна електростанція – це тип системи, який працює як у мережевому режимі, так і з акумуляторними сховищами енергії. При відключенні зовнішньої електромережі гібридний інвертор автоматично

відключається від мережі, але продовжує забезпечувати електроенергією будинок або невелике підприємство протягом певного часу, залежно від ємності встановленої системи зберігання енергії на об'єкті. Якщо споживання електроенергії перевищує виробництво сонячних панелей, відбувається підзарядка акумуляторів. Такі системи також можуть інтегруватися з генератором, автоматично керуючи його роботою. Структурну схему компонентів гібридної станції можна побачити на рисунку 1.8.

Головною перевагою цієї системи є її автономність — вона може працювати навіть під час відключення зовнішньої мережі. Крім того, вона ефективно використовує сонячну енергію, накопичуючи її в акумуляторах у періоди низького споживання. Також можлива паралельна робота з генератором, який може автоматично запускатися для забезпечення додаткової потреби у електроенергії.

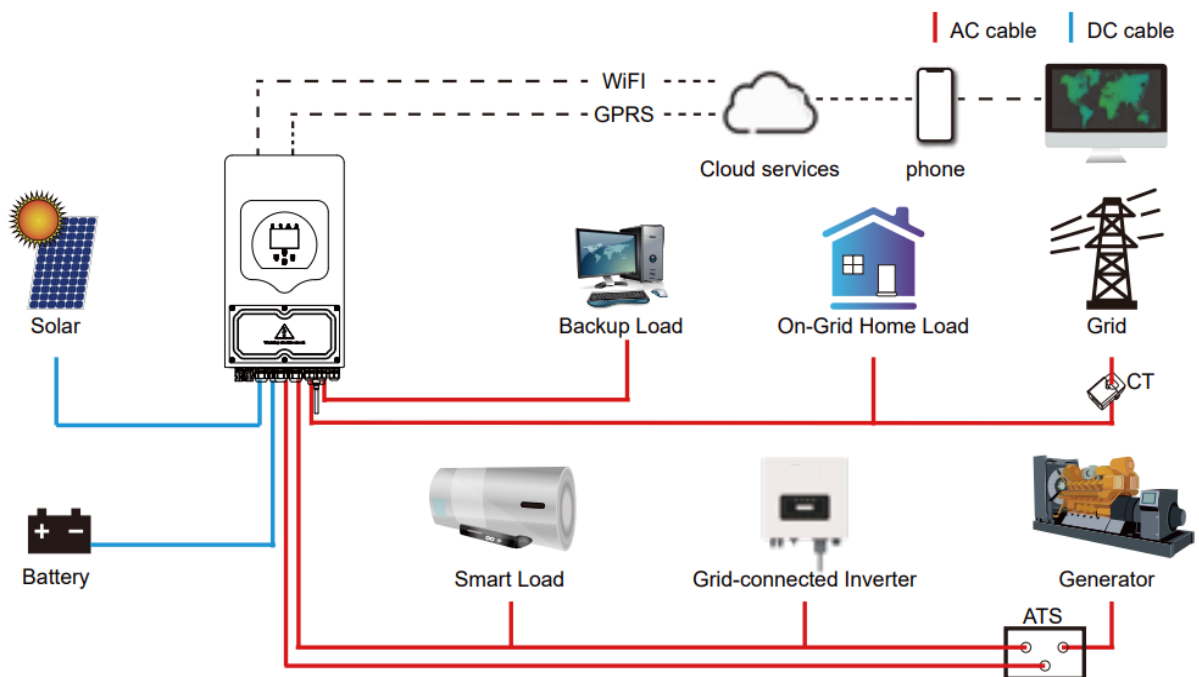


Рисунок 1.8 – Структурна схема компонентів гібридної станції

Основними недоліками цієї системи є її висока вартість, оскільки в порівнянні з мережевою станцією ціна гібридної системи зростає через використання акумуляторів і розширені функції інвертора. Крім того,

керування такою системою є більш складним і вимагає спеціальних знань та навичок для її налаштування і технічного обслуговування. Важливим недоліком також є обмежена ємність накопичувачів енергії, які з часом зношуються і втрачають свою ефективність.

Автономна сонячна електростанція – Це тип системи, який не підключений до традиційних джерел енергії. Така сонячна електростанція функціонує за рахунок сонячної енергії, що отримується від фотоелектричних модулів (ФЕМ), і зберігає її в акумуляторах. Для забезпечення потреб і уникнення дефіциту електроенергії в системі додатково використовується генератор, який служить резервним джерелом енергії у разі збільшеного навантаження. Наприклад, вдень система працює на сонячній енергії, заряджаючи накопичувачі, а вночі живиться від накопиченої за світловий час електроенергії. Структурну схему компонентів автономної станції можна побачити на рисунку 1.9.

Перевагою такої системи є її здатність працювати в умовах ізолюваності від централізованої мережі, а також економія на паливі завдяки використанню сонячної енергії впродовж дня. Крім того, можливе заряджання накопичувачів електроенергії, а застосування генератора лише при надмірному споживанні допомагає оптимізувати витрати. Цей тип станції є ефективним рішенням для домашніх господарств з помірним споживанням електроенергії, оскільки встановлення великих накопичувальних систем значно підвищує загальну вартість установки.

Недоліком цієї системи є її висока вартість та складність через необхідність встановлення великої кількості компонентів для забезпечення її коректної роботи. Крім того, така система не передбачає можливості отримання додаткового доходу, оскільки не підключена до загальної електромережі. Також у разі збільшення споживання електроенергії в домогосподарстві виникає потреба в установці більш ємних накопичувачів для зберігання енергії.

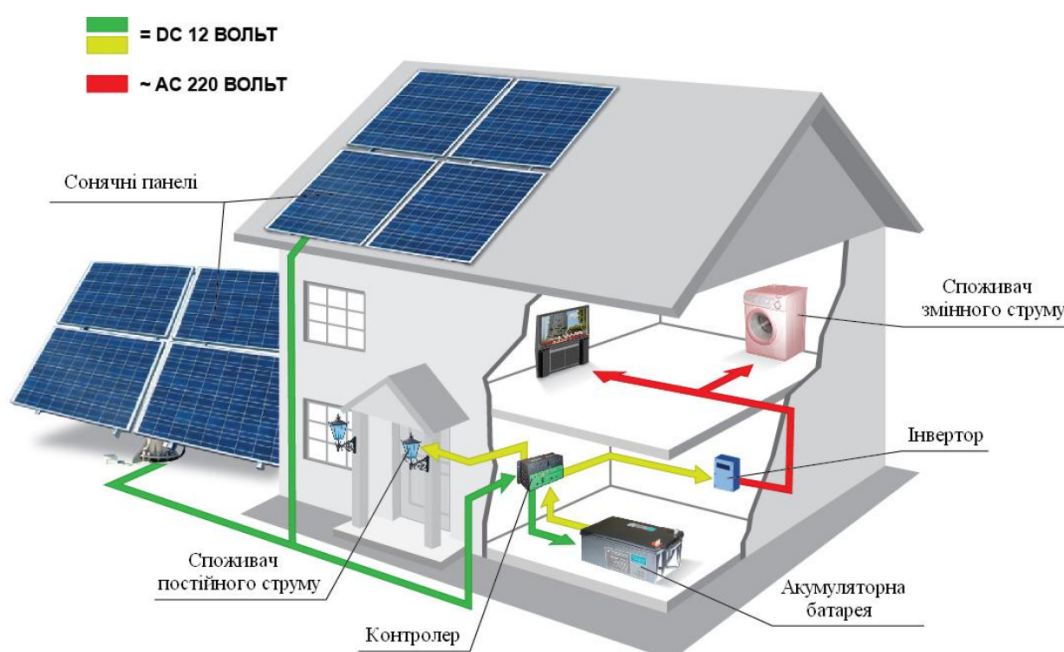


Рисунок 1.9 – Структурна схема компонентів автономної станції.

Структурні схеми представлених вище різновидів фотоелектричних систем наведені на рис. 1.10.

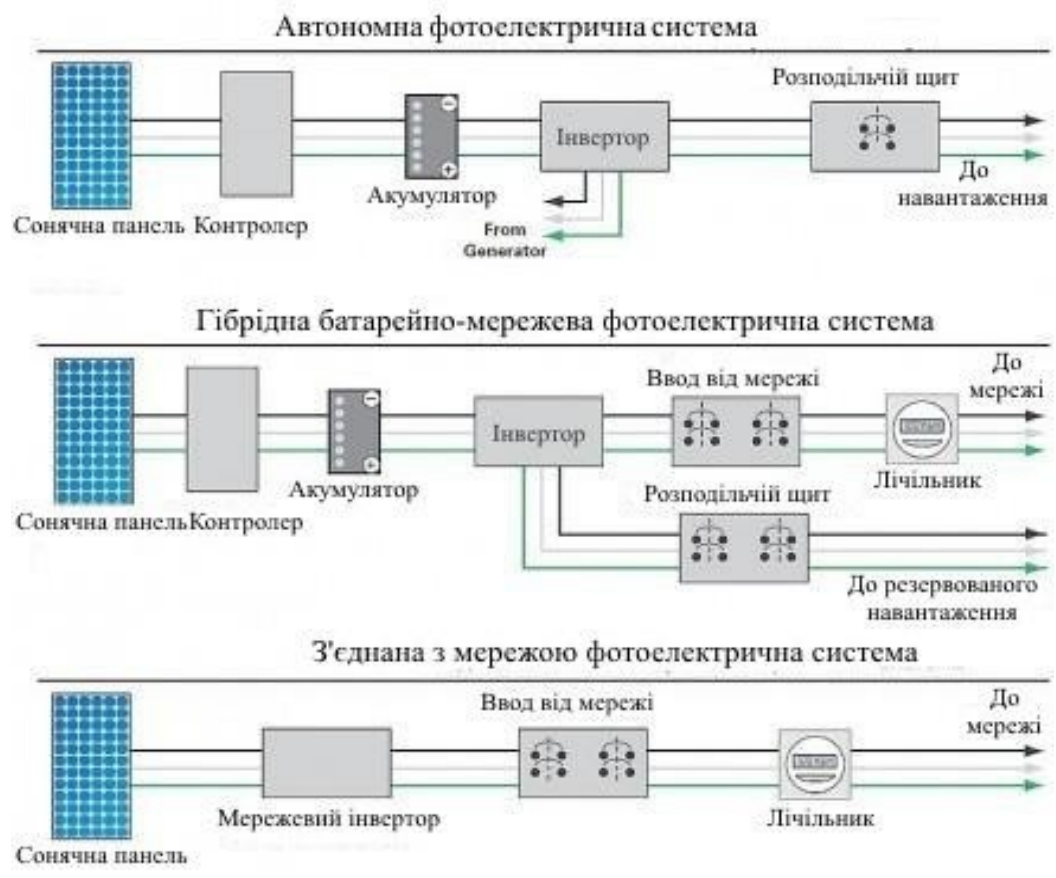


Рисунок 1.10 – Структурні схеми основних типів СФЕС

1.4 Переваги та недоліки використання сонячної енергії

Отже, головні переваги використання сонячної енергії полягають в її екологічній чистоті, надійності та довговічності, безпеці (завдяки наявності автоматичного захисту від коротких замикань, перегріву, перевантажень і розряджання акумуляторів), а також простоті монтажу, демонтажу і стійкості до впливу природних факторів.

Проте є і деякі недоліки. Насамперед, для сонячних електростанцій потрібні великі земельні площі — наприклад, для СЕС потужністю 1 ГВт це можуть бути декілька десятків квадратних кілометрів. Однак ця проблема не є критичною, оскільки, наприклад, гідроенергетика виводить з експлуатації значно більші території. Крім того, фотоелектричні модулі на великих СЕС встановлюють на висоті 1,8–2,5 м, що дає можливість використовувати площі під станціями для сільськогосподарських потреб, наприклад, для випасу худоби. Проблему пошуку великих земельних ділянок можна частково вирішити застосуванням сонячних аеростатних електростанцій, придатних для наземного, морського та висотного базування.

По-друге, сонячні електростанції не працюють вночі і мають знижену ефективність у ранкові та вечірні сутінки, тоді як пік споживання електроенергії припадає саме на вечірній час. Крім того, потужність станції може різко коливатися через зміну погодних умов. Для подолання цих проблем використовують кілька підходів: ефективні акумуляторні системи (які наразі не мають ідеального рішення), гідроакумуючі станції (які займають великі площі), водневу енергетику (поки що економічно неефективну) або сонячні аеростатні електростанції, які можуть працювати незалежно від часу доби. Іншим варіантом є будівництво гібридних електростанцій, де вдень електроенергія виробляється сонячними параболічними концентраторами, а вночі — за допомогою природного газу.

По-третє, сонячні фотоелементи мають високу вартість, хоча з розвитком технологій ця проблема поступово зменшується: у період 1990–2005 рр. ціни знижувалися в середньому на 4 % щороку.

Іншим недоліком є відносно низький коефіцієнт корисної дії (ККД) фотоелементів, який також може покращитися з часом. Крім того, поверхні панелей потребують регулярного очищення від пилу та забруднень, що при масштабах у кілька квадратних кілометрів є суттєвою складністю.

Ефективність фотоелементів знижується при їх нагріванні, тому часто застосовують системи охолодження, зазвичай водяні. З роками експлуатації (приблизно 30 років) ККД також зменшується, що є додатковою проблемою.

Хоча сонячна енергія є екологічно чистою, фотоелементи містять токсичні речовини (свинець, кадмій, галій, миш'як тощо), а в їх виробництві використовуються небезпечні матеріали. Враховуючи обмежений термін служби (30–50 років), постає питання утилізації старих панелей. Через це активно розвиваються тонкоплівкові фотоелементи, які містять лише близько 1 % кремнію, дешевші у виробництві, але поки мають менший ККД.

Отже, сонячне випромінювання є загальнодоступним і невичерпним джерелом енергії. Теоретично сонячна енергетика вирізняється повною безпечністю для навколишнього середовища (якщо не брати до уваги наявність отруйних речовин у фотоелементах).

1.5 Постановка задач дослідження в дипломній роботі

Під час дослідження поставлено такі **задачі**:

- Провести огляд та аналіз основних характеристик автоматизованих систем керування рівнем генерації промислових сонячних електростанцій (СЕС).
- Проаналізувати сучасні конструктивні елементи сонячних електростанцій, представлені на ринку.

- Розробити функціональну та принципову електричну схему сонячної фотогальванічної електростанції (СФЕС) з урахуванням режимів роботи автономних інверторів напруги.
- Здійснити вибір та поєднання сучасної елементної бази для реалізації міні-електростанції потужністю близько 220 кВт.
- Забезпечити можливість постійного моніторингу генерованої потужності СФЕС з використанням сучасних технологій.
- Виконати моделювання режимів роботи розробленої сонячної міні-електростанції.

2 ОБГРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА СТРУКТУРИ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ

2.1 Методика визначення параметрів та характеристик СФЕС

Для розробки системи необхідно визначити та проаналізувати багато можливих варіантів її роботи. Для пошуку таких варіантів застосовується метод повного перебору. Кожен варіант оцінюється за допомогою спеціальної моделюючої програми. Результати моделювання використовуються для коригування параметрів системи, після чого процес розрахунку повторюється з оновленими даними до отримання прийняттого результату.

Існує відома методика розрахунку потужності автономних сонячних електростанцій (АСЕ), яка включає визначення вихідної потужності станції, ємності акумуляторної батареї, потужності зарядного пристрою, потужності головної шини, а також потужності сонячних панелей і автономних інверторів напруги.

Першим кроком у розрахунку є складання списку електроприладів із зазначенням їхньої потужності та робочої напруги. Далі визначається час роботи кожного пристрою, що дозволяє підрахувати добову потребу в електроенергії. На основі цих даних формується таблиця загального енергоспоживання та створюється графік споживання електроенергії протягом доби. Після цього розраховується сумарна потужність навантаження та необхідна вихідна потужність АСЕ за відповідною формулою.

$$P_{oc,i} = P_{H,i} / \eta_I, \quad (2.1)$$

де $P_{H,i}$ – потужність i -го споживача, Вт;

$P_{oc,i}$ – потужність i -го споживача, перерахована на основну шину АСЕ, Вт;

η_I – ККД i -го автономного інвертора напруги.

На другому етапі виконується розрахунок ємності акумуляторної батареї, базуючись на потребах електропостачання навантаження у нічний період доби, за допомогою відповідної формули:

$$C_H = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_H}{U_H} \cdot \Delta t_{H.ч.}, \quad (2.2)$$

де P_H – номінальна потужність навантаження, Вт;

U_H – номінальна напруга навантаження, В;

$\Delta t_{H.ч.}$ – інтервал нічного часу доби (літній час $\Delta t_{H.ч.}=10$ год., зимовий час $\Delta t_{H.ч.}=16$ год.);

S_p – ступінь розрядженості акумуляторної батареї.

Третій етап включає розрахунок потужності зарядного пристрою автономної сонячної електростанції. Спочатку обирається метод заряджання акумуляторної батареї – за сталої сили струму або за сталої напруги. При зарядці зі сталим струмом його значення зазвичай становить від 0,2 до 0,3 від ємності акумулятора. Недоліком цього методу є необхідність постійного контролю і регулювання сили струму. У випадку зарядки зі сталою напругою рівень зарядження батареї визначається фіксованим значенням напруги, при цьому початковий зарядний струм може досягати 40-50 ампер і більше. Тому зарядний пристрій повинен мати схеми обмеження максимального струму для безпечної роботи.

Для прискореного заряду акумуляторних батарей застосовується заряд в два етапи – при постійному струмі, а потім при постійній напрузі. Метод дозволяє значно скоротити час заряду АБ.

Далі слід провести розрахунок потужності і кількості сонячних батарей, необхідних для заряду і електроживлення АСЕ. Основна увага приділяється погодним умовам місцевості, в якій передбачається експлуатація АСЕ.

Враховується кількість сонячної енергії, на яку можна розраховувати, а також середньомісячні значення сонячної радіації при найгірших погодних умовах.

На завершення проводиться вибір інвертора напруги на основі отриманих значень розрахунку потужності навантаження в системі.

2.2 Розрахунок потужності виробітку електроенергії сонячної електростанції

Використання сонячної енергії для живлення електросистем стає все більш поширеним. На перший погляд, такі системи можуть здаватися простими, адже вони складаються з невеликої кількості основних компонентів: акумулятора, фотоелектричних модулів, інвертора та контролера заряду.

Проте для того, щоб усі ці елементи працювали злагоджено як єдина система, потрібно правильно підібрати їх параметри і грамотно виконати підключення.

Основним параметром, що характеризує систему на основі сонячної ФЕС, і в залежності від якого встановлюються інші параметри, є її потужність $P_{\text{СФЕУ}}$, яка визначається за такою формулою:

$$P_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ном.ФЕС}} \cdot f_{\text{ФЕС}} \cdot \left(\frac{G_{\text{Т}}}{G_{\text{Н.У.}}} \right) \cdot [1 + \alpha_p \cdot (T_{\text{С}} - T_{\text{Н.У.}})] \quad (2.3)$$

де $P_{\text{ном.ФЕС}}$ – номінальна потужність ФЕС, Вт;

$f_{\text{ФЕС}}$ – коефіцієнт зниження потужності ФЕС, який враховує втрати електроенергії без використання АБ;

$G_{\text{Т}}$ – сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі, Вт/м²;

$G_{\text{Н.У.}}$ – пікова сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі при нормальних умовах (1000 Вт/м²);

α_p – температурний коефіцієнт потужності, °C⁻¹;

$T_{\text{С}}$ – температура поверхні ФЕС, °C ;

$T_{н.у.}$ – температура при нормальних умовах (25°C).

Показник сонячної радіації, яка надходить на фотоелектричні модулі, визначається таким чином:

$$G_T = (G_B + G_d \cdot A_i) \cdot R_B + G_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right] \cdot \left[1 + f_0 \cdot \sin^3\left(\frac{\beta}{2}\right) \right] + \overline{G} \cdot \rho \left[\frac{1 + \cos\beta}{2} \right], \quad (2.4)$$

де G_B – пряма сонячна радіація, Вт/м²;

G_d – дифузна сонячна радіація, Вт/м²;

R_B – відношення косинуса кута падіння променя на похилій поверхні до косинусу кута падіння на горизонтальній поверхні;

A_i – індекс анізотропії ($A_i = G_b / G_0$).

G_0 – середня сонячна радіація поза атмосфери землі, Вт/м²;

β – нахил поверхні;

f_0 – коефіцієнт ($f_0 = \sqrt{G_b / G}$);

G – сумарна сонячна радіація ($G = G_b + G_d$), Вт/м².

На рисунку 2.1 представлено графік потенційного рівня сонячної радіації, складений на основі даних з інтернет-ресурсу з календарем погоди. Аналіз цього графіка показує, що кількість послідовних днів без сонячного освітлення не перевищує трьох. Подібний графік інсоляції можна отримати для будь-якої обраної місцевості.

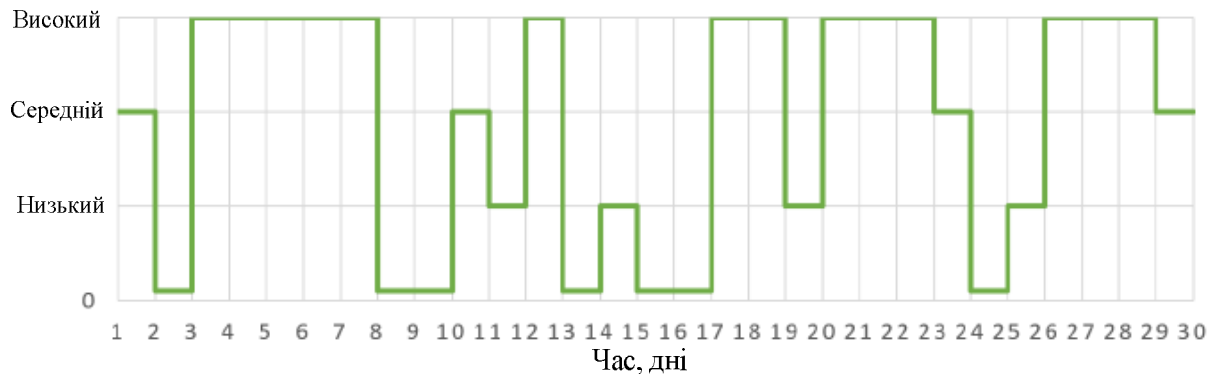


Рисунок 2.1 – Наближений графік рівня інсоляції (освітленості)

Приведемо розрахунок коефіцієнту зниження вироблення електроенергії СФЕС при генерації електроенергії за нормальних умов (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Розрахунок коефіцієнту зниження вироблення електроенергії СФЕС

Параметри	Значення	Діапазон
Фотоелектричний модуль	0,95	0,80-1,05
ККД інвертора	0,92	0,88-0,97
Схемні втрати	0,98	0,97-0,995
Комутаційні коробки	0,995	0,99-0,997
Втрати в кабелях постійного струму	0,98	0,97-0,99
Втрати в кабелях змінного струму	0,99	0,98-0,993
Забруднення поверхні	0,95	0,3-0,995
Придатність системи	0,98	0,00-0,995
Затемнення	1,00	0,00-1,00
Термін старіння	1,00	0,7-1,00
Повний коефіцієнт втрат	0,77	

Виробіток електроенергії від СФЕС виражається таким чином:

$$E_{\text{ФЕС}} = P_{\text{ФЕС}} \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (2.5)$$

де $t_{\text{сон.}}$ – середньодобові сонячні години (год/добу), які визначаються:

$$t_{\text{сон.}} = \frac{\text{кількість годин сонячного світла за рік}}{\text{кількість днів за рік (365 днів / рік)}}. \quad (2.6)$$

При застосуванні акумуляторних батарей у системі потрібно брати до уваги втрати, які виникають у зарядному пристрої та самих батареях. Відповідно, номінальна потужність сонячної фотоелектричної системи (СФЕС) розраховується за формулою:

$$P_{\text{ном.ФЕС}} = \frac{E_{\text{СФЕС}}}{K_{\text{СФЕС}} \cdot t_{\text{пик.осв.}} \cdot (1 + \alpha_p \cdot (T_c - T_{\text{HV}}))} \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (2.7)$$

де $t_{\text{п.к.осв.}}$ – розрахункові середньодобові освітленості в пікових годинах при стандартній сонячній радіації $G_{\text{н.у.}} = 1000 \text{ Вт/м}^2$, визначається виразом:

$$t_{\text{п.к.осв.}} = \left(\frac{G_{\text{т.}}}{G_{\text{н.у.}}} \right) \cdot t_{\text{сон.}}, \quad (2.8)$$

$K_{\text{сфес}}$ – загальний коефіцієнт, який враховує всі втрати при передачі енергії від СФЕС до споживача.

Споживання електричної енергії має бути рівним виробітку електроенергії від СФЕС. Таким чином, номінальна потужність СФЕС визначається таким чином:

$$\begin{cases} P_{\text{ном.ФЕС}} = \frac{H}{K_{\text{сфес}} \cdot t_{\text{п.к.осв.}}}, \\ H = \sum_{i=1}^n P_i \cdot t_i \end{cases} \quad (2.9)$$

де $P_{\text{ном.ФЕС}}$ – номінальна потужність СФЕС (паспортна потужність при стандартних умовах $T=25^\circ\text{C}$, $CP=1000 \text{ Вт/м}^2$), Вт;

H – добове споживання електроенергії споживачем, Вт год/добу;

P_i – номінальна потужність окремої категорії споживання;

t_i – добовий режим експлуатації категорії споживання, год/добу.

При виборі сонячних панелей для енергоживлення необхідно відштовхуватись від низки технічних параметрів цих пристроїв:

- вид експлуатованих фотоелементів;
- вихідна напруга;

Одним із ключових параметрів будь-якої системи електропостачання є її потужність — кількість виробленої електроенергії. У випадку сонячних панелей потужність значною мірою залежить від площі їхньої поверхні.

Більш доцільно використовувати одну велику панель замість кількох малих із сумарною такою ж потужністю. Навіть якщо загальна площа у обох варіантах однакова, велика панель буде більш зносостійкою, оскільки кілька

маленьких панелей потребують з'єднань між собою, що знижує надійність системи.

2.3 Автоматизовані системи керування рівнем генерації промислових сонячних електростанцій

Розглянемо варіанти впровадження систем управління сонячною електростанцією промислового призначення. Такі рішення підходять як для малопотужних, так і для великих промислових станцій, дозволяючи реалізувати різні режими роботи. Схема підключення до системи керування сонячною електростанцією наведена на рисунку 2.2.

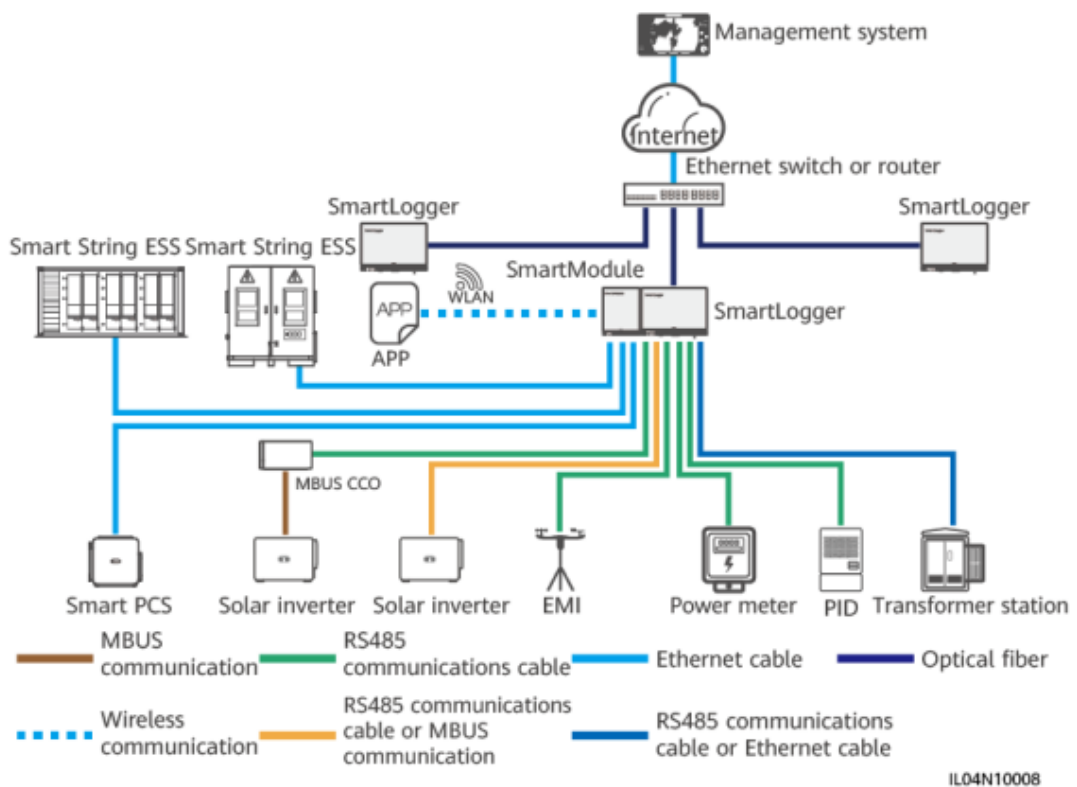


Рисунок 2.2 – Автоматизована система керування рівнем генерації

Підключення до пристрою керування **SmartLogger** здійснюється через інтерфейс **RS485**. Це забезпечує можливість зв'язку з такими пристроями **Huawei**, як інвертори та **PID**-модулі, а також із приладами моніторингу навколишнього середовища, трансформаторними підстанціями та

лічильниками електроенергії, що працюють за протоколом Modbus-RTU. Інтерфейс MBUS дозволяє SmartLogger підключатися до сонячних інверторів Huawei і PID-PVBOX, які підтримують цей протокол [5].

Система керування на базі SmartLogger 3000A підтримує різні режими роботи, зокрема нульовий експорт електроенергії в мережу та можливість передачі надлишків електроенергії до мережі. Окрім цього, система інтегрується з накопичувальними пристроями, що дозволяє ефективно управляти всіма компонентами сонячної електростанції і забезпечувати гнучке функціонування у різних режимах в рамках одного пристрою.

Перевагами цієї системи є її багатофункціональність та широкий спектр можливих сценаріїв застосування для керування сонячною електростанцією. Вона легко інтегрується з інверторами різної потужності, лічильниками та системами накопичення енергії. Система підтримує налаштування режимів роботи як з нульовим експортом електроенергії в мережу, так і з можливістю передачі надлишків енергії. Окрім цього, вона може працювати з метеоданими, виконувати аналіз і прогноз виробництва електроенергії.

Іншим варіантом автоматизованої системи керування є рішення, що забезпечує підключення інверторів будь-якого виробника, організацію паралельної роботи сонячної електростанції та генератора, а також інтеграцію з численними контролерами, системами накопичення та дистанційним керуванням. Приклад такої схеми наведено на рисунку 2.3. Такий підхід дає можливість користувачам вибирати необхідне обладнання або поєднувати вже існуючі пристрої, забезпечуючи більшу гнучкість і зручність у формуванні системи сонячної електростанції.

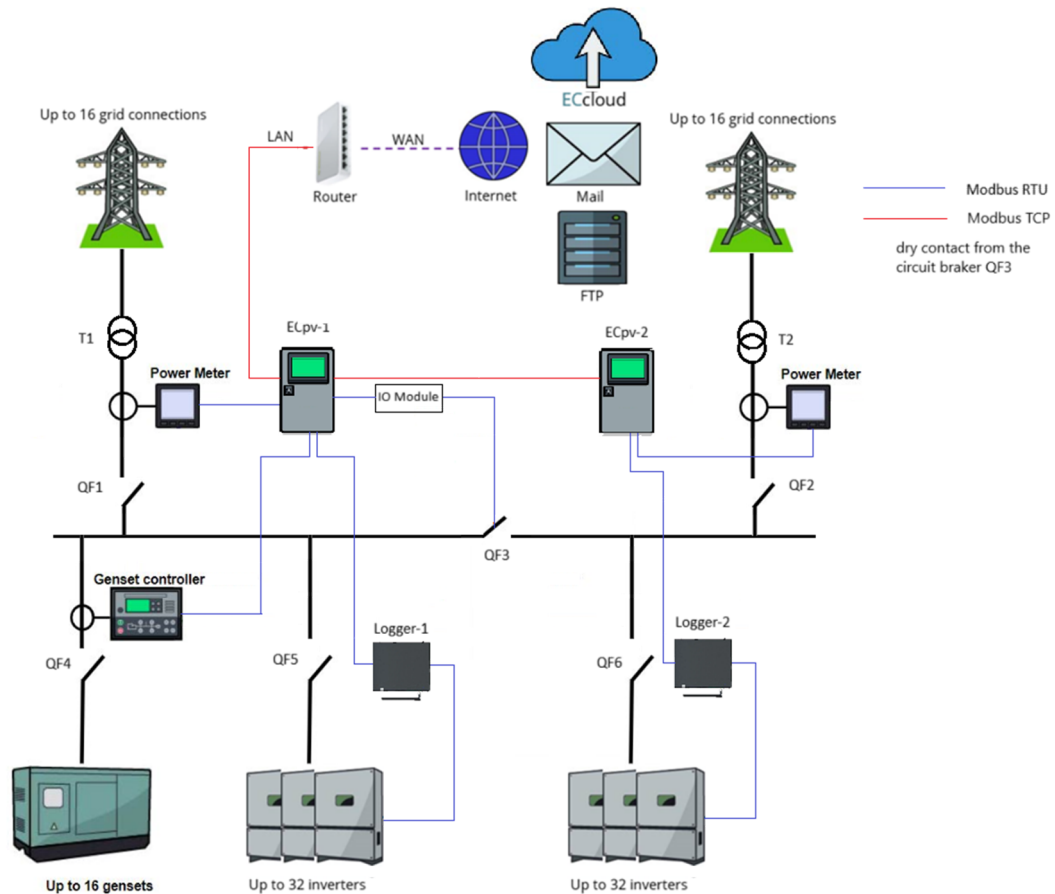


Рисунок 2.3 – Автоматизована система керування рівнем генерації СФЕС промислових об’єктів з додатковими генеруючими установками.

Дана схема реалізована на базі комбінованого контролера, який здатен працювати як з фотоелектричними установками, так і з генераторними, а також може функціонувати без підключення до них. Схема ілюструє роботу сонячної електростанції при наявності двох джерел електроенергії. У нормальному режимі живлення системи забезпечується від джерел Т1 і Т2, при цьому секційний вимикач залишається розімкненим. Якщо ж напруга зникає на одному або обох вводах, секційний вимикач QF3 замикається, і система автоматично переходить на живлення від генератора, який забезпечує електропостачання всіх споживачів секцій шин один і два.

Наступний приклад застосування системи автоматичного керування рівнем генерації сонячної електростанції базується на використанні SCADA-системи. Один із таких варіантів наведено на рисунку 2.4.

SCADA може бути інтегрована в автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУ ТП), системи комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ), системи управління будівлею (BMS) та інші. SCADA-системи широко застосовуються у різних галузях для забезпечення контролю оператора за технологічними процесами в режимі реального часу [16].

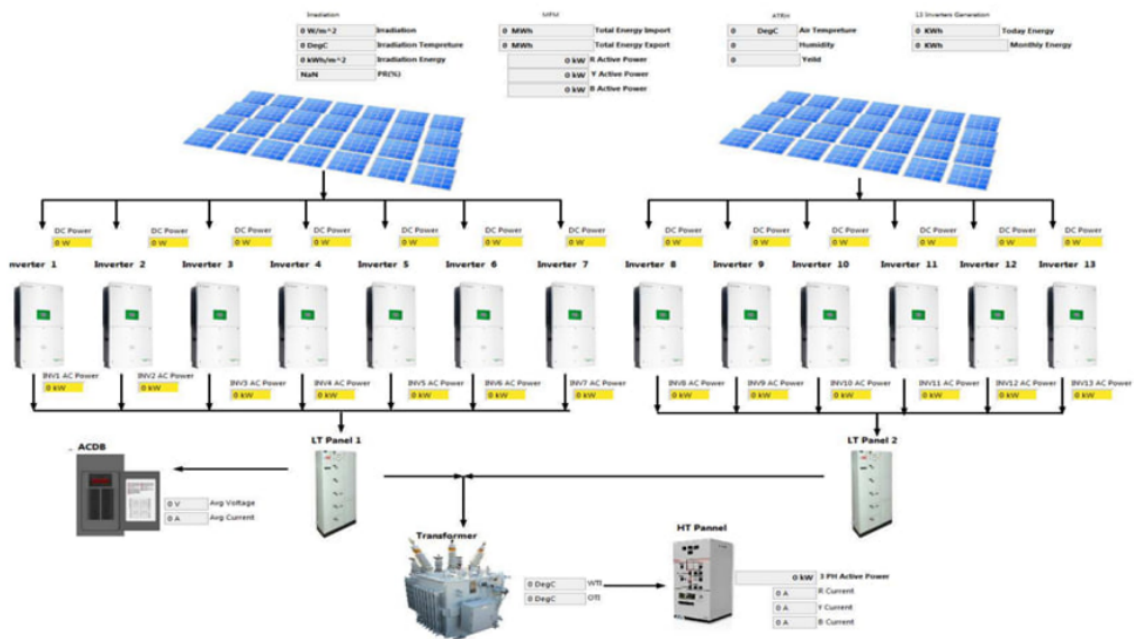


Рисунок 2.4 – Автоматизована система керування рівнем генерації СФЕС на базі системи SCADA

Використання SCADA для керування сонячними електростанціями з нульовим експортом електроенергії надає наступні можливості:

1. Моніторинг та керування в реальному часі.
2. Оптимізація роботи та підвищення ефективності.
3. Безпека та надійність.
4. Звітування та довгострокова аналітика.

Переваги застосування SCADA для керування сонячними електростанціями полягають насамперед у можливості ефективного управління та моніторингу в реальному часі. Це дає змогу операторам оперативно реагувати на будь-які зміни, оптимізуючи роботу станції для максимального виробництва енергії. Крім того, SCADA сприяє підвищенню продуктивності та зниженню витрат, що є важливим для підвищення економічної ефективності проєкту.

Також варто відзначити, що впровадження SCADA значно підвищує безпеку та надійність роботи електростанції, адже система постійно контролює стан обладнання та оперативно реагує на аварійні ситуації.

Важливою перевагою є можливість інтеграції SCADA з іншими системами, зокрема автоматизованими системами управління технологічними процесами (АСУ ТП), системами комерційного обліку електроенергії (АСКУЕ), системами управління будівлями (BMS) та іншими. Це дозволяє створити комплексний підхід до керування, забезпечуючи високий рівень автоматизації та контролю всіх процесів сонячної електростанції.

2.4 Техніко-економічне порівняння вибору варіантів обладнання автоматизованої системи керування рівнем генерації

Для ефективного керування СФЕС важливо обрати відповідне обладнання для виконання керування та контроль генерації СЕС. Розглянемо чотири найбільш поширених варіанти обладнання:

1) Пристрій керування Smart Dongle-WLAN-FE

Пристрій керування Huawei WLAN-FE Dongle with Fast Ethernet призначений для зв'язку між системами керування сонячною електростанцією та інвертором/інверторами. Він дозволяє отримувати та записувати поточні дані роботи інвертора, забезпечуючи безперервний моніторинг параметрів роботи всієї фотоелектричної системи.

2) Пристрій керування Huawei Smart Logger 3000A

SmartLogger 3000A є потужним пристроєм для моніторингу та керування сонячною електростанцією, підтримуючи до 80 інверторів одночасно. Зовнішній вигляд пристрою керування Huawei WLAN-FE показано на рисунку 3.3. Приблизна вартість становить 600-1100 USD. Цей логер здійснює конвертацію портів, перетворення протоколів, збирання та зберігання даних, а також централізовано контролює роботу інверторів як у промислових, так і в домашніх сонячних електростанціях[10].

3) Пристрій керування Encombi ECPV2

Комбінований контролер Encombi ECPV2 другого покоління для децентралізованих фотоелектричних установок з генераторними установками або без них пропонує безліч нових функцій для різних варіантів підключення.

ECpv2 дозволяє скорочувати споживання, коли ціни на енергію негативні, та ефективно використовувати генераторні установки, економлячи паливо в гібридних системах. Пристрій також підтримує вимірювачі потужності навантаження та аналогові датчики для збору даних про погоду або вимірювання палива.

4) Пристрій керування SCADA SolarPV

SCADA SolarPV система є важливою частиною фотоелектричної сонячної електростанції. Добре розроблена SCADA SolarPV система забезпечить робочу стабільність і надійність електростанції протягом її життєвого циклу. Система PV SCADA виконуватиме всі функції збору даних, моніторингу та керування електростанцією. Уся необхідна інформація щодо поведінки процесу, приладу та контролера цілісності, послідовного керування та функції сигналізації має бути негайно доступною на пультах керування. SCADA SolarPV може обробляти великі обсяги даних та підтримує понад 2000 пристроїв, контролерів і моніторів, здатна обробляти 256 000 точок даних.

В таблиці 2.1 приведена порівняльна характеристика згаданих пристроїв.

Таблиця 2.1 – Порівняльні характеристики пристроїв

Параметри	Smart Dongle-WLAN-FE	Encombi ECPV2	Smart Logger 3000A	SCADA SolarPV
Функціональність	Базовий бездротовий моніторинг	Моніторинг та керування, персоналізація	Розширений моніторинг та керування	Комплексна система керування
Підтримка протоколів зв'язку	WLAN	RS485, Modbus, Ethernet	RS485, Ethernet, 4G	Modbus, OPC, DNP3
Підтримка інверторів	До 10	До 100	До 80	Понад 100
Зберігання даних	Обмежене	Розширене	Розширене	Розширене
Віддалений доступ	Так	Так	Так	Так
Інтерфейс користувача	Базовий	Деталізований	Покращений	Персоналізований
Ціна (USD)	50-100	2500	600-800	Від 10000
Переваги	1)Низька вартість. 2)Простота установки. 3)Зручний бездротовий зв'язок.	1)Висока гнучкість. 2)Підтримка різних конфігурацій. 3)Можливість персоналізації 4) Сумісність з різними виробниками інверторів та систем.	1)Висока надійність. 2)Розширені аналітичні можливості. 3)Підтримка великої кількості пристроїв. 4) Розширені функції моніторингу	1)Висока гнучкість у проектуванні. 2)Широка сумісність з різноманітним обладнанням і протоколами. 3)Повний контроль системи керування.
Недоліки	1)Обмежений набір функцій 2)Обмежене керування через віддалений доступ	1) Висока ціна. 2)Потреба в додатковому налаштуванні.	1) Вища ціна порівняно з smart dongle. 2)Складніше налаштування	1)Найвища вартість. 2)Може бути недоступною для проектів з обмеженим бюджетом. 3) Складне налаштування та обслуговування

При виборі системи керування сонячною електростанцією слід враховувати ціну, функції, масштаби проекту, потреби в моніторингу та доступність технічної підтримки.

3 ВИБІР ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ

3.1 Визначення типів та характеристик обладнання і комплектуючих

Деталізація типів обладнання, їх параметрів та характеристик приведена в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Типи та характеристики обладнання АС СФЕС

№ п/п	Елементи електротехнічного комплексу	Кіл-ть
1.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-50KTL-M3, шт	2 шт.
2.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-33KTL-M3, шт	3 шт.
3.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-20KTL-M3, шт	1 шт.
4.	Сонячний фотоелектричний модуль SOLAR MODULE 415TSM-DE09R.05, шт	3 шт.
5.	Сонячний фотоелектричний модуль SOLAR MODULE RSM110-8-540m, шт	162 шт.
6.	Фотоелектричний модуль Longi LR7-72HGD-600M, шт	36 шт.
7.	Трансформатор струму ТА327 32,5x10,5 (d=27мм.) 400/5А (кл.0,5=10ВА), шт	4 шт.
8.	Трансформатор струму ТА327 32,5x10,5 (d=27мм.) 400/5А (кл.0,5S=8ВА), шт	4 шт.
9.	Автоматичний вимикач e.industrial.ukm.100SL.100, 3р, 100А, шт	1 шт.
10.	Автоматичний вимикач e.mcb.PRO.60.3.K 80, шт	1 шт.
11.	Шафа удароміцна з АБС-пластика e.plbox.300.400.195.blank, 300x400x195мм, IP65, шт	3 шт.
12.	Захисний щит по змінному і постійному струму	3 шт.
13.	Серверна шафа (+ 5 стаціонарних полиць)	1 шт.
14.	Обмежувач перенапруги ETITEC C T2 275/20 (4+0), 20kA, клас II, 4р, шт	1 шт.
15.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 black, м	1000
16.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 red, м	500
17.	Кабель FTP 4x2x0,51AWG24, FINMARK, м	305
18.	Кабель КППЭ-ВП (100) 4*2*0,51 (F/UTP-cat.5E), 305м. Зовнішній, м	125
19.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 black, м	500
20.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 red, м	500

Продовження таблиці 3.1 – Типи та характеристики обладнання

21.	Перемикач навантаження моторизований ECS 4x630 А, 4Р, 220 V AC, шт	1
22.	ПВЗнгд 0,75, м	30
23.	ПВЗнгд 2,5, м	40
24.	ПВЗнгд 16,0 ж/з, м	96
25.	ПВЗнгд 50,0, м	10
26.	ПВЗнгд 70,0, м	25
27.	Мультиметр LED 96x96 Кл.1.0, Вх.../5А, 10-300 V, шт	1
28.	МС-4 конектор, PV-KST4/6X-UR 5.5-7.4мм, шт	25
29.	EB2 400/3LF 400А Промисл. автоматичн. вимикач, шт	1

3.2 Вибір сонячних батарей для СФЕС

Відповідно до проведених розрахунків було вибрано монокристалічні фотоелектричні модулі Tier 1 виробника Jinko Solar JKM570N-72HL4 потужністю 570 Вт. Їх характеристики наведені в таблиці 3.1.

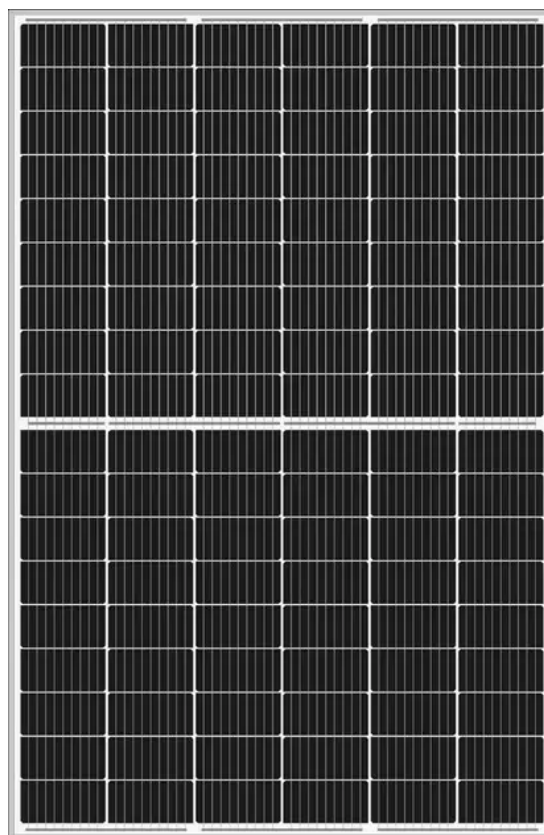


Рисунок 3.1 – Монокристалічна сонячна панель Jinko Solar JKM570N-72HL4

Таблиця 3.1 – Основні параметри фотоелектричних модулів типу JKM570N-72HL4 (компанії Jinko Solar).

Механічні характеристики		
Кількість комірок	144 (6×24)	
Розмір	2278×1134×35mm	
Вага	27 kg	
Переднє скло	3,2 мм, антиблікове покриття, Висока пропускну здатність, низький вміст заліза, загартоване скло	
Рамка	Анодований алюмінієвий сплав	
Розподільча коробка	Оцінка IP68	
Вихідні кабелі	TUV 1×4,0 мм2 (+): 400 мм, (-): 200 мм або індивідуальна довжина	
Електричні характеристики		
Параметри	STC*	NOCT**
Максимальна потужність (Pmax)	575 Вт	432 Вт
Максимальна напруга (Vmp)	42.22 В	39.60 В
Максимальний струм (Imp)	13.62 А	10.92А
Напруга холостого ходу (Voc)	50.88 В	48.33 В
Струм короткого замикання (Isc)	14.39 А	11.62 А
ККД модуля STC (%)	22.26 %	
Робоча температура	-40°C~+85°C	
Температурний коефіцієнт Voc	-0.25%/°C	
Температурний коефіцієнт Isc	0.045%/°C	
Номінальна робоча температура елемента	45±2°C	

3.3 Вибір мережевих інверторів

Відповідно до попередніх розрахунків у програмі PVsyst було обрано інвертори Huawei моделей SUN2000-50KTL-M2, SUN2000-30KTL-M2 та SUN2000-20KTL-M2. Ці потужні і надійні пристрої спеціально створені для великих сонячних електростанцій. Завдяки високим технічним характеристикам і продуманій конструкції, вони забезпечують ефективну роботу системи та максимальне використання сонячної енергії.

Інвертори Huawei SUN2000-100KTL-M2 відзначаються низькими втратами при перетворенні постійного струму (DC) у змінний (AC), що підвищує загальну ефективність системи. Вбудовані захисні механізми гарантують безпечну і надійну експлуатацію у різних умовах. Зовнішній вигляд інвертора показаний на рисунку 3.2.



Рисунок 3.2 – Зовнішній вигляд інвертора Huawei SUN2000-50KTL-M2.

Ефективність: високий ККД інвертора забезпечує мінімальні втрати при перетворенні постійного струму (DC) у змінний (AC). Для сучасних інверторів оптимальний ККД становить від 95% до 99%.

Сумісність із панелями: інвертор має відповідати типу та моделі сонячних панелей, зокрема за напругою і струмом, які вони виробляють, щоб забезпечити правильну роботу системи.

Для початку проведемо розрахунок максимального струму, який може бути підключений до одного ММРТ, розрахуємо його за формулою 3.1:

$$I_{sc(Tr)} = I_{sc} \left(1 + (Tr - 25) \frac{\alpha_T}{100} \right), \quad (3.1)$$

де $I_s(Tr)$ - значення струму при температурі 85 ° C;

I_{sc} - значення струму в умовах STC, вказане в характеристиці модуля(14,39)

Tr - мінімальна робоча температура (85 ° C);

α_T - температурний коефіцієнт модуля (-0,045% / K).

Отже:

$$I_{sc(Tr)} = 14,39 \cdot \left(1 + (85-25) \cdot \frac{0,045}{100} \right) = 14,77 \text{ (A)}.$$

З розрахунку видно, що для інвертора Huawei SUN2000-50KTL-M3 потужністю 50 кВт на один вхід трекера не рекомендується встановлювати більш 2-х паралельно з'єднаних фотоелектричних панелей. Оскільки при паралельному підключенні струми сумуються.

Значення максимальної напруги розраховую за формулою 3.2

$$U_{oc(Tr)} = U_{oc} \left(1 + (Tr-25) \frac{\beta_T}{100} \right), \quad (3.2)$$

де $U_{oc} (Tr)$ - значення напруги при температурі - 25 ° C;

U_{oc} - напруга холостого ходу (42,22 В);

Tr - мінімальна робоча температура (25°C);

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

Отже:

$$U_{oc(Tr)} = 42,22 \cdot \left(1 + (-25-25) \cdot \left(\frac{-0,29}{100} \right) \right) = 48,34 \text{ (В)}.$$

Грунтуючись на цьому значенні, ми підрахуємо кількість модулів в стрінгах, з'єднані послідовно визначаємо за формулою 3.3:

$$N_{max} \leq \frac{U_{DCmax}}{U_{OC(Tr)}}, \quad (3.3)$$

де U_{DCmax} - максимально допустиме значення напруги на вході інвертора.

Отже:

$$N_{max} \leq \frac{1000}{48,34} = 20,68 \text{ (шт)}.$$

3.4 Вибір пристроїв автоматичного керування генерацією СФЕС

Система передбачає керування генерацією сонячної фотоелектричної станції, для чого обираємо реєстратор даних Smart Logger 3000a без PLC. Через великі розміри станції необхідний промисловий пристрій для моніторингу та контролю інверторів. Smart Logger 3000a має достатню кількість входів для підключення інверторів у кілька груп, забезпечує точний збір даних про виробництво і споживання електроенергії, а також підтримує різні функції моніторингу та діагностики, що робить його оптимальним рішенням для великих сонячних електростанцій.

Окрім того, цей контролер здатен ефективно обмежувати експорт електроенергії та керувати підключенням до мережі через два незалежні вводи, забезпечуючи стабільну і безперебійну роботу сонячної електростанції в різних умовах експлуатації. Зовнішній вигляд пристрою керування наведено на рисунку 3.3.



Рисунок 3.3 – Зовнішній вигляд системи керування controller EnCombi ECcube2 L.

Налаштування контролеру мають можливість різноманітного налаштування та зчитування інформації. Технічні дані про даний контролер продемонстровано в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Основні параметри контролера EnCombi ECcube2 L.

Номінальна напруга, U	115 / 230VAC Phase - Neutral
Номінальна частота, fn	50 / 60Hz
Номінальний струм, In	1 A
Заземлення системи	TN or TT
Розмір, НхВхД	400x400x210mm
Вага	11 kg
Ступінь вологозахисту	IP66 (IP65 with ECpanel7)
Комутаційні порти	2 x RS485 4 x Ethernet RJ45

Для системи керування сонячною електростанцією з функцією нульового експорту електроенергії також необхідно отримувати дані про підключення до різних джерел живлення та стан мережі у визначених точках. Для цього було обрано аналізатор параметрів Smart Meter Pilot SPM33 та лічильник електроенергії ACE6000.

Smart Meter Pilot SPM33 — це високоточний прилад для моніторингу якості електропостачання та вимірювання основних параметрів електричної мережі. Зовнішній вигляд цього аналізатора наведено на рисунку 3.4.



Рисунок 3.4 – Зовнішній вигляд аналізатора Smart meter Pilot SPM33

Прилад Smart Meter Pilot SPM33 призначений для застосування як у промислових, так і в побутових умовах. Він вимірює такі параметри, як

напруга, струм, частота, активна та реактивна потужність, а також споживана енергія. Крім того, SPM33 здатен виявляти аномалії в електромережі — перевантаження, стрибки напруги, гармоніки та інші несправності, що допомагає швидко виявляти й усувати проблеми з електропостачанням.

Кабель FTP CAT5e 4P 24AWG PE-M B — це зовнішній кабель типу «вита пара» з додатковим тросом для захисту. Він призначений для передачі даних у мережах зв'язку, зменшуючи електромагнітні завади і забезпечуючи стабільну якість сигналу.

3.5 Вибір периферійних вузлів та допоміжних матеріалів СФЕС

До інших вище згаданих важливих елементів побудови міні електростанції приватного будинку слід віднести:

- Сонячний кабель KBE DB+ чорний, 6 mm², 100 м (рисунок 3.5)
- Комплект з'єднувальних кабелів Dyness (рисунок 3.6). Комплект призначений для з'єднання силового зв'язку між акумуляторами Dyness B4850 та інвертором.
- Кабельний з'єднувач Multi-Contact MC4 (пара) (рисунок 3.7)
- Комплект Оцінюваного Кріплення 24 P_v Модуля Для Металочерепиці 2021 Stringsetter Zinc Xl M24 (рисунок 3.8).
- Захисний щит по змінному і постійному струму (Щит захисту AC/DC, рисунок 3.9).
- Серверна шафа (+ 5 стаціонарних полиць) (рисунок 3.10).



Риунок 3.5 – Сонячний кабель КВЕ DB+ чорний, 6 mm²



Риунок 3.6 – Комплект з'єднувальних кабелів Dyness



Риунок 3.7 – Кабельний з'єднувач Multi-Contact MC4



Риунок 3.8 –Кріплення 24 P_v модуля Stringsetter Zinc X1 M24



Риунок 3.9 – Щит захисту АС/DC



Риунок 3.10 – Серверна шафа

4. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ

4.1 Розробка схеми електричної принципової автоматизованої системи керування

Розглядається проектування підключення сонячної електростанції (СЕС) до існуючої електромережі та розробка системи керування для оптимізації роботи. Необхідно розробити такі рішення:

- Планування розміщення фотоелектричних модулів (ФЕМ) на дахах виробничих будівель з метою максимізації сонячного освітлення та мінімізації затінення для підвищення ефективності їх роботи.

- Визначення оптимальних місць для монтажу стрінг-інверторів з метою мінімізації довжини кабельних з'єднань і забезпечення надійного підключення, що підвищує ефективність перетворення постійного струму від ФЕМ у змінний.

- Планування кабельних трас між ключовими елементами системи генерації електроенергії для забезпечення надійного зв'язку, дотримання вимог ізоляції та зниження енергетичних втрат.

- Впровадження системи керування сонячною електростанцією для безперервного моніторингу її роботи з підтримкою режиму нульового експорту електроенергії, оперативного виявлення несправностей та оцінки ефективності роботи станції.

Даним проектом передбачена розробка рішень щодо створення об'єкту будівництва – сонячної електростанції (СЕС) потужністю панелей 220 кВт. Розробка електричної частини проекту базується на підставі технічного завдання роботи.

Робота сонячної електростанції планується з урахуванням покриття власного споживання електроенергії без виведення надлишків у мережу (режим нульового експорту). Також важливо забезпечити координацію роботи СЕС із генератором на випадок відключення основної мережі, що

гарантуватиме безперебійне електропостачання споживачів під час перебоїв у мережі.

Розроблено схему генерації та збору електроенергії на основі обладнання сонячної електростанції, а також схему її підключення до існуючої мережі. Ця схема є основою для створення системи керування СЕС з режимом нульового експорту електроенергії, що дозволяє чітко визначити взаємозв'язки, способи управління та контролю роботи станції.

Електрична схема підключення системи керування СФЕС та системи керування з точкою нульового експорту представлена в додатку Б та на рисунку 4.1 даного розділу.

На схемі показано інтеграцію сонячної електростанції (СЕС) та системи управління генерацією у вже існуючу мережу підприємства. Підключення СЕС здійснюється до двох підстанцій з напругою 10/0,4 кВ. Фотомодулі, об'єднані в стрінги, з'єднуються з інверторами за допомогою кабелів постійного струму, а їх конфігурацію можна обирати за допомогою програмного забезпечення PVsyst або шляхом відповідних розрахунків. Після перетворення інвертором постійного струму у змінний, електроенергія подається на підстанції через шафи збору потужності, які з'єднані з секціями шин споживачів.

Шафи збору потужності оснащені захисними пристроями, що забезпечують захист інверторів від перенавантажень, коротких замикань та перенапруг. Крім того, встановлено обладнання для обліку виробленої СЕС електроенергії, що дає змогу контролювати показники генерації.

Управління виробництвом електроенергії та регулювання генерації в разі перевищення потужності СЕС здійснюється за допомогою пристроїв Smart Logger 3000 A і EScube2L. Взаємодія цих пристроїв гарантує надійну роботу сонячної електростанції та ефективне управління її режимами.

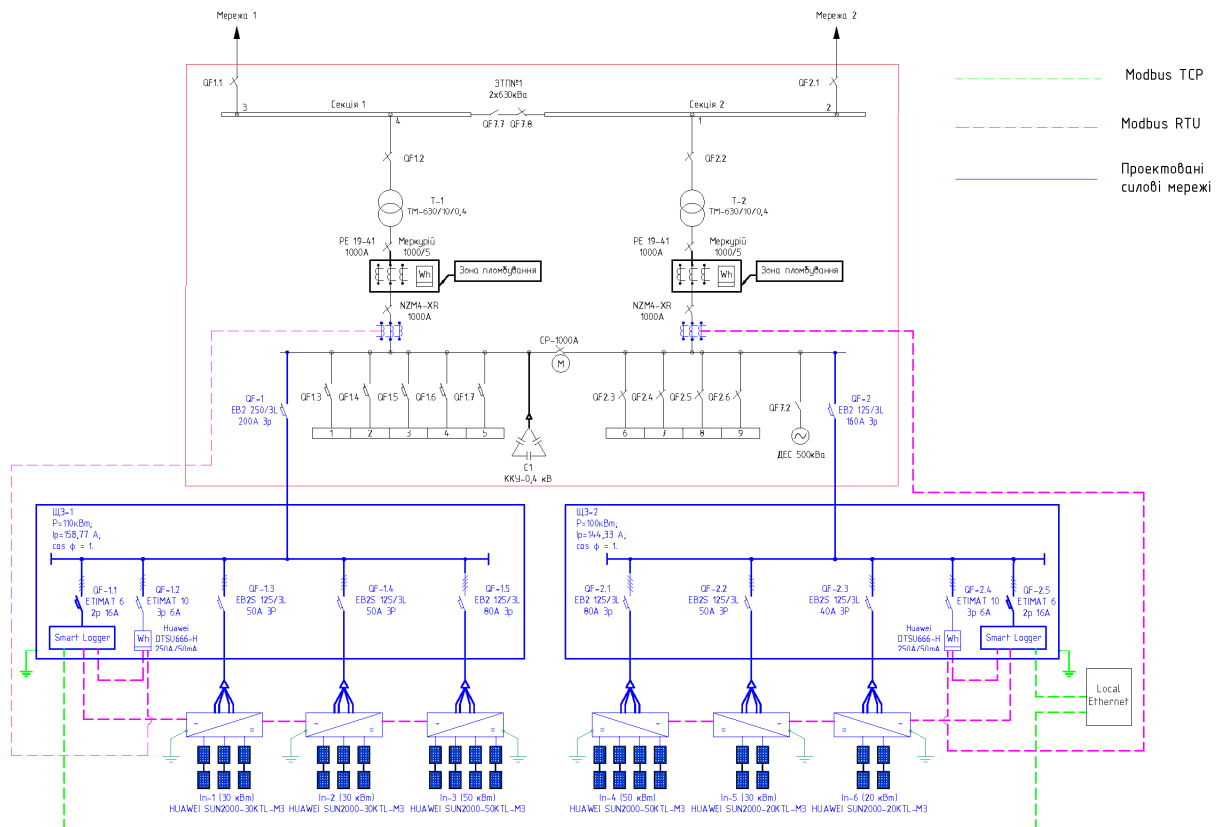


Рисунок 4.1 – Схема електрична принципова автоматичної системи керування генерацією СФЕС

Для організації управління СЕС інвертори з'єднані між собою за допомогою інформаційних кабелів типу "витої пари" та підключені до реєстраторів даних Smart Logger 3000A, які, у свою чергу, зв'язані з пристроями ECcube2L-1 і ECcube2L-2. До цих контролерів також під'єднані мережеві аналізатори SL7000 і Pilot SPM33 через "виту пару". Таке обладнання дозволяє системі управління відслідковувати стан електромережі та поточне споживання електроенергії на підприємстві, що забезпечує точне і своєчасне регулювання генерації енергії та підтримання оптимальних умов роботи СЕС.

Оскільки встановлені інвертори є мережевими, для їх роботи необхідна наявність опорної напруги. При відсутності зовнішнього живлення відбувається замикання секційних вимикачів на секціях ЗТП РУ-0,4 кВ, після чого запускаються дизельні генератори. У такій ситуації важливо забезпечити

синхронізацію роботи СЕС та генераторів, щоб запобігти можливим пошкодженням як генератора, так і складових сонячної електростанції.

Пристрій Smart Logger має можливість одночасного підключення до систем управління різних виробників, включаючи Huawei та сторонні, використовуючи протоколи Modbus-TCP та IEC104.

Зовнішній вигляд пристрою Smart Logger, який ще називають розумним сенсором потужності, приведений на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд Smart Logger

Спосіб підключення пристрою в схему електричну принципову сонячної електростанції приведений на рисунку 4.3.

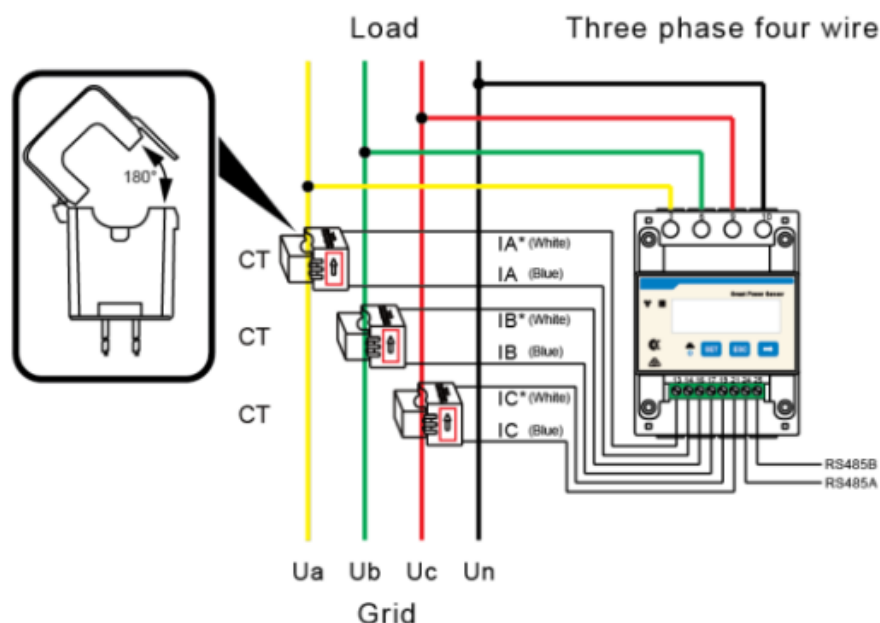


Рисунок 4.3 – Підключення Smart Logger в систему СФЕС

Система керування здатна реалізовувати іншу функцію контролера – управління інвертором та включенням-виключенням режиму заряду АБ в разі їх використання, для цього в алгоритмі присутній постійний контроль напруги на АБ (рисунок 4.4).

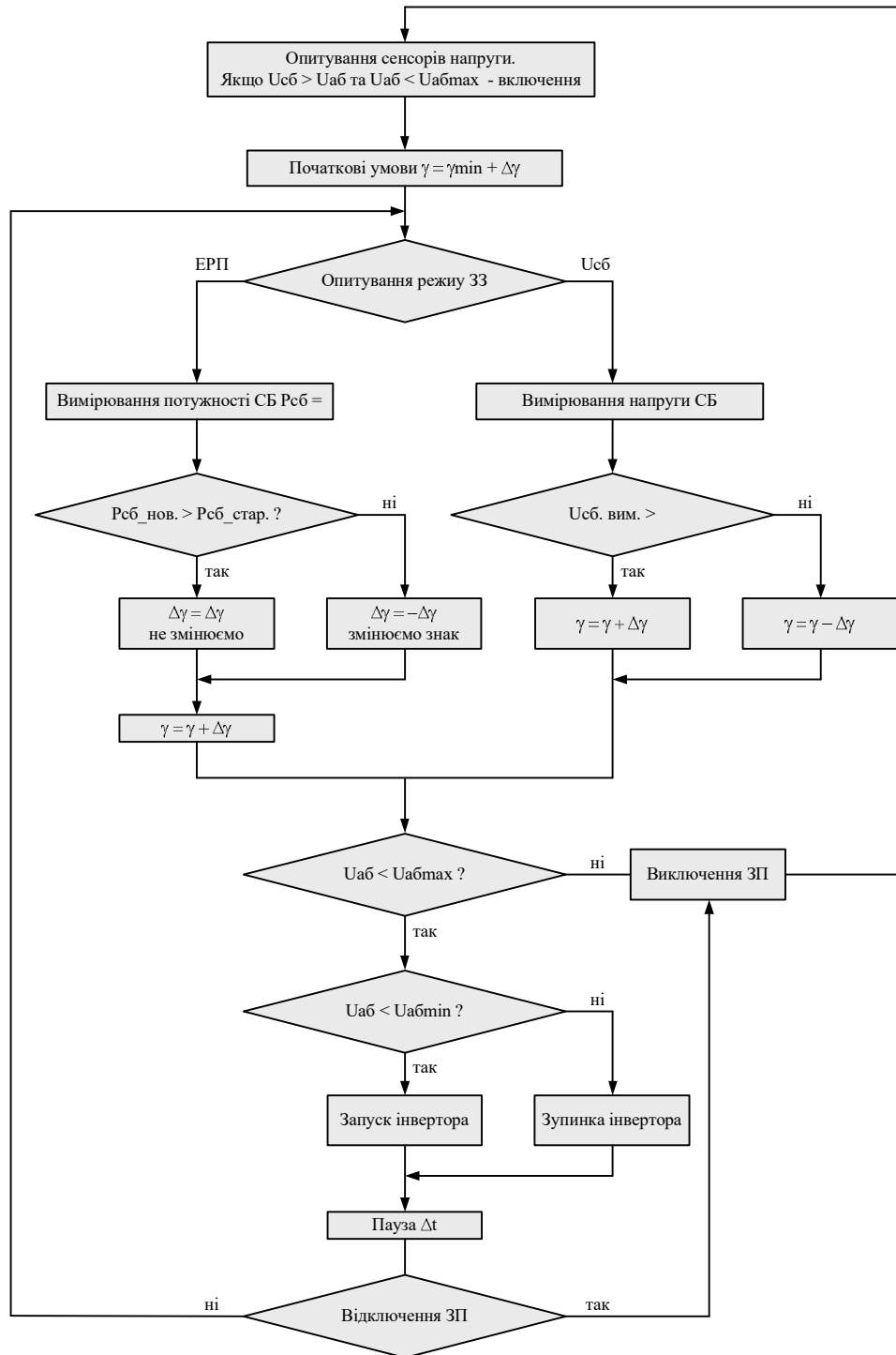


Рисунок 4.4 – Алгоритм функціонування системи із виконанням функції заряду АБ

Вимкнення інвертора відбувається за умови досягнення напругою АБ допустимого мінімуму, що говорить про граничний розряд АБ і неприпустимість живлення навантаження, залишкова енергія АБ при цьому витрачається на живлення вузлів управління та підтримки контролера в робочому стані.

Отже, описаний алгоритм гарантує стабільну і продуктивну роботу сонячної електростанції, враховуючи присутність або відсутність зовнішньої мережі, і відповідно регулює функціонування системи для забезпечення безперервного живлення споживачів. Така організація роботи дозволяє підприємствам досягати високого рівня енергетичної безпеки, що є надзвичайно важливим для забезпечення безперервності бізнес-процесів та мінімізації збитків, викликаних перебоями в електропостачанні. Це сприяє підвищенню надійності та ефективності енергозабезпечення підприємств, даючи їм змогу зосередитися на ключових виробничих завданнях без тривоги щодо можливих енергетичних збоїв.

4.2 Практична реалізація автоматизованої системи керування генерацією та моніторинг показників генерації

Зовнішній вигляд змонтованих на даху панелей, обладнання та пристроїв приведений на рисунках 4.5-4.8.



Рисунок 4.5 – Встановлення фотоелектричних модулів типу JKM570N-72HL4 (компанії Jinko Solar)

Монтаж захисної шафи по змінному і постійному струмі (рисунок 4.6), мережевих інверторів Huawei SUN2000-50KTL-M3 (рисунок 4.7) та пристроїв

автоматизованого керування та контролю (рисунк 4.8) генерації електричної енергії СФЕС промислового підприємства приведено на ілюстраціях нижче.



Рисунок 4.6 – Захисна шафа розподільчих кіл постійного та змінного струму



Рисунок 4.7 – Підключення інверторів Huawei SUN2000-50KTL-M3

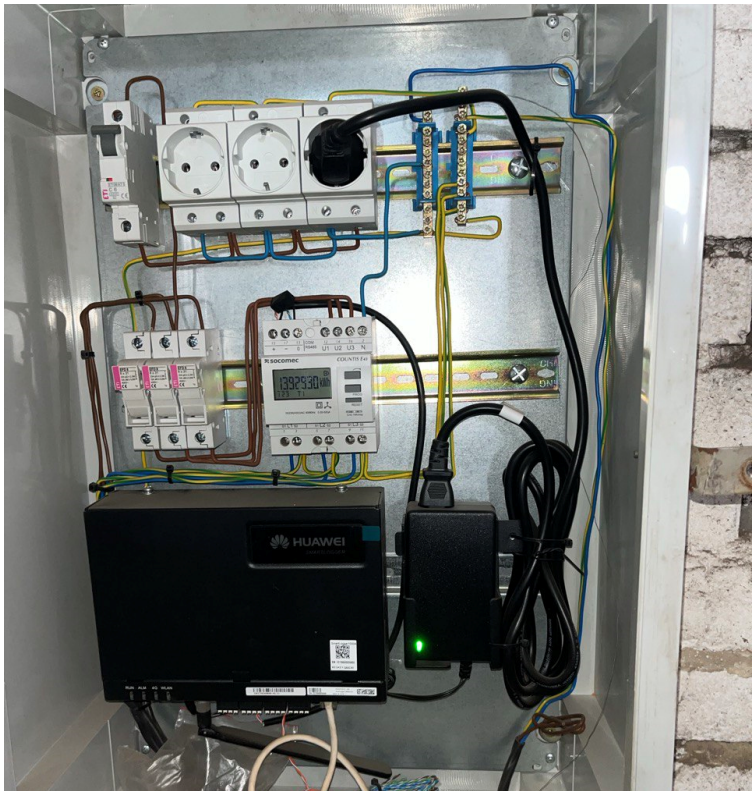


Рисунок 4.8 – Шафа керування автоматизованою системою генерації

Моніторинг стану роботи автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт здійснюється через сервер компанії FusionSolar, зокрема через авторизацію споживача у власному обліковому записі. Дерево пристроїв автоматизованої системи керування приведено на рисунку 4.9.

FusionSolar

HomeMonitoringReportsPlantsMaintenanceMore

SmartDesignEnglishVitaliyEn

Enter a device name

Energoooblik2

LytnCegelnii

Logger-101960005880

20KTL-M5(COM2-1)

33KTL(COM2-11)

33KTL(COM2-12)

33KTL(COM2-13)

50KTL-M3(COM2-2)

50KTL-M3(COM2-14)

Meter-AM00101960005880

DetailsDevice ManagementAlarm ManagementConfiguration

ResetSearch for DevicesActive Power AdjustmentReactive Power AdjustmentPower fa

Subordinate Devices

Device Status	Device Type	Device Model	Software Version	SN
Connected	Inverter	SUN2000-20KTL-M5	V200R023C10SPC208	HV2310153724
Connected	Inverter	SUN2000-33KTL-A	V200R002C00SPC126	2101073858MEKC000490
Connected	Inverter	SUN2000-33KTL-A	V200R002C00SPC126	2101073858MEKC000492
Connected	Inverter	SUN2000-33KTL-A	V200R002C00SPC126	2101073858MEKC000491
Connected	Inverter	SUN2000-50KTL-M3	V200R023C00SPC123	ES2340059446

Рисунок 4.9 – Система моніторингу показників генерації FusionSolar

Результати моніторингу системи керування в режимі реального часу з аналізатора параметрів Smart meter Pilot SPM33 приведені на рисунку 4.10.

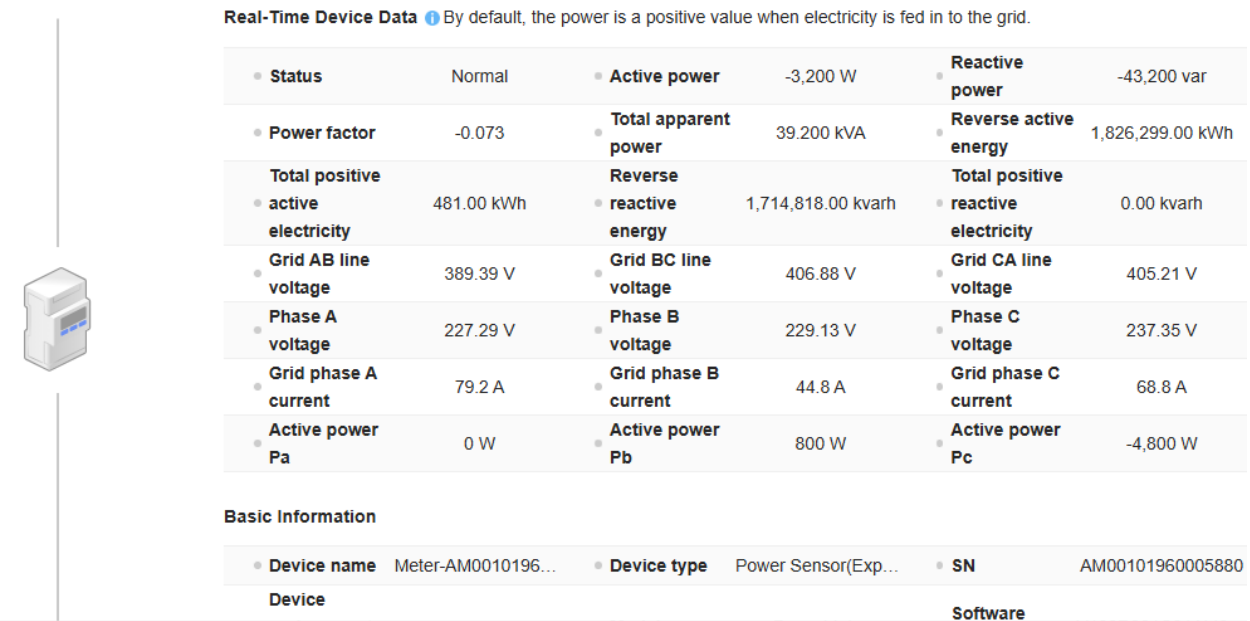


Рисунок 4.10 – Результати моніторингу з аналізатора Smart meter Pilot SPM33

Графік керування генерацією електричної енергії для мережевого інвертора потужністю 50 кВт за добу приведено на рисунку 4.11.

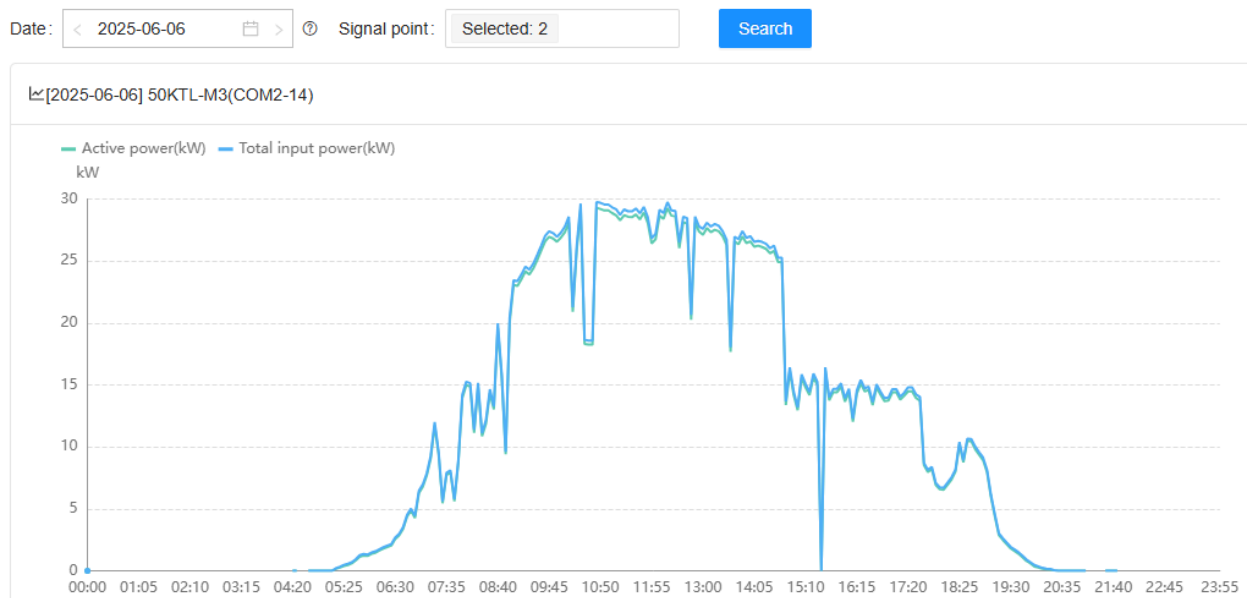


Рисунок 4.10 – Результати моніторингу потужності інвертора 50KTL-M3

Графік керування генерацією електричної енергії для мережевого інвертора потужністю 30 кВт за добу приведено на рисунку 4.11.

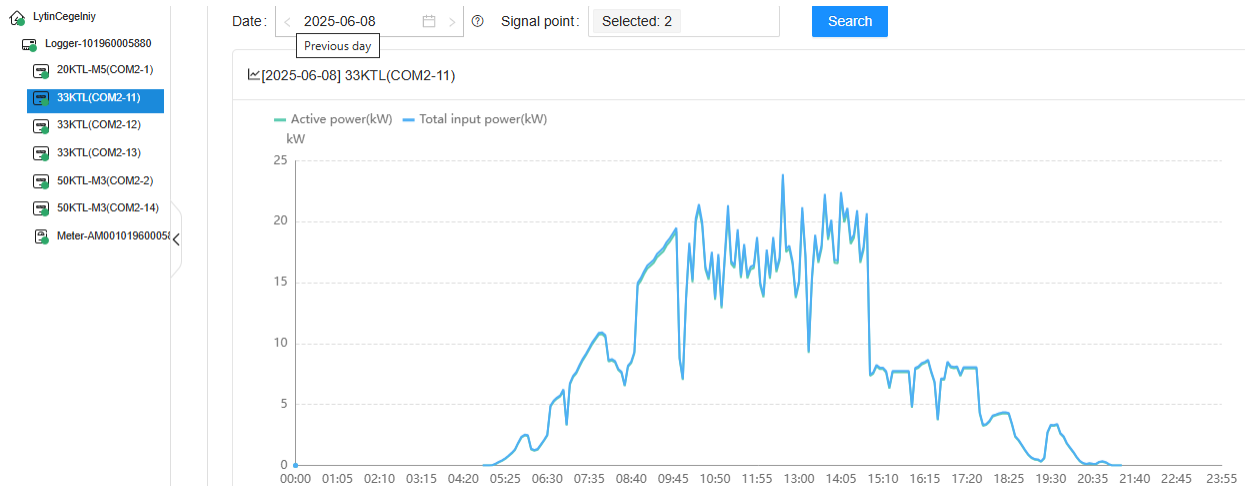


Рисунок 4.11 –Результати моніторингу потужності інвертора 33KTL

Висновок: Було створено схему автоматизованої системи управління сонячною електростанцією. Описано структуру підключення та принцип функціонування системи керування, а також розроблено докладний алгоритм, який забезпечує надійну і ефективну роботу СЕС. Завдяки впровадженню цієї системи підприємства отримують можливість підвищити рівень енергетичної безпеки, оптимізувати використання ресурсів і зменшити залежність від зовнішніх мереж, що сприяє безперебійній роботі виробничих процесів і скороченню витрат на електроенергію.

У розділі наведено результати впровадження системи управління електростанцією в режимі реального часу з відображенням та моніторингом поточних параметрів роботи ключових елементів системи.

5 ОХОРОНА ПРАЦІ

В цьому розділі бакалаврської дипломної роботи розглянуті питання з охорони праці, що були враховані під час організації оперативного обслуговування обладнання СЕС. Шкідливі виробничі фактори, які впливають на електротехнічний оперативно-ремонтний персонал електростанції [20,21]:

- фізичні фактори: мікроклімат (температура, вологість, швидкість руху повітря, інфрачервоне випромінювання); виробничий шум, ультразвук, інфразвук; вібрація (локальна, загальна); освітлення: природне (недостатність), штучне (недостатня освітленість, прямий і відбитий сліпучий відблиск тощо);

- хімічні фактори: речовини хімічного походження, аерозолі фіброгенної дії (пил);

- фактори трудового процесу: важкість (тяжкість) праці; напруженість праці. Важкість праці характеризується рівнем загальних енергозатрат організму або фізичним динамічним навантаженням, масою вантажу, що піднімається і переміщується, загальною кількістю стереотипних робочих рухів, величиною статичного навантаження, робочою позою, переміщенням у просторі. Напруженість праці характеризують: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, ступінь монотонності навантажень, режим роботи.

5.1. Технічні рішення з безпечної експлуатації об'єкта

5.1.1 Технічні рішення з безпечної організації робочих місць під час оперативного обслуговування електроустановок

Оперативне обслуговування електроустановок може здійснюватися як місцевими оперативними чи оперативно-ремонтними працівниками, за якими закріплена ця електроустановка, так і виїзними, за якими закріплена група електроустановок. Вид оперативного обслуговування, кількість оперативних працівників в зміну чи на електроустановці визначаються особою, відповідальною за електрогосподарство, за узгодженням з керівництвом

підприємства (організації) і зазначається в місцевих інструкціях. До оперативного обслуговування електроустановок допускаються працівники, які знають оперативні схеми, посадові і експлуатаційні інструкції, інструкції з охорони праці, особливості обладнання і пройшли навчання, дублювання та перевірку знань ПБЕ ЕЕС та ПТЕ ЕЕС.

Оперативні працівники, які обслуговують електроустановки одноосібно, та ті старші в зміні чи бригаді оперативні працівники, за якими закріплені електроустановки, повинні мати групу з електробезпеки IV в електроустановках напругою понад 1000 В і III – в електроустановках напругою до 1000 В. Оперативні працівники повинні працювати за графіком, затвердженим особою, відповідальною за електрогосподарство підприємства чи структурного підрозділу.

Оперативні працівники, які заступають на чергування, мають прийняти зміну від попереднього чергового, здати зміну наступному черговому у відповідності з графіком. Припинення чергування без здачі зміни забороняється. У виняткових випадках залишення робочого місця є припустимим з дозволу оперативного працівника вищої посади. Під час приймання зміни оперативний працівник зобов'язаний:

- ознайомитися зі схемою і станом та режимом роботи устаткування на своїй ділянці особистим оглядом в обсязі, встановленому інструкцією;
- одержати від чергового, який здає зміну, інформацію про стан устаткування, за яким необхідно вести ретельний нагляд для запобігання аваріям та неполадкам, а також про стан устаткування, що перебуває в ремонті або резерві;
- перевірити і прийняти інструмент, матеріали, ключі від приміщень, засоби захисту, оперативну документацію та інструкції;
- ознайомитися з усіма записами та розпорядженнями за час, що минув з його останнього чергування;
- оформити приймання зміни записом у журналі, відомості, а також в

оперативній схемі власним підписом та підписом працівника, який її здає;

- доповісти старшому зміни про початок чергування та про неполадки, виявлені під час прийняття зміни.

Забороняється прийняття та здача зміни у випадках, коли на ділянці, яка обслуговується, робочі місця не прибрані, устаткування забруднене. Прийняття зміни, коли устаткування несправне чи є відхилення від нормального режиму його роботи, допускається тільки з дозволу особи, відповідальної за електрогосподарство підприємства, або оперативного працівника вищого рівня, про що робиться запис в оперативному журналі. Оперативні працівники під час свого чергування є відповідальними за правильне обслуговування та безаварійну роботу всього устаткування на закріпленій за ними ділянці.

В разі порушення режиму роботи, пошкодженні чи аварії електроустаткування оперативний працівник зобов'язаний негайно вжити заходів з відновлення схеми нормального режиму роботи і повідомити про те, що сталося, безпосередньо старшому у зміні працівнику або особі, відповідальній за електрогосподарство. У випадку неправильних дій оперативних працівників під час ліквідації аварії старший в зміні оперативний працівник зобов'язаний прийняти на себе керівництво і відповідальність за подальший перебіг ліквідації аварії.

Оперативні працівники повинні проводити обходи та огляди устаткування і виробничих приміщень на закріпленій за ним ділянці. Огляд електроустановок може виконуватись одноосібно:

- адміністративно-технічним працівником з групою V в електроустановках понад 1000 В і з групою IV — в електроустановках до 1000 В;

- оперативним працівником, який обслуговує цю електроустановку.

Список адміністративно-технічних працівників, яким дозволяється одноосібний огляд, встановлюється особою, відповідальною за

електрогосподарство і затверджується керівником підприємства.

Забороняється під час огляду електроустановок виконувати будь-яку роботу. Огляди, виявлення та ліквідація несправностей в електроустановках без місцевих чергових працівників виконуються централізовано виїзними працівниками, що здійснюють нагляд і роботи на об'єкті (чи групі об'єктів). Періодичність цих робіт встановлюється особою, відповідальною за електрогосподарство, залежно від місцевих умов. Результати оглядів фіксуються в оперативному журналі.

Двері приміщень електроустановок (щитів, збірок тощо) мають бути постійно замкнені. Для кожного приміщення має бути не менше двох комплектів ключів, один з яких є запасним. Ключі від приміщень РУ не повинні пасувати до дверей комірок і камер.

Ключі підлягають поверненню щоденно після закінчення роботи.

5.1.2. Електробезпека

Живлення силового обладнання сонячної електростанції та системи освітлення здійснюється від мережі з заземленою нейтраллю напругою 380 х 220 В з частотою 50 Гц. Проектування та експлуатація електричних мереж і установок повинна здійснюватися за умови дотримання вимог з їхньої електробезпеки [22,23]. Технічні рішення щодо запобігання електротравмам під час виконання робіт:

1) Для запобігання електротравм від контакту зі струмопровідними елементами електроустаткування потрібно: розміщувати неізольовані струмопровідні елементи в окремих приміщеннях з обмеженим доступом, у металевих шафах; використовувати засоби орієнтації в електроустаткуванні – написи, таблички, попереджувальні знаки; підвід кабелів до споживачів здійснювати в закритих конструкціях підлоги.

2) При живленні однофазних споживачів струму при напрузі до 1000 В використовується нульовий захисний провідник. При його використанні пробій на корпус призводить до КЗ. Спрацьовує захист від КЗ і пошкоджений

споживач відключається від мережі.

3) Електрозахисні засоби захисту

Персонал, який обслуговує електроустановки, повинен бути забезпечений випробуваними засобами захисту. Перед застосуванням засобів захисту персонал зобов'язаний перевірити їх справність, відсутність зовнішніх пошкоджень, очистити і протерти від пилу, перевірити за штампом дату наступної перевірки. Користуватися засобами захисту, термін придатності яких вийшов, забороняється.

Використовуються основні та допоміжні електрозахисні засоби. Основними електрозахисними засобами називаються засоби, ізоляція яких тривалий час витримує робочу напругу, що дозволяє дотикатися до струмопровідних частин, які знаходяться під напругою. До них відносяться (до 1000В): ізолювальні штанги; ізолювальні та струмовимірювальні кліщі; покажчики напруги; діелектричні рукавиці; слюсарно-монтажний інструмент з ізольованими ручками.

Додатковими електрозахисними засобами називаються засоби, які захищають персонал від напруги дотику, напруги кроку та попереджають персонал про можливість помилкових дій. До них відносяться (до 1000 В): діелектричні калоші; діелектричні килимки; переносні заземлення; ізолювальні накладки і підставки; захисні пристрої; плакати і знаки безпеки.

5.2 Технічні рішення з виробничої санітарії

5.2.1. Мікроклімат

Умови праці визначаються поєднанням температури, відносної вологості та швидкості руху повітря, температури поверхонь, які оточують людину, та інтенсивністю теплового (інфрачервоного) опромінювання [24]. Категорія робіт, що виконується оперативним персоналом – Па – пов'язано з постійною ходьбою і перенесенням невеликих вантажів масою до 1 кг. За ступенем впливу на тепловий стан людини мікрокліматичні умови визначаємо як допустимі (таблиця 4.1). В умовах роботи назовні приміщень допустима

температура не повинна перевищувати такі межі: 22,0-25,1 °С; шкідлива: 1 ступеня – 25,2-25,5; 2 ступеня – 25,6-26,3; 3 ступеня – 26,3-27,3; 4 ступеня – 27,4-29,9 °С [21].

Таблиця 5.1 – Допустимі параметри мікроклімату

Період року	Категорія робіт	Температура, ° С	Відносна вологість, %	Швидкість руху повітря, м/с
Холодний	Середньої важкості: Па	17-23	75	не > 0,3
Теплий	Середньої важкості: Па	18-27	65 при 26 °С	0,2-0,4

Необхідно, щоб в приміщеннях для оперативного персоналу була постійна циркуляція повітря або встановлений кондиціонер [25]. Влітку при значних вологовтратах і значному часі опромінення інфрачервоною радіацією споживають охолоджену до 15-20°С підсолену (0,5 % HCl) газовану воду. Вживання підсоленої води запобігає згущенню крові, сприяє утриманню її в організмі, покращує самопочуття й підвищує працездатність. Із заходів особистої профілактики після теплових навантажень рекомендуються гідропроцедури.

5.2.2. Склад повітря робочої зони

Забруднення повітря робочої зони регламентується граничнодопустимими концентраціями (ГДК) в мг/м³ [23]. Для нормалізації складу повітря робочої зони потрібно здійснювати щоденне прибирання робочого місця. Чим дрібніше пил (зернистість), тим вище небезпека.

Таблиця 5.2 – Можливі забруднювачі повітря можуть і їх ГДК

Найменування речовини	ГДК, мг/куб. м		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньодобова	
Пил нетоксичний	0,5	0,15	4
Вуглецю оксид (CO)	3	1	4

Тому необхідно здійснювати наступні заходи: очищувати пил якнайчастіше, щодня протирати запилені поверхні обладнання з використанням продувки або пилососа. Потрібно планувати прибирання так, щоб воно приходилось на час коли устаткування вимкнене, зокрема в другу половину дня п'ятниці або на вихідні.

5.2.3. Виробниче освітлення

Відповідно до ДБН В.2.5-28-2018 [23], роботи з обслуговування сонячного трекера, потребують освітлення, яке характеризується розрядом зорової роботи III, підрозряд «в». Нормовані значення штучного, природного та суміщеного освітлення наведені в таблиці 4.3.

Для забезпечення достатнього освітлення здійснюють систематичне очищення скла та світильників від пилу (не рідше двох разів на рік), використовують жалюзі. В разі нестачі природного освітлення, використовують загальне штучне освітлення, що створюється за допомогою світлодіодних ламп E27 LED 15W NW A60 "SG". Висота підвісу світильників над робочою поверхнею 2,5 метра.

Таблиця 5.3 – Вимоги до освітлення приміщень виробничих підприємств

Харак- ка зорової роботи	Найменший або еквівалент- ний розмір об'єкта розрізнення, мм	Розряд зорової роботи	Під- розряд зорової роботи	Контраст об'єкта з фоном	Характе- ристика фону	Штучне при- системі комбінованого освітлення		Природне Ен пр	Сумісне Е сум
						всього	у т. ч. від загального		
Висо- кої точн- ості	Від 0,3 до 0,5 включно	III	в	малий середній великий	світлий середній темний	600	200	-	3,0

5.2.4. Виробничий шум

Шум у приміщенні широкосмуговий. Нормуємо шум на робочому місці. Рівні звукового тиску в октавних смугах частот, рівні звуку та еквівалентні рівні звуку на робочих місцях мають відповідати вимогам СН 3223-85, ГОСТ 12.1.003-85, ГР 2411-81 [27] і наведені в табл. 5.4.

Таблиця 5.4 – Допустимі рівні звуку, еквівалентні рівні звуку і рівні звукового тиску в октавних смугах частот

Вид трудової діяльності, робочі місця	Рівні звукового тиску в дБ в октавних смугах із середньгеометричними частотами, Гц									
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
Виконання усіх видів робіт на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях та на території підприємства	107	95	87	82	78	75	73	71	69	

Устаткування, що є джерелом шуму (вентилятори, електроінструмент, технологічне обладнання), слід використовувати поза межами приміщень.

Для забезпечення допустимих рівнів шуму на робочих місцях слід застосовувати засоби звукопоглинання, вибір яких має обґрунтовуватись спеціальними інженерно-акустичними розрахунками.

Акустична обробка приміщень – це облицювання частини внутрішніх поверхонь огорожень звукопоглинаючими матеріалами, а також розміщення в приміщенні штучних звукопоглиначів, які представляють собою вільно підвішені об’ємні поглинаючі тіла довільної форми. Найбільший ефект при акустичній обробці можливо отримати в точках, які розташовані в зоні відбитого звуку; в зоні прямого звуку акустичний ефект від застосування облицювання набагато менший. Звукопоглинаючі облицювання розміщують на стелі і в верхніх частинах стін при висоті приміщення не більше 6-8 м таким чином, щоб акустично оброблена поверхня складала не менше 60 % від загальної площі обмежуючих приміщення поверхонь. У вузьких і дуже високих приміщеннях доцільно облицювання розміщувати на стінах, залишаючи нижні частини стін (до 2 м висотою) не облицьованими, або проектувати конструкцію звукопоглинаючої підвісної стелі.

5.2.5. Виробнича вібрація

Джерелами вібрацій на енергетичних об’єктах є технологічне устаткування, електроінструмент і вентилятори. Норми виробничої вібрації на постійних робочих місцях в приміщеннях об’єктів будівництва, визначені за [28], наведено в таблиці 6.5. Для зменшення дії вібрацій на працюючих проектом передбачено: створення амортизаторів в яких використовують пружини, гуму та інші пружні матеріали; розміщення будівельних конструкцій на масивних фундаментах; встановлення додаткових реактивних опорів.

Таблиця 6.5 – Допустимі рівні вібрації на постійних робочих місцях

Вид вібрації	Октавні полоси з середньгеометричними частотами, Гц									
	2	4	8	16	32	63	125	250	500	1000
Загальна вібрація: на постійних робочих місцях в виробничих приміщеннях	1,3* 108	0,45 99	0,22 93	0,2 92	0,2 92	0,2 92	-	-	-	-

В чисельнику середньоквадратичне значення вібрації, $\text{м/с}^* 10''$, в знаменнику – логарифмічні рівні вібрації, дБ.

Також серед технічних заходів уникнення шкідливого впливу вібрації – створення нових конструкцій інструментів і машин, вібрація яких не може виходити за безпечні для людини межі, а зусилля не повинні перевищувати 15-20 кг. Усі деталі машин та агрегатів, що рухаються, повинні ретельно врівноважуватися, а для зменшення динамічних сил, які спричиняють вібрації, слід застосовувати змащування та ін.

5.3. Пожежна безпека

Пожежну безпеку промислових і інших об'єктів регламентують «Правила пожежної безпеки в Україні» та інші правила пожежної безпеки для промислових підприємств і окремих об'єктів [29, 30]. Визначення пожежовибухонебезпечності речовин і матеріалів здійснюється за рекомендаціями [31], а, відповідно, категорії приміщень, будинків та зовнішніх установок, де вони використовуються, зберігаються тощо, за [32].

Отже, приміщення підприємства, де здійснюється переробки фруктів і овочів, за вибухонебезпекою та пожежонебезпекою відносяться до категорії Д – речовини і/або матеріали, що зазначені вище для категорій приміщень В (крім горючих газів, горючих пилу і/або волокон), а також негорючі речовини і/або матеріали в холодному стані (за температури навколишнього середовища), за умов, що приміщення, в яких знаходяться зазначені вище речовини і/або матеріали, не відносяться до категорій А, Б або В; а також, частково, категорії В, в яких знаходяться та будуть знаходитися (зберігатися) легкозаймисті, горючі і/або важко горючі рідини, а також речовини і/або матеріали, як здатні вибухати та горіти або тільки горіти під час взаємодії з водою, киснем повітря і/або один з одним; тверді горючі і/або важко горючі речовини та матеріали (включно горючий пил і/або волокна), за умови, що питома пожежна навантага для твердих і рідких легко-займистих, горючих та важко горючих речовин і/або матеріалів на окремих ділянках площею не

менше 10 м² кожна може перевищити 180 МДж•м².

Будівля, в якій розташовані ці приміщення, характеризується III ступенем вогнестійкості. До III ступеня вогнестійкості відносяться будинки з несучими та огорожувальними конструкціями з природних або штучних кам'яних матеріалів, бетону, залізобетону. Для перекриттів дозволяється застосовувати дерев'яні конструкції, захищені штукатуркою або негорючими листовими, плитними матеріалами, або матеріалами груп горючості Г1 (низької горючості), Г2 (помірної горючості). До елементів покриттів не висуваються вимоги щодо межі вогнестійкості, поширення вогню, при цьому елементи горищного покриття з деревини повинні мати вогнезахисну обробку. Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) та максимальні межі поширення вогню по них (см) за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 5.6.

Таблиця 5.6 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій та максимальні межі поширення вогню по них

Ступінь вогнестійкості і будинків		Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у хвиликах) і максимальні межі поширення вогню по них (см)								
		стіни				коло-ни	сходові площадки, костури, сходи, балки, марші сходових кліток	пере-криття між поверхові (у т.ч. горищні та над підвалами)	елементи суміщених покриттів	
		несучі та сходових кліток	самонесучі	зовнішні не-несучі	внутрішні не-несучі (перегородки)				плити, насти-ли, прого-ни	балки, ферми, арки, рами
III	REI 120 M0	REI 60 M0	E 15 M0	E1 15 M1	R 120 M0	R 60 M0	REI 45 M1	Не нормуються		

Протипожежні перешкоди і мінімальні межі їх вогнестійкості за ДБН В.1.1.7-2016 [33] наведено в таблиці 5.7.

Таблиця 5.7 – Протипожежні перешкоди та мінімальні межі їх вогнестійкості

Протипожежні перешкоди	Типи протипожежних перешкод або їх елементів	Мінімальна межа вогнестійкості протипожежної перешкоди (у хвиликах)	Тип заповнення прорізів, не нижче	Тип протипожежного тамбуршлюзу, не нижче
Стіни	2	REI 60	2	1
Перегородки	2	EI 15	3	2
Перекриття	2	REI 60	2	1

Протипожежні відстані між житловими, громадськими, адміністративно-побутовими будинками промислових підприємств, гаражами слід приймати за таблицею 5.8 (чисельник). В умовах забудови, що склалася, протипожежні відстані між житловими будинками та від житлових будинків до будівель і споруд іншого призначення слід визначати згідно з протипожежними вимогами даних норм, наведеними у таблиці 4.8. Протипожежні відстані від житлових, громадських, адміністративно-побутових будинків промислових підприємств, гаражів до виробничих, складських будинків і споруд слід приймати за таблицею 5.8 (знаменник).

Таблиця 5.8 – Протипожежні відстані

Ступінь вогнестійкості будинку	Відстані при ступені вогнестійкості будинків, м		
	I, II	III	IV, V
III	8/9	8/12	10/15

На території СЕС встановлено 14 порошкових (ВП) та водо-пінних (ВВП) вогнегасників ємністю 5 та 9 л.

Висновки: Проведено огляд та планування заходів щодо безпечної експлуатації об'єкта дослідження із врахуванням режимів його функціонування.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи на тему «Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт» були запропоновані рішення щодо розробки та впровадження автоматизованої системи керування генерацією сонячної електростанції.

Актуальність теми зумовлена зростанням попиту на відновлювані джерела енергії та необхідністю зменшення залежності від централізованої енергосистеми України, особливо в умовах руйнування енергетичної інфраструктури через війну.

У ході дослідження було виконано такі основні завдання:

1. Проведено аналіз ключових напрямків розвитку сонячної енергетики в Україні та класифікацію типів сонячних електростанцій.

2. Виконано огляд існуючих автоматизованих систем керування генерацією на сонячних фотоелектричних станціях, включаючи принципи їх роботи, характеристичні особливості, порівняння доступних рішень та аналіз критеріїв вибору.

3. Здійснено підбір фотомодулів, інверторів і пристроїв управління для забезпечення оптимального функціонування системи керування СЕС із врахуванням нульового експорту електроенергії.

4. Розроблено схему підключення та автоматизовану систему управління сонячною електростанцією, а також створено алгоритм керування, який забезпечує ефективну роботу СЕС із нульовим експортом електроенергії.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що впровадження системи управління сонячною електростанцією є доцільним і необхідним заходом для підвищення енергетичної безпеки та продуктивності підприємства. Ці системи дозволяють автоматизувати процеси регулювання генерації електроенергії, що сприяє стабільності електропостачання та зниженню витрат. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, підтримує сталий розвиток

країни та охорону довкілля. Це дає змогу підприємствам підвищити енергетичну незалежність, оптимізувати ресурси та зменшити залежність від зовнішніх мереж, що є критично важливим для забезпечення безперервності виробничих процесів та уникнення втрат через перебої з електропостачанням.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.] ; під заг. ред. А. К. Шидловського ; НАН України, П-во «Укренергозбереження». — К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. — 560 с. — (Енергетика України на початку XXI століття ; т. 4). — [ISBN 978-8578-08-3](#)
2. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007. — 483 с.
3. Сонячна енергетика України [Електронний ресурс].URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BE%D0%BD%D1%8F%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D0%B5%D0%BD%D0%B5%D1%80%D0%B3%D0%B5%D1%82%D0%B8%D0%BA%D0%B0_%D0%A3%D0%BA%D1%80%D0%B0%D1%97%D0%BD%D0%B8.
4. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал ; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.
5. Сонячна електростанція для підприємства - зменшення власного споживання електроенергії [Електронний ресурс]. URL: <https://ecoenerhiia.ua/news/sonjachni-elektrostantsii-dlya-biznesu-blog.html>.
6. Кметюк О.С. Підвищення ефективності комбінованих автономних систем електропостачання з відновлювальними джерелами енергії. Магістерська кваліфікаційна робота. – Вінниця: ВНТУ, 2019. – 120 с.
7. Гібридні системи буферного накопичення електроенергії для автономних енергоустановок поновлюваної енергетики [Текст]: звіт про НДР. II етап Моделювання автономного енергетичного комплексу з буферними системами накопичення електроенергії (проміж.) / Нац. Томський

політехнічний університет; рук. Обухів С.Г.; викон.Плотніков І.А. [та ін.]. – Т., 2011. – 183 с, 4 дод.- ЦК №16.516.11.6033.

8. SmartLogger 3000A. User manual. [Електронний ресурс]. URL: https://www.photomate.eu/wp-content/themes/sitetheme/assets/user-manuals/EN_User-manual_Smartlogger3000_20210630_210x297.pdf

9. Encombi. Easy energy management [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/ecpv/>

10. Сонячні панелі: типи, характеристики, особливості застосування [Електронний ресурс]. URL: <https://130.com.ua/uk/vse-o-solnechnyh-panelyah/>

11. Будівництво промислових СЕС [Електронний ресурс] / Інжинірингова компанія – Нові енергетичні технології. – Режим доступу : <http://iknet.com.ua/uk/presentation/full/ses>

12. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. посібник / М.Г. Попович, О.Ю. Лозинський, В.Б. Клепиков та ін.; За ред. П.Г. Поповича, О.Ю. Лозинського. - К.: Либідь, 2005. - 680 с.

13. Modelling of sensed speed control of BLDC motor using MATLAB/SIMULINK / Basim Alsayid, Wael A. Salah, Yazeed Alawneh.

14. Johan Holtz, Juntao Quan “Sensorless vector control of induction motors at very low speed using a nonlinear inverter model and parameter identification”/ IEEE Transactions on industry applications, Vol. 38, No. 4, July/Aug2002, pp. 1087-1095.

15. Моделювання електроприводів: Навч. посібник / Л.Д. Костинюк, В.І. Мороз, Я.С. Паранчук. - Львів: Видавництво Національного університету «Львівська політехніка», 2004. - 404 с.

Solar PV industry. Market and industry trends. Global status report. Renewables. Steering committee. Ren. 21. 2014. P. 48–50. URL:

http://www.ren21.net/Portals/0/documents/Resources/GSR/2014/GSR2014_full%20report_low%20res.pdf

17. Roberts, P. Performance of Rotors in a Brushless Doubly-Fed Induction Machine (BDFM) [Електронний ресурс] / P. C. Roberts, R. A. McMahon, P.J. Tavner, J. M. Maciejowski, T. J. Flack, X. Wang // International Conference of Electrical Machines, 2004, Cracow, Poland. URL : <http://www.ime.pw.edu.pl/zme/pryw/bienpdf/dfim2.pdf>

Вимірювачі потужності. Документація аналізатора параметрів Smart meter Pilot SPM33 [Електронний ресурс]. URL: <https://www.encombi.com/products/accessories-3/pilot/>.

19. Система управління та моніторингу сонячних електростанцій (PV SCADA&PPC) [Електронний ресурс]. URL: <https://www.tktk.co.jp/en/product/control-system/pvscada/>

. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

21. НПАОП 40.1-1.32-01.(ДНАОП 0.00-1.32-01).Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок.[Чинний від 2002-01-01].URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01#Text>.

Закон України "Про охорону праці " № 2694 - XII. Від 1992.10.14– Відомості Верховної Ради України, 1992 р. – 668 с.

23. Кобилянський О.В., Терещенко О.П. Методичні вказівки щодо опрацювання розділу охорона праці в дипломних проектах і роботах студентів електротехнічних спеціальностей. – Вінниця 2003. –46 с.управления моментом синхронного двигателя с постоянными магнитами. Известия Томского политехнического университета. 2011. Т. 319. № 4.

Додаток А

Міністерство освіти і науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет електроенергетики та електромеханіки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав.кафедри КЕМСК

к.т.н., доц.

Микола МОШНОРІЗ

“ 4 ” березня 2025 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на бакалаврську дипломну роботу

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ
ПРОМИСЛОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗАГАЛЬНОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 220 кВт

БДР.001.00.000 ТЗ

Керівник роботи

к.т.н., доц.

Володимир БОГАЧУК

р.

Виконав: ст. гр. ЕМСА-216

Денис АМБРУСЕВИЧ

4 березня 2025р.

Вінниця ВНТУ 2025

1 Загальні відомості

Повне найменування розробки – «Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт».

Скорочене найменування розробки – «Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт».

Замовник – Кафедра компютеризованих електромеханічних систем і комплексів.

2 Підстави для розробки

Індивідуальне завдання та наказ ректора Вінницького національного технічного університету про затвердження тем бакалаврських кваліфікаційних робіт.

3 Призначення розробки і галузь використання

Розробка системи автоматизованого керування генерацією сонячною електричною станцією полягає у створенні комплексного інтелектуального рішення для ефективного управління сонячними електростанціями з можливістю використання отриманої енергії виключно для власних потреб без експорту до централізованої електричної мережі. Галузь використання даної розробки охоплює сектори відновлюваної енергетики та сонячної енергії. Вона спрямована на покращення управління та ефективність сонячних електростанцій, забезпечуючи оптимальне використання сонячної енергії для власних потреб споживача.

4 Вимоги до розробки

Основними вимогами до проєкту є забезпечення наступних вимог:

Забезпечення автоматизованого контролю керування сонячною електричною станцією для забезпечення надійності безперебійного

функціонування системи. Система повинна мати можливість адаптуватися до різних умов експлуатації та сумісність з різними системами керування. Крім того, система має бути легкою у використанні та застосовуватися як для промислових так і домашніх сонячних електростанцій. Система має бути надійною та забезпечувати захист від несанкціонованого доступу.

5 Комплектація розробки

Система керування сонячною електричною станцією містить фотоелектричні модулі типу Jinko Solar JKM570N-72HL4, мережевий інвертор Huawei SUN2000-50KTL-M3, реєстратор даних Smart Logger 3000a без PLC, пристрій керування EnCombi Controller ECcube2 L, аналізатор параметрів Smart meter Pilot SPM33.

6 Технічні характеристики

Таблиця 6.1 – Основні параметри контролера EnCombi ECcube2 L.

Номінальна напруга, U	115 / 230VAC Phase - Neutral
Номінальна частота, fn	50 / 60Hz
Номінальний струм, In	1 A
Заземлення системи	TN or TT
Розмір, HxBxD	400x400x210mm
Вага	11 kg
Ступінь вологозахисту	IP66 (IP65 with ECpanel7)
Комутаційні порти	2 x RS485 4 x Ethernet RJ45

7 Елементна база

Система керування генерації електроенергії, апаратура керування і захисту, провідники, кабелі і т. ін. виробництва України чи країн близького зарубіжжя.

8 Конструктивне виконання

Пристрій керування виготовляється окремими блоками, котрі реалізуються у відповідності до вимог електробезпеки.

9 Показники технологічності

Система автоматизованого керування генерацією сонячною електричною станцією – апаратура керування, провідники, кабелі і т.п. виконується на сучасній елементній базі, його монтаж, заземлення, струмопровід повинен відповідати правилам влаштування електроустановок.

10 Джерела розробки

1. Енергоефективність та відновлювані джерела енергії / Бевз С. М. [та ін.]; під заг. ред. А. К. Шидловського; НАН України, П-во «Укренергозбереження». — К. : Українські енциклопедичні знання, 2007. — 560 с. — (Енергетика України на початку ХХІ століття; т. 4). — [ISBN 978-8578-08-3](#)

2. Нетрадиційні та поновлювані джерела енергії: навч. посіб. / О. І. Соловей, Ю. Г. Лега, В. П. Розен, О. О. Ситник, А. В. Чернявський, Г. В. Курбас; за заг. ред. О. І. Солов'я. — Черкаси: ЧДТУ, 2007. — 483 с.

3. Поновлювані джерела енергії: Навч. посіб. / М. І. Сиротюк; за ред. С. І. Кукурудзи. — Л. : ЛНУ ім. І.Франка, 2008. — 248 с.

4. Сонячна енергетика: теорія та практика / Й. С. Мисак, О. Т. Возняк, О. С. Дацько, С. П. Шаповал; Нац. ун-т «Львівська політехніка». — Л. : Вид-во Львів. політехніки, 2014. — 340 с.

11 Технічне обслуговування і ремонт

Технічне обслуговування здійснюється слюсарями-електромонтажниками відповідної кваліфікації. Технічний огляд пристрою здійснюється мінімум один раз на місяць. Ремонт здійснюється інженерами-електромеханіками фахівцями з електромеханічних систем і комплексів.

12 Живлення електропривода

Живлення системи керування повинно бути виконано напругою 380 В від силової мережі підприємства.

13 Порядок контролю та прийняття

Виконання етапів графічної та розрахункової документації бакалаврської дипломної роботи контролюється керівником згідно з графіком виконання роботи. Прийняття роботи здійснюється комісією затвердженою зав. кафедрою згідно з графіком захисту.

14. Матеріали, що подаються до захисту БКР

Пояснювальна записка БКР, ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук рецензента, протоколи складання державних іспитів, анотації до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

15. Вимоги до оформлення БКР

Вимоги викладені в «Положенні про кваліфікаційні роботи у Вінницькому національному технічному університеті (БКР, МКР)», 2024 р.

Додаток Б
(обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ РІВНЕМ ГЕНЕРАЦІЇ
ПРОМИСЛОВОЇ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ЗАГАЛЬНОЮ
ПОТУЖНІСТЮ 220КВТ

Мета, задачі та об'єкт дослідження

Об'єкт дослідження є процеси зміни режимів роботи сонячної фотоелектричної станції.

Предметом дослідження розробка автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт.

Метою роботи є розробка та оптимізація режимів роботи автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції, оптимізація її експлуатаційно-технічних характеристик та її функціональних можливостей.

В процесі виконання мети дослідження необхідно вирішити такі **задачі**:

- виконати огляд та аналіз основних характеристик енергетичної ефективності фотоелектричних станцій;
- дослідити структури автономних мініелектростанцій на основі фотоелектричних перетворювачів;
- провести аналіз пропонованих на ринку сучасних конструктивних елементів сонячних електростанцій;
- розробити схему електричну структурну та принципову автоматизованої системи керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції;

Загальна характеристика систем ЕП на основі СФЕС



Рисунок 1 – Фотоелектрична станція на даху будівлі

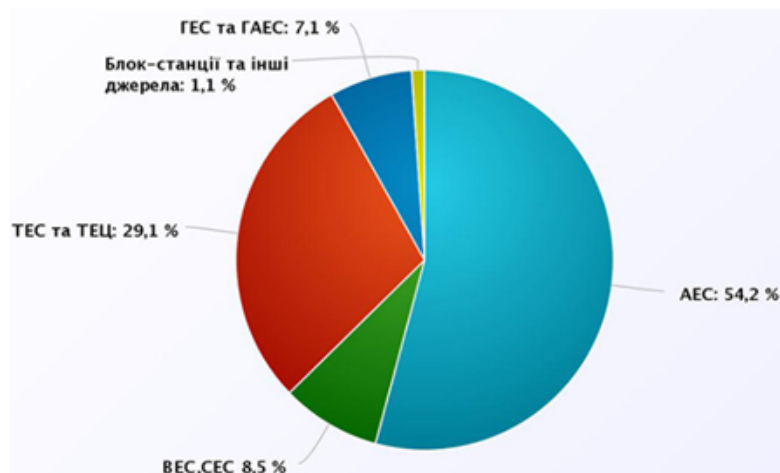


Рисунок 3 – Структура виробництва електроенергії в Україні

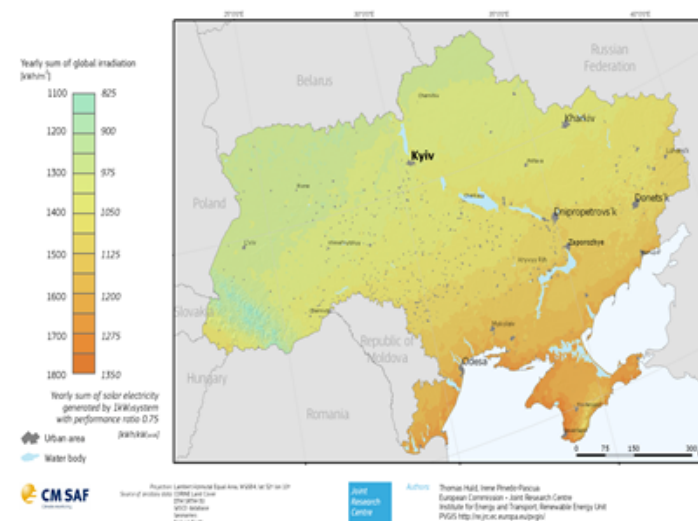


Рисунок 2 – Карта сонячної активності України

Структурні схеми автономних фотоелектричних мініелектростанцій

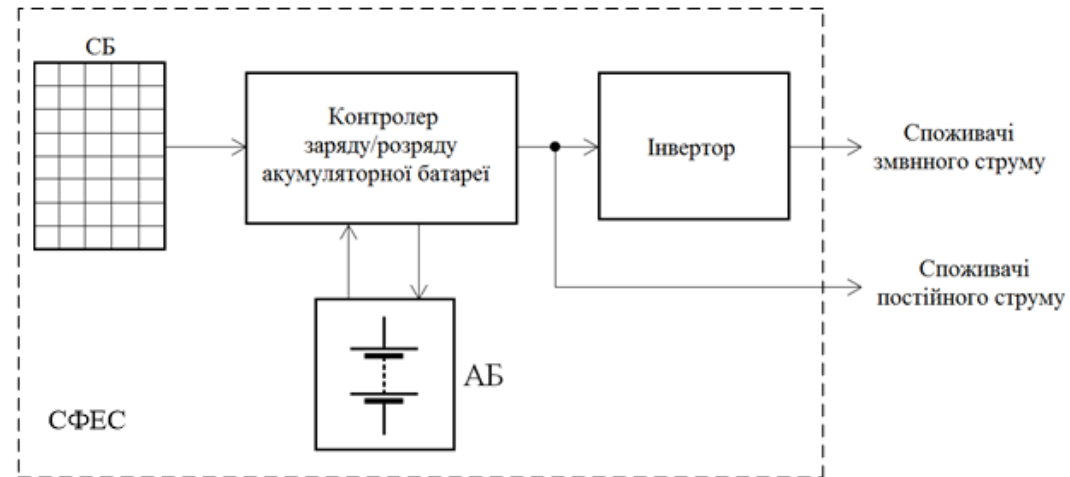


Рисунок 4 – Структурна схема автономної фотоелектричної енергетичної станції

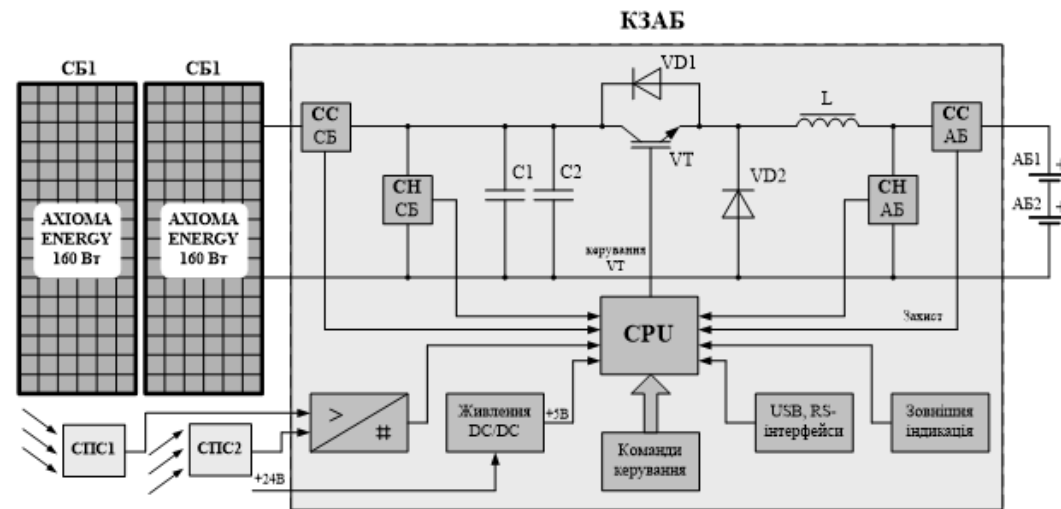


Рисунок 5 – Структурна схема АФЕС з функцією наведення СБ та екстремальним регулюванням їх потужності

Види сонячних електростанцій

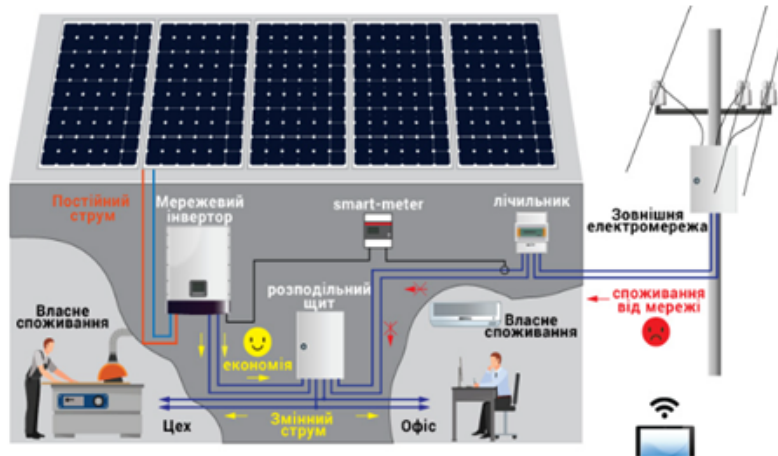


Рисунок 6 – Структура мережевої електростанції

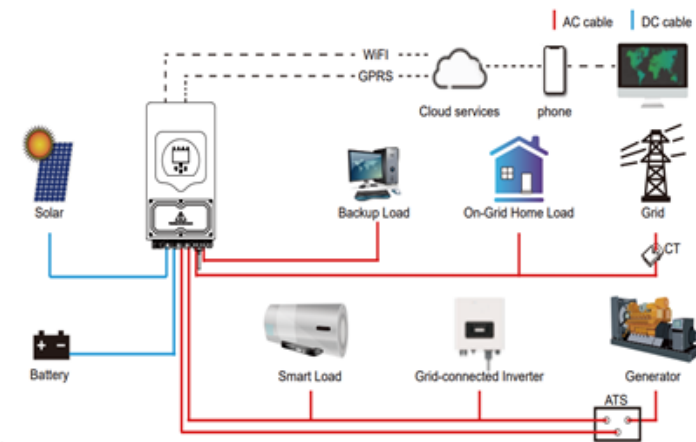


Рисунок 7 – Структурна схема компонентів гібридної станції

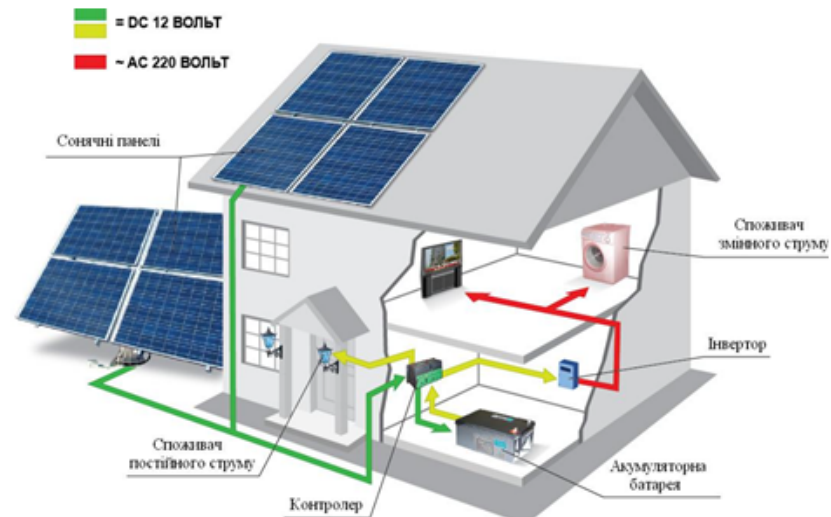


Рисунок 8 – Структурна схема компонентів автономної станції

Структурні схеми основних типів СФЕС

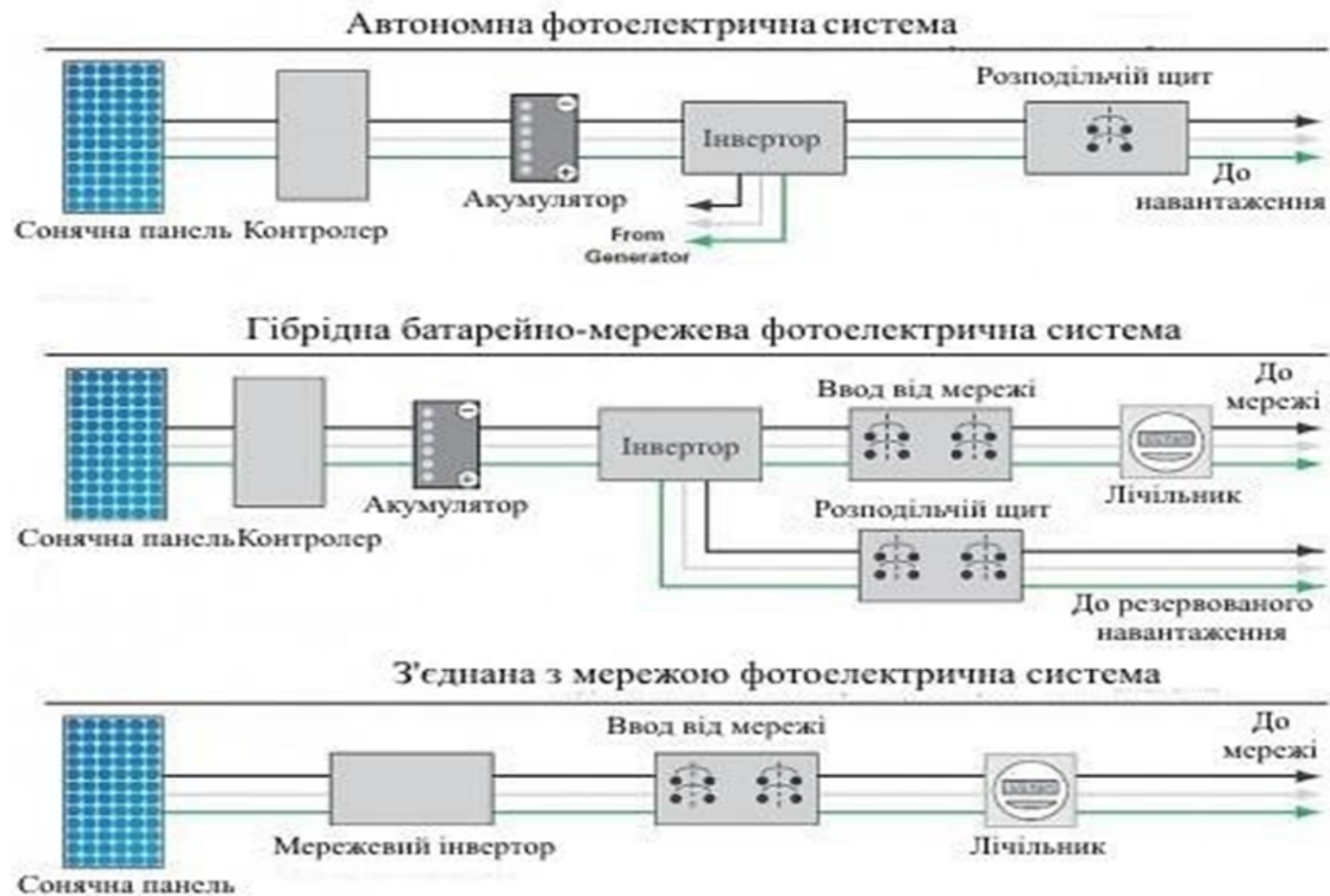


Рисунок 8 – Структурні схеми основних типів СФЕС

Методика визначення параметрів та характеристик міні-СФЕС

Сумарна потужність енергоспоживання навантаженням і необхідна вихідна потужність СФЕС:

$$P_{oc.i} = P_{H.i} / \eta_i, \quad (2.1)$$

де $P_{H.i}$ – потужність i -го споживача, Вт; $P_{oc.i}$ – потужність i -го споживача, перерахована на основну шину АСЕ, Вт; η_i – ККД i -го автономного інвертора напруги.

Розрахунок ємності акумуляторної батареї виходячи з потреби електроживлення навантаження в нічний час доби:

$$C_u = \frac{100}{S_p} \cdot \frac{P_H}{U_H} \cdot \Delta t_{H.Y.}, \quad (2.2)$$

де P_H – номінальна потужність навантаження, Вт; U_H – номінальна напруга навантаження, В; $\Delta t_{H.Y.}$ – інтервал нічного часу доби (літній час $\Delta t_{H.Y.} = 10$ год., зимовий час $\Delta t_{H.Y.} = 16$ год.); S_p – ступінь розрядженості акумуляторної батареї.

Потужність СФЕС:

$$P_{\Phi EC} = P_{ном.\Phi EC} \cdot f_{\Phi EC} \cdot \left(\frac{G_T}{G_{H.Y.}} \right) \cdot [1 + \alpha_p \cdot (T_C - T_{H.Y.})] \quad (2.3)$$

де $P_{ном.\Phi EC}$ – номінальна потужність ФЕС, Вт; $f_{\Phi EC}$ – коефіцієнт зниження потужності ФЕС, який враховує втрати електроенергії без використання АБ; G_T – сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі, Вт/м²; $G_{H.Y.}$ – пікова сонячна радіація, яка надходить на фотоелектричні модулі при нормальних умовах (1000 Вт/м²); α_p – температурний коефіцієнт потужності, °C⁻¹; T_C – температура поверхні ФЕС, °C; $T_{H.Y.}$ – температура при нормальних умовах (25°C).

Показник сонячної радіації, яка надходить на фотоелектричні модулі, визначається таким чином:

$$G_T = (G_b + G_d \cdot A_i) \cdot R_b + G_d \cdot (1 - A_i) \cdot \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] \cdot \left[1 + f_0 \cdot \sin^3 \left(\frac{\beta}{2} \right) \right] + \overline{G} \cdot \rho \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right], \quad (2.4)$$

де G_b – пряма сонячна радіація, Вт/м²; G_d – дифузна сонячна радіація, Вт/м²; R_b – відношення косинуса кута падіння променя на похилій поверхні до косинусу кута падіння на горизонтальній поверхні; A_i – індекс анізотропії ($A_i = G_b / G_0$). G_0 – середня сонячна радіація поза атмосфери землі, Вт/м²; β – нахил поверхні; f_0 – коефіцієнт ($f_0 = \sqrt{G_b / G}$); G – сумарна сонячна радіація ($G = G_b + G_d$), Вт/м².

Виробіток електроенергії від СФЕС виражається таким чином:

$$E_{\Phi EC} = P_{\Phi EC} \cdot t_{сон}, \quad (2.5)$$

де $t_{сон}$ – середньодобові сонячні години (год/добу), які визначаються:

$$t_{сон} = \frac{\text{кількість годин сонячного світла за рік}}{\text{кількість днів за рік (365 днів / рік)}}. \quad (2.6)$$

Автоматизовані системи керування рівнем генерації промислових сонячних електростанцій

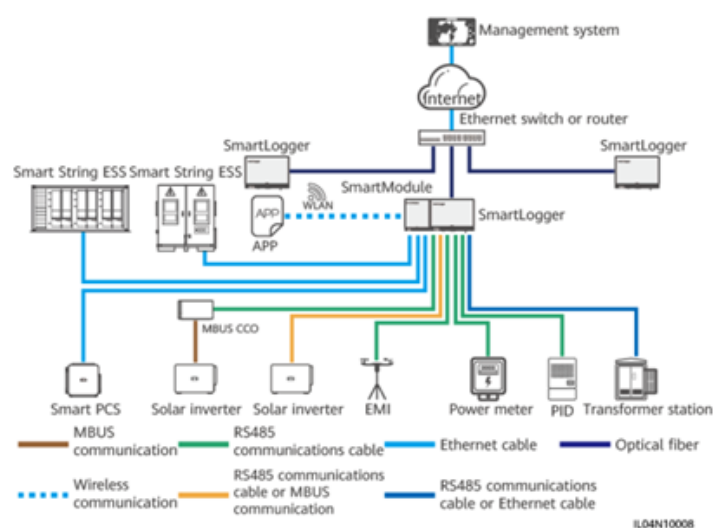


Рисунок 8 – Автоматизована система керування рівнем генерації

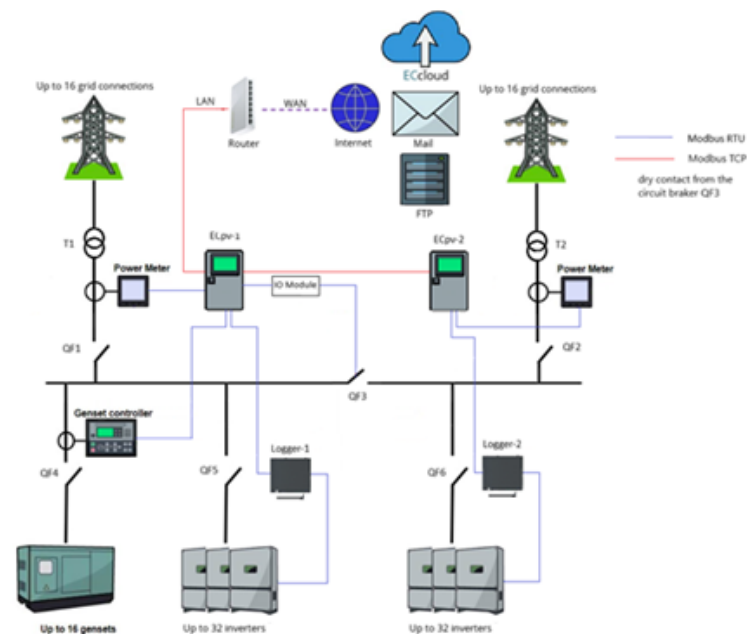


Рисунок 9 – Автоматизована система керування рівнем генерації СФЕС промислових об'єктів з додатковими генеруючими установками

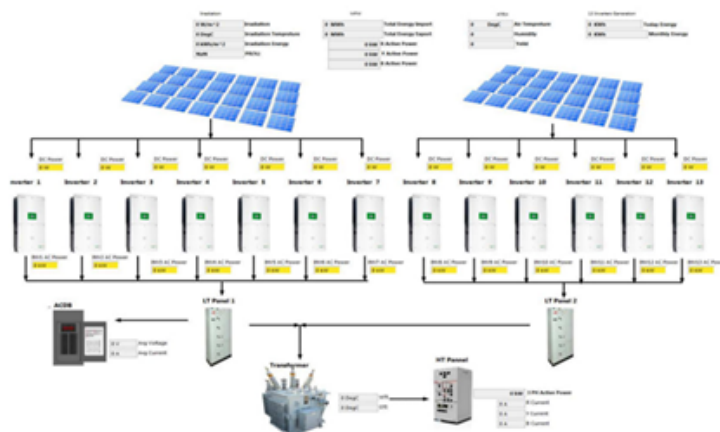


Рисунок 10 – Автоматизована система керування рівнем генерації СФЕС на базі системи SCADA

Визначення типів та характеристик обладнання і комплектуючих

№ п/п	Елементи електротехнічного комплексу	Кіл-ть
1.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-50KTL-M3, шт	2 шт.
2.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-33KTL-M3, шт	3 шт.
3.	Інвертор мережевий Huawei SUN2000-20KTL-M3, шт	1 шт.
4.	Сонячний фотоелектричний модуль SOLAR MODULE 415TSM-DE09R.05, шт	3 шт.
5.	Сонячний фотоелектричний модуль SOLAR MODULE RSM110-8-540m, шт	162 шт.
6.	Фотоелектричний модуль Longi LR7-72HGD-600M, шт	36 шт.
7.	Трансформатор струму TA327 32,5x10,5 (d=27мм.) 400/5A (кл.0,5=10BA), шт	4 шт.
8.	Трансформатор струму TA327 32,5x10,5 (d=27мм.) 400/5A (кл.0,5S=8BA), шт	4 шт.
9.	Автоматичний вимикач e.industrial.ukm.100SL.100, 3р, 100A, шт	1 шт.
10.	Автоматичний вимикач e.mcb.PRO.60.3.K 80, шт	1 шт.
11.	Шафа удароміцна з АБС-пластика e.plbox.300.400.195.blank, 300x400x195мм, IP65, шт	3 шт.
12.	Захисний щит по змінному і постійному струму	3 шт.
13.	Серверна шафа (+ 5 стаціонарних полиць)	1 шт.
14.	Обмежувач перенапруги ETITEC C T2 275/20 (4+0), 20kA, клас II, 4р, шт	1 шт.
15.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 black, м	1000
16.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 red, м	500
17.	Кабель FTP 4x2x0,51AWG24, FINMARK, м	305
18.	Кабель КППЭ-ВП (100) 4*2*0,51 (F/UTP-cat.5E), 305м. Зовнішній, м	125
19.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 black, м	500
20.	Кабель KBE Solar DB + 6.00 red, м	500

Визначення типів та характеристик обладнання АСК СФЕС

11

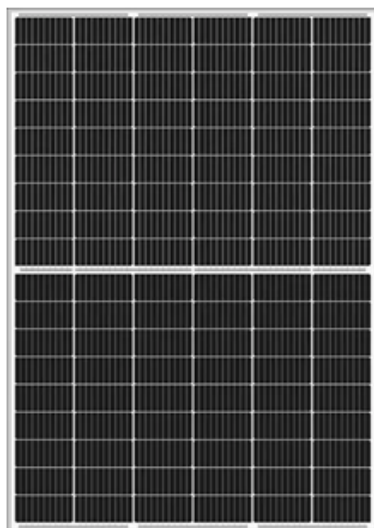


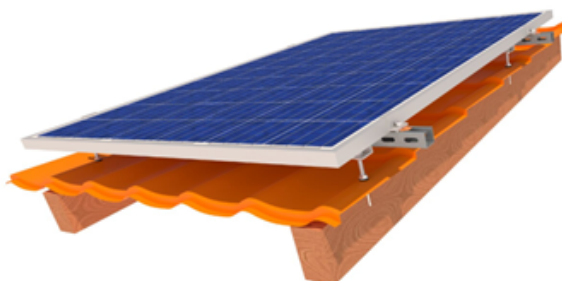
Рисунок 4.1 –
Монокристалічна сонячна
панель Jinko Solar JKM570N-
72HL4



Рисунок 4.4 – Сонячний
кабель KBE DB+ чорний, 6
mm²



Рисунок 4.2 – Аналізатор Smart meter Pilot
SPM33



Кріплення 24 P_v модуля
Stringsetter Zinc XI M24



Рисунок 4.6 – Кабельний з'єднувач Multi-
Contact MC4



Рисунок 4.3 – Інвертор Huawei
SUN2000-50KTL-M3



Рисунок 4.8 – Щит захисту AC/DC

Схема електрична принципова автоматичної системи керування генерацією СФЕС

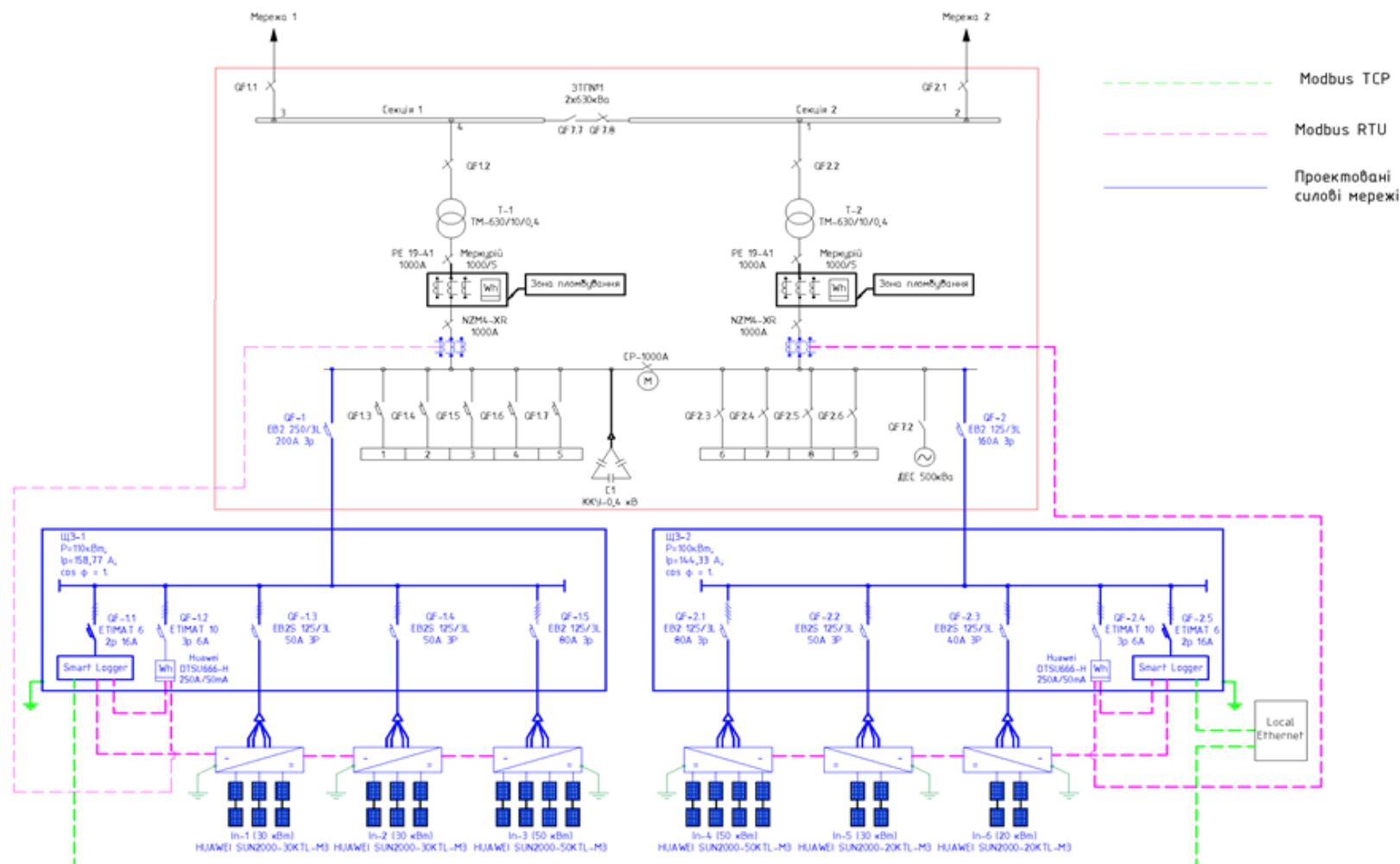


Схема включення Smart Logger

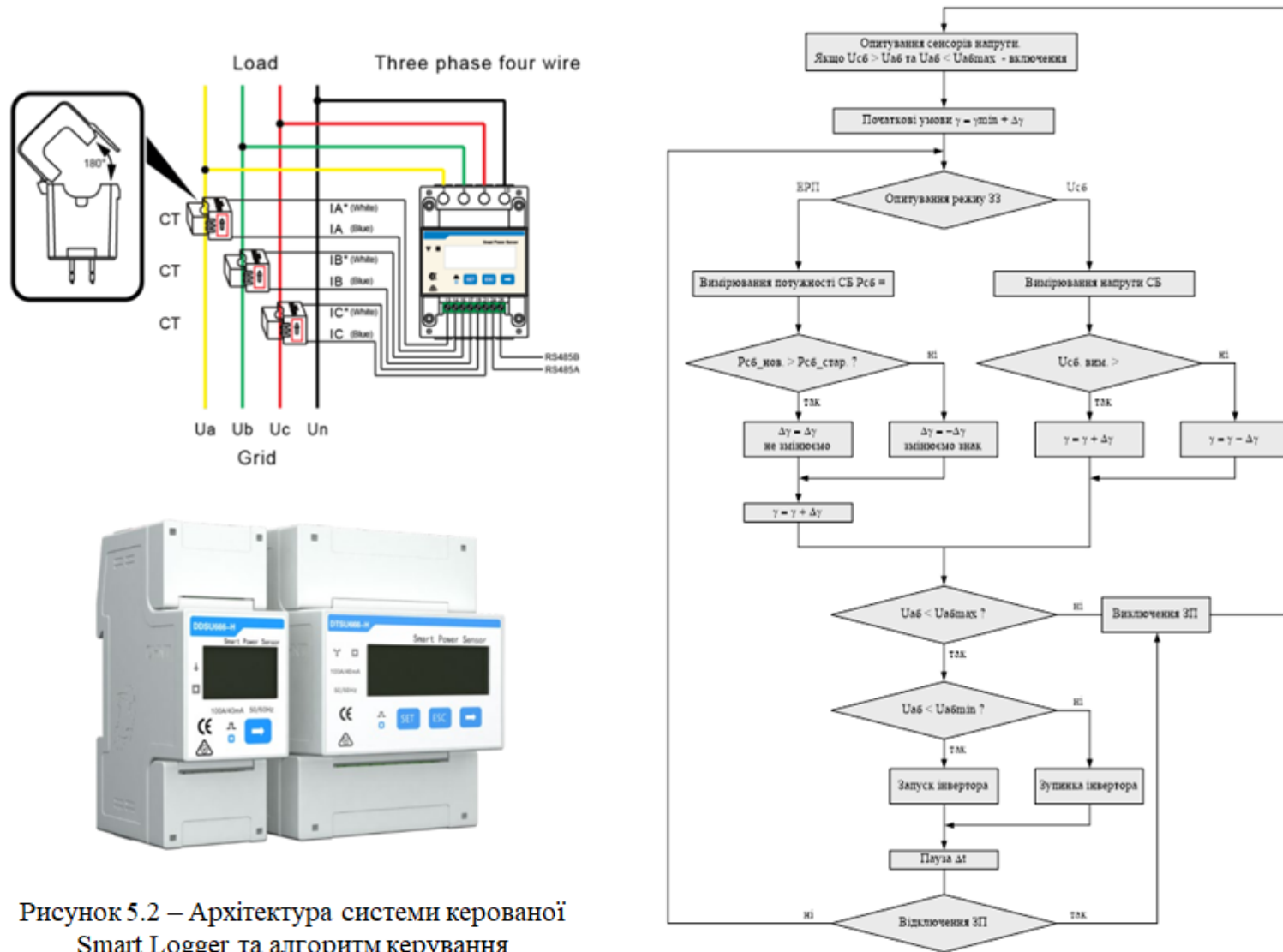


Рисунок 5.2 – Архітектура системи керованої Smart Logger та алгоритм керування



Рисунок 6.6 – Встановлення фотоелектричних модулів типу JKM570N-72HL4



Практична реалізація АСК СФЕС

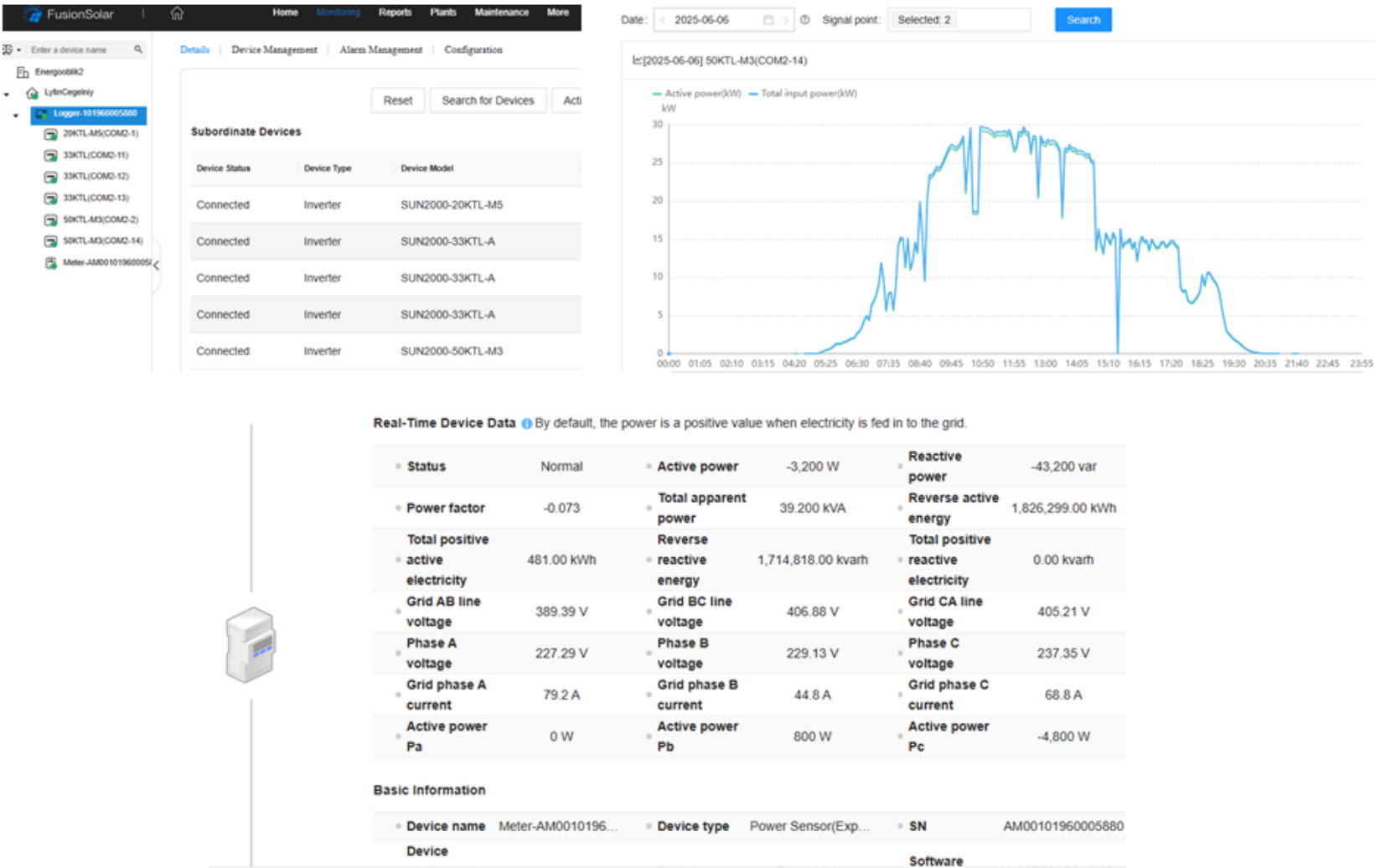


Рисунок 6.7 – Захисна шафа розподільчих кіл постійного та змінного струму



Рисунок 6.8 – Підключення інверторів Huawei SUN2000-50KTL-M3 та шафа керування

Система моніторингу АСК генерацією



Real-Time Device Data ⓘ By default, the power is a positive value when electricity is fed in to the grid.

• Status	Normal	• Active power	-3,200 W	• Reactive power	-43,200 var
• Power factor	-0.073	• Total apparent power	39.200 kVA	• Reverse active energy	1,826,299.00 kWh
• Total positive active electricity	481.00 kWh	• Reverse reactive energy	1,714,818.00 kvarh	• Total positive reactive electricity	0.00 kvarh
• Grid AB line voltage	389.39 V	• Grid BC line voltage	406.88 V	• Grid CA line voltage	405.21 V
• Phase A voltage	227.29 V	• Phase B voltage	229.13 V	• Phase C voltage	237.35 V
• Grid phase A current	79.2 A	• Grid phase B current	44.8 A	• Grid phase C current	68.8 A
• Active power Pa	0 W	• Active power Pb	800 W	• Active power Pc	-4,800 W

Basic Information

• Device name	Meter-AM0010196...	• Device type	Power Sensor(Exp...	• SN	AM00101960005880
Device		Software			

Рисунок 6.8 – Моніторинг режимів роботи сонячної мініелектростанції

ВИСНОВКИ

У ході дослідження було виконано такі основні завдання:

1. Проведено аналіз ключових напрямків розвитку сонячної енергетики в Україні та класифікацію типів сонячних електростанцій.
2. Виконано огляд існуючих автоматизованих систем керування генерацією на сонячних фотоелектричних станціях, включаючи принципи їх роботи, характеристичні особливості, порівняння доступних рішень та аналіз критеріїв вибору.
3. Здійснено підбір фотомодулів, інверторів і пристроїв управління для забезпечення оптимального функціонування системи керування СЕС із врахуванням нульового експорту електроенергії.
4. Розроблено схему підключення та автоматизовану систему управління сонячною електростанцією, а також створено алгоритм керування, який забезпечує ефективну роботу СЕС із нульовим експортом електроенергії.

Підсумовуючи, можна стверджувати, що впровадження системи управління сонячною електростанцією є доцільним і необхідним заходом для підвищення енергетичної безпеки та продуктивності підприємства. Ці системи дозволяють автоматизувати процеси регулювання генерації електроенергії, що сприяє стабільності електропостачання та зниженню витрат. Використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної, підтримує сталий розвиток країни та охорону довкілля. Це дає змогу підприємствам підвищити енергетичну незалежність, оптимізувати ресурси та зменшити залежність від зовнішніх мереж, що є критично важливим для забезпечення безперервності виробничих процесів та уникнення втрат через перебої з електропостачанням.

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт

Тип роботи: бакалаврська кваліфікаційна робота

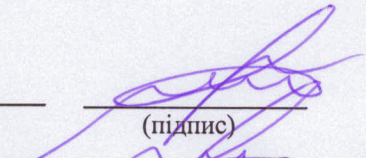
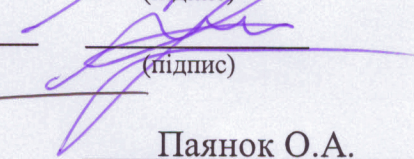
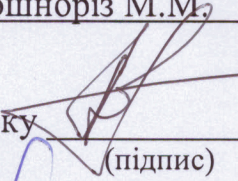
Підрозділ: кафедра КЕМСК, ФЕЕЕМ, гр. ЕМСА-216

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism 11,31%

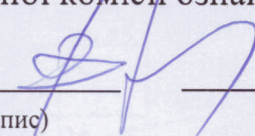
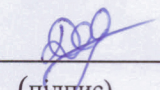
Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

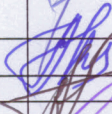
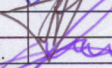
- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

<u>Зав. кафедри КЕМСК Мошноріз М.М.</u> (прізвище, ініціали, посада)	 (підпис)
<u>Гарант ОП Мошноріз М.М.</u> (прізвище, ініціали, посада)	 (підпис)
Особа, відповідальна за перевірку  (підпис)	<u>Паянок О.А.</u> (прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник  (підпис)	<u>Богачук В.В.</u> (прізвище, ініціали, посада)
Здобувач  (підпис)	<u>Амбрусевич Д.О.</u> (прізвище, ініціали)

					08-24.БДР.001.00.000			
Зм.	Арк.	№ докумен.	Підпис	Дата	Автоматизована система керування рівнем генерації промислової сонячної електростанції загальною потужністю 220кВт	Літ.	Маса	Масштаб
Розробив		Амбрусевич Д.О.		20.05				
Перевірів		Богачук В.В.		20.05				
Т конр.								
Одзначено		Гладенко		20.06		Аркуш		Аркушів
Норм.кон.		Павлюк		03.06		ВНТУ, гр. ЕМСА-216		
Затверд.		Мошноріз М.М.		03.06				