

**ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»**  
**Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій**  
**Кафедра електричної інженерії**

**«До захисту допущено»**

Завідувач кафедри

|             |                      |
|-------------|----------------------|
| _____       | <u>О. КОЛЛАРОВ</u>   |
| (підпис)    | (ініціали, прізвище) |
| «___» _____ | 2022 р.              |

**Кваліфікаційна робота**  
**бакалавра**

на тему Дослідження сучасних методів захисту мережевих фотоелектричних станцій.

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЛК-18

(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та

(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

|                                                                |          |
|----------------------------------------------------------------|----------|
| _____                                                          | _____    |
| <u>Даніїл Юрченко</u>                                          | (підпис) |
| (ім'я та прізвище)                                             |          |
| Керівник <u>ас. каф. «ЕлІн», Д. ОСТРЕНКО</u>                   | _____    |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) | (підпис) |
| Рецензент <u>Доц. каф. АТ, к.т.н., доц. Поцєпаєв Валерій</u>   | _____    |
| (посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) | (підпис) |

Нормоконтроль:

\_\_\_\_\_

(підпис)

О. ЛЮБИМЕНКО

Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

(підпис)

\_\_\_\_\_

(дата)

\_\_\_\_\_

(дата)

ЛУЦЬК – 2022 р.

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД**  
**«ДОНЕЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»**

Факультет машинобудування, електроінженерії та хімічних технологій

**Кафедра електричної інженерії**

Освітній ступінь: бакалавр

Спеціальність: електроенергетика, електротехніка та електромеханіка

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_  
(О. КОЛЛАРОВ )

«        » \_\_\_\_\_ 2022 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Даніїлові Юрченко

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Дослідження сучасних методів захисту мережевих  
фотоелектричних станцій.

керівник роботи Дмитро Остренко, ас. каф. «ЕлІн»  
(ім'я та прізвище, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від \_\_\_\_\_ № \_\_\_\_\_ 2

2. Строк подання студентом роботи 6 червня 2022 року

3. Вихідні дані до роботи: Передбачається виконати дослідження  
Фотоелектричної станції із номінальною потужністю 0.5–1 МВт, подана  
структура майбутньої електромережі, котра включає інвертор, контролер  
заряду, акумуляторну станцію, навантаження. Потужність номінальна однієї  
сонячної панелі становить  $P_{\text{ном}}=400(\text{Вт})$ ; напруга номінальна  $U_{\text{ном}}=34.39(\text{В})$ .  
В дипломній роботі передбачається зробити аналіз фотоелектричних панелей  
станції, котрі знаходяться у Хмельницькій області.

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

1. Функціональний аналіз фотоелектричних модулів. Дослідження впливу  
зовнішніх факторів, котрі впливають на модель ФМ, різновиди з'єднання ФМ.

2. Аналіз роботи та вибір обладнання мережевої фотоелектричної станції.

3. Вибір системи захисту, навчання та подальше налагодження штучного  
інтелекту. Порівняльний аналіз роботи захисної системи мережевої  
фотоелектричної станції

4. Методика захисту обладнання виконання питань із охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, якщо передбачається)

Представлені 11 слайдів у презентаційному матеріалі.

6. Консультанти розділів роботи

| Розділ         | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  |
|----------------|-------------------------------------------|----------------|------------------|
|                |                                           | завдання видав | завдання прийняв |
| Розділ 4.1–4.3 | Д. ОСТРЕНКО, ас. каф.                     |                |                  |
| Розділ 4.4     | О. КОЛЛАРОВ, зав. каф.                    |                |                  |
|                |                                           |                |                  |
| Нормоконтролер | О. ЛЮБИМЕНКО, доц. каф.                   |                |                  |

7. Дата видачі завдання 27 квітня 2022 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів дипломного роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|-------|--------------------------------|-------------------------------|----------|
| 1.    | Розділ 1                       | 27.04–11.05.22                |          |
| 2.    | Розділ 2                       | 12.05–18.05.22                |          |
| 3.    | Розділ 3                       | 19.05–25.05.22                |          |
| 4.    | Розділ 4                       | 27.05–06.06.22                |          |
| 5.    | Розділ 5 «Охорона праці»       | 02.06–06.06.22                |          |
|       |                                |                               |          |

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Даніїл Юрченко  
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитро ОСТРЕНКО  
(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Д. ЮРЧЕНКО, «Дослідження сучасних методів захисту мережевих фотоелектричних станцій.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2022 рік.

У спроектованій випускній дипломній роботі було виконано комплексні дослідження, що охопили тематику із методологічних та практичних прикладів покращення показників надійності та коефіцієнтів передачі енергії у мат. моделі, як окремих модулів фотоелектричних так і станції в цілому.

В роботі основна увагу приділена була обрані елементів, розробці та послідовного налаштування сучасної системи захисту фотоелектричної станції, яка має підключення та передає вироблену енергію у загальну мережу. Так проаналізувавши методи захисту сьогодення таких систем, стало зрозумілим, що поєднання штучних нейромереж для здійснення прогнозу із системами автоматики дає найбільше значення ККД із запропонованих для усієї електро мережевої системи.

В той же час практичні дослідження для початкове визначеного географічного місце розташування мережевої фотоелектричної станції (а саме Хмельницької області) виконувалося із впровадженням віртуального середовища для дослідження електричних перехідних процесів Matlab (для його версії R2021b), а також середовища моделювання роботи ФЕС – PVsyst (для його версії 7.1.15).

Ключові слова: СИСТЕМИ ЗАХИСТУ, PVSYST, ШТУЧНІ НЕЙРОМЕРЕЖІ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНІ МЕРЕЖІ, ПРОГНОЗУВАННЯ, МАТЛАВ, КОНТРОЛЛЕР ЗАРЯДУ, НАВАНТАЖЕННЯ, ІНВЕРТОР, ДАТЧИК ТЕМПЕРАТУРИ.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                    |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ                                                                                                          | 7  |
| ВСТУП                                                                                                                              | 8  |
| 1. АНАЛІЗ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ. ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ВИХІДНІ ВЕЛИЧИНИ МОДУЛІВ..                     | 12 |
| 1.1. Фотоелектричні модулі. Аналіз фізичних процесів, які протікають у них при генеруванні електрики. Основні складові компоненти. | 12 |
| 1.2 Вплив зовнішніх складових на роботу фотоелектричних модулів.                                                                   | 17 |
| 1.3 Методи поєднання поміж собою сонячних модулів у масиви. Конструкція ФЕС.                                                       | 20 |
| 1.4 Огляд методів запуску станції із фотоелектричними модулями.                                                                    | 25 |
| 2. РОЗРАХУНОК, ВИБІР ТА ПОБУДОВА МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.                              | 27 |
| 2.1 Вибір електричного обладнання для мережевої фотоелектричної станції.                                                           | 27 |
| 2.1.1 Обрання типу фотоелектричних модулів. Дослідження схеми заміщення.                                                           | 27 |
| 2.1.2 Вибір кількості фотоелектричних модулів.                                                                                     | 33 |
| 2.2 Вибір та методологія алгоритму роботи контролеру заряду.                                                                       | 35 |
| 2.3 Вибір кількості та схеми підключення інвертору.                                                                                | 41 |
| 3. ПРОЕКТУВАННЯ, НАЛАГОДЖЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ.                              | 43 |
| 3.1 Початкові дані для здійснення тренування системи захисту                                                                       | 43 |

|                                                                                                |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| ФЕС, яка включає в свій комплекс штучний інтелект.                                             |    |
| 3.2 Моделювання роботи групи фотоелектричних модулів.                                          | 46 |
| 4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ, КОТРА ВКЛЮЧАЄ ФМ ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ. | 54 |
| ВИСНОВКИ                                                                                       | 62 |
| СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ                                                                     | 64 |
| ДОДАТОК А .                                                                                    | 66 |
| ДОДАТОК Б .                                                                                    | 67 |
| ДОДАТОК В.                                                                                     | 70 |
| ДОДАТОК Г.                                                                                     | 72 |
| ДОДАТОК Д.                                                                                     | 74 |

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФП – фотоелектрична панель;  
АКБ – акумуляторна батарея;  
ЗС – зворотній струм;  
ДТ – датчик температури;  
СЗ – система захисту;  
ДС – датчик струму;  
ІІ – штучний інтелект;  
КР – контактне реле;  
ДО – датчик освітлення;  
СР – струмове реле;  
К.З. – режим роботи фотоелектричної панелі у короткому замиканні;  
ДН – датчик напруги;  
КрЗ – контролер заряду батареї;  
Х.Х. – режим роботи фотоелектричної панелі у холостому ході;  
ЗОМ – захисне обладнання мережевих;  
РР – режим роботи фотоелектричної панелі у робочому режимі;  
СЕ – сонячний елемент.

## ВСТУП

Об'єктом, котрий досліджується під час виконання роботи виступає мережева фотоелектрична станція (особливо її частина генерація енергія у модулях), система захисту із штучним інтелектом, що містять експертну систему, базу даних із попередніми режимами, підсистему для виконання збору, аналізу та послідуячого виводу висновків (прогнозу) за режимами мережі.

Поставленою метою до наукового проекту є розробка і оптимізація інтелектуальних систем захисту мережевої фотоелектричної станції із залученням штучних нейромереж, які здатні надавати якісну оцінку, щодо майбутніх процесів у модулях. Також передбачається за допомогою ШІ здійснювати прогноз, відносно майбутніх режимів роботи станції та кількості генерованої енергії нею [2].

Штучний інтелект у найширшому значенні вказує на здатність електричної машини чи приладу, котрий містить образ штучних нейромереж застосувати такі ж функції, що характеризують й людське мислення. Термінологія штучного інтелекту також застосовувався і до комп'ютерних систем чи програм, здатних виконувати завдання, які є складніші, аніж просте програмування, хоча все ще далекі від сфери реальної думки. За [8] ШІ виступає частиною інформатики, котра займається проектуванням інтелектуальних комп'ютеризованих систем, котрі здатні демонструвати властивості схожі із інтелектом у людини. Декілька інтелектуальних обчислювальних технологій сьогодення стають у нагоді в якості альтернативних підходів до традиційних методів системи аналізу роботи електричної мережі або як компоненти інтегрованих безпосередньо до енергосистеми.

Про практичну значущість й доцільність злагодженої роботи штучного інтелекту разом із станцією із фотоелектричними модулями здатні говорити й отримані результати при такій методиці захисту мережі та відповідно відбору

енергії фотоелектричними модулями. Так середні коефіцієнти передачі потужності збільшується до 10-19,5%, якщо порівнювати із початковими параметрами цієї ж мережі. значення в цьому діапазоні залежить від декількох факторів і не в останню чергу від погодних умов, наприклад від температури нагрів поверхні модулів.

В електричних мережах ІІІ складаються із декількох гілок, а саме:

- експертні системи, які дозволяють інтерпретувати комп'ютерам дані, а також обирати варіанти дії зі списку альтернатив. Тут ЕОМ вирішує завдання згідно програм, які засновані на техніці, котра називається висновком на основі розроблених правил, де для здійснення обробки даних застосовуються заздалегідь встановлені системи правил.

- штучні нейронні мережі, даний вид штучного інтелекту виступає електричними аналогами біологічних нейронних мереж. Модель типового біологічного нейрона складається із лінійного активатора, за яким слідує нелінійна функція. Активаційна лінійна функція видає суму зваженого вхідного сигналу, тоді як нелінійна функція намагається уловити рівні сигналу суми. Таким чином, вихідний сигнал, вироблений за електричним нейроном є обмеженим (тобто, амплітуда обмежена). В задачах навчання вагові коефіцієнти й нелінійні активаційні функції в ШНМ проходять повний цикл адаптації та навчання.

- генетичні алгоритми виступають стохастичними алгоритмами, котрі імітують природний процес біологічної еволюції. Тобто такий метод виступає оптимальним вирішенням й технікою пошуку цього рішення для завдань заснованих на концепціях природного відбору, тобто, т.з. алгоритм «переможець отримає все». Такий алгоритм працює із сукупністю можливих вирішень проблеми (поставленого завдання), яка є фіксованого розміру та, які розвиваються за часом. Такі алгоритмічні методи знаходять широке застосування при вирішенні завдань із інтелектуального пошуку, машинного навчання й оптимізації.

– Нечітка логіка (FL), Нечітка логіка має справу із нечіткими наборами й логічними твердженнями для моделювання проблеми із точки зору людського міркування про реальний світ речей (тієї ж електростанції). Тут нечітка множина, на відміну від звичайних множин, включає у свій комплекс усі елементи універсальної множини області, проте із різними значеннями належності в діапазоні  $[0,1]$ . Варто відзначити, що звичайна множина має члени із значенням належності, котрі дорівнюють одиниці, та не враховує інші елементи універсальної множини, через те, що вони мають нульове значення.

– логічне програмування, даний вид штучного інтелекту застосовується більше для систем автоматики.

– комп'ютерний зір, цей вид здатен прогнозувати та розпізнавати майбутні режими електричної мережі за графічним аналізом діаграм та осцилограм.

– деякі різновиди гібридних систем, котрі є комбінаціями двох або більше видів штучного інтелекту

Запорукою до успішного проведення дослідження в дипломному проекті стало вирішення таких завдань та ключових етапів:

1. Дослідження впливу різних зовнішніх складових на загальні об'єми генерація електрики в частині мережевою станції, де перебувають фотоелектричні модулі. Обрання доцільних методів поєднання модулів у групи маж собою.

2. Вибір типологічних значень фотоелектричних модулів у мережевій станції, а разом із цим й таких важливих пристроїв, як акумуляторні батареї, інвертори та конвертори, контролери заряду, фільтри гармонік, із метою подальшого дослідження електричних функцій частини генерації станції.

3. Розробка, налагодження (або, у випадку із ІІІ, тренування) та подальша інтеграція у математичну модель захисної системи на базі штучного інтелекту, що виконує уточнений прогноз, щодо майбутніх режимів роботи енергосистеми.

4. Інтеграція, узгодження, налагодження та подальше дослідження роботи паралельної мережевої фотоелектричної станції, котра включає в свій склад реальні ФМ і віртуального штучного інтелекту [2,7].

Значимість практична від розроблених моделей, методологій й отриманих результатів полягає в тому, що через використання побудованих систем штучний інтелект, завчасно визначає майбутні режими та процеси в мережевої фотоелектричної станції, що дає змогу за отриманою інформацією виконувати предуправління.

Обсяг й структура виконаної дипломної роботи – випускна кваліфікаційна робота бакалавра складається зі 74 машинописних сторінок, у загальний зміст входять такі компоненти:

- Анотація.
- Вступ.
- Основні чотири розділи роботи;
- Висновки загальні за проведенням дослідженням.
- Перелік використаних джерел, що містить 9 найменувань.

Окрім цього проведена робота налічує також 5 додатків, 4 таблиці та 43 рисунків.

## 1. АНАЛІЗ ГЕНЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРИКИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИМИ ПАНЕЛЯМИ. ВПЛИВ РІЗНИХ ФАКТОРІВ НА ВИХІДНІ ВЕЛИЧИНИ МОДУЛІВ.

1.1. Фотоелектричні модулі. Аналіз фізичних процесів, які протікають у них при генеруванні електрики. Основні складові компоненти.

Кожний фотоелектричний модуль (чи панель) складається із десятків чи сотень сонячних (або фотоелектричних) елементів. Тож аби дослідити фізичні процеси у всьому модулі, можна звернутися до одного фотоелектричного елементу, оскільки там будуть протікати аналогічні процеси.

Тож власне окремий сонячний елемент виступає електронним пристроєм, котрий перетворює безпосередньо сонячне світло у електрику. Світло, котре падає на поверхню сонячного елементу, генерує як струм, так і напругу для виробництва електричної енергії в цілому. Такий процес потребує наступного:

1) матеріалу, у якому поглинання сонячного світла переводить електрон у стан із більш високою енергією.

2) переміщення такого електрона із підвищеної енергії із сонячної батареї(або окремого елемента) в зовнішній ланцюг (тобто на вихідне навантаження, котре й отримає живлення від ФП).

Після цього електрон свою енергію розсіює в зовнішньому колі та повертається назад до фотоелектричної батареї. Різноманітність процесів й матеріалів може потенційно задовольняти вимоги за фотоелектричним перетворення енергії, проте на практиці майже усі фотоелектричні перетворення енергії застосовують матеріали напівпровідникові подані в вигляді р-n-переходу.

Описаний вище процес перетворення енергії фотонів у електричну представлений на рис. 1.1

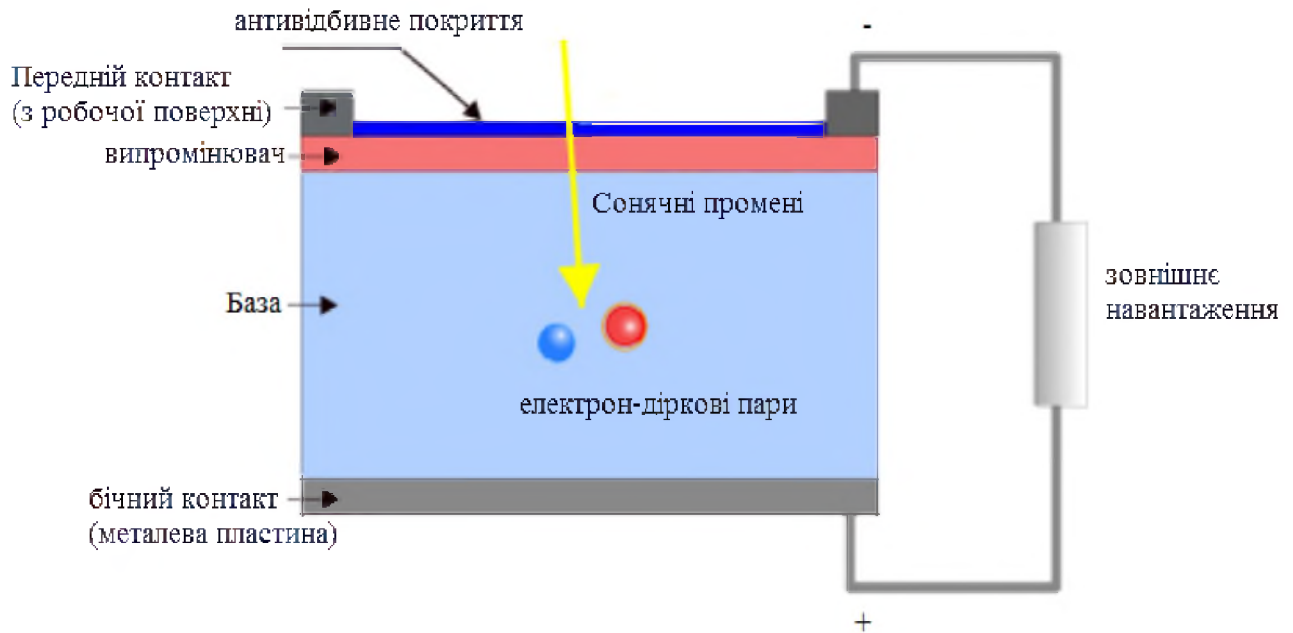


Рисунок 1.1 – Схематичне зображення принципу дії вироблення електрики у сонячному модулі

Так на рис. 1.1 представлений поперечний переріз фотоелектричного модуля.

Сонячне світло потрапляє першим у випромінювач. Сам випромінювач є зазвичай тонким для того, аби утримувати область втрати енергії поблизу місця, в якому поглинається сильно сонячне світло, а основу, як правило, виконують достатньо товстою, аби поглинати більшу частину сонячного світла.

Головними етапами у процесі роботи фотоелектричних модулів виступають:

- Генерування світлових носіїв;
- Збір генерованих сонячними променями переносів для створення струму;
- Генерація достатньої кількості напруги на фотоелектричному елементі (модулі);
- Потужність розсіювання у навантаженні та зовнішніх опорах.

Збір носіїв світла сам по собі не призводить до генерації електроенергії. Щоб виробляти електроенергію, потрібно створити струм та напругу. Напруга,

котра створюється на виході у фотоелектричному модулі за допомогою процесу, відомого у якості «фотоелектричного ефекту». В той же час збір генерованих за допомогою світлом носіїв при р-n-переході створює переміщення електронів на сторону шару n-типу, а дірок відповідно у шар переходу р-типу. За умови режиму короткого замикання накопичення заряду не відбувається, через те, що його носії виходять із пристрою у вигляді фотоелектричного струму.

Проте, за умови, що генерованим світлом носіям запобігти виходу фотоелектричної батареї, тоді збирання генерованих світлом носіїв здатні спричинити збільшення кількості електронів з боку шару n-типу із р-n-переходу та подібне й збільшення кількості дірок у шарі р-типу (див. рис. 1.1). Такий поділ за зарядами генерує електричне поле на стику, котре є протилежним до того тут існує, тим самим й знижуючи чисте електричне поле. Через те, що електричне поле виступає перешкодою для перебігу прямого струму дифузії на схемі зміщення, зниження електричного поля підвищує значення дифузійного струму. Тож тепер досягається нова рівновага, за якої на стику р-n-переходу виникає напруга. Струм від фотоелектричного модуля виступає різницею поміж прямим струмом у схемі зміщення й струмом навантаження. При умові розімкнутого ланцюга схеми прямого зміщення переходу, підвищується зона переходу до точки, де генерований світлом струм є збалансованим прямим дифузійним струмом зміщення, при цьому вихідний струм дорівнює нулю. Значення напруги, котре є необхідним для збалансування вище зазначених двох струмів, має назву «напругою розімкненого ланцюга».

Тож розглянувши три режими роботи – без світла, у точці короткого замикання та холостого ходу, було вирішено провести моделювання потоків носіїв заряду у фотоелектричному елементі в умовах відповідно:

- рівноваги (рис. 1.2);
- напруги розімкненого ланцюга (рис. 1.3);
- струму короткого замикання (рис. 1.4).

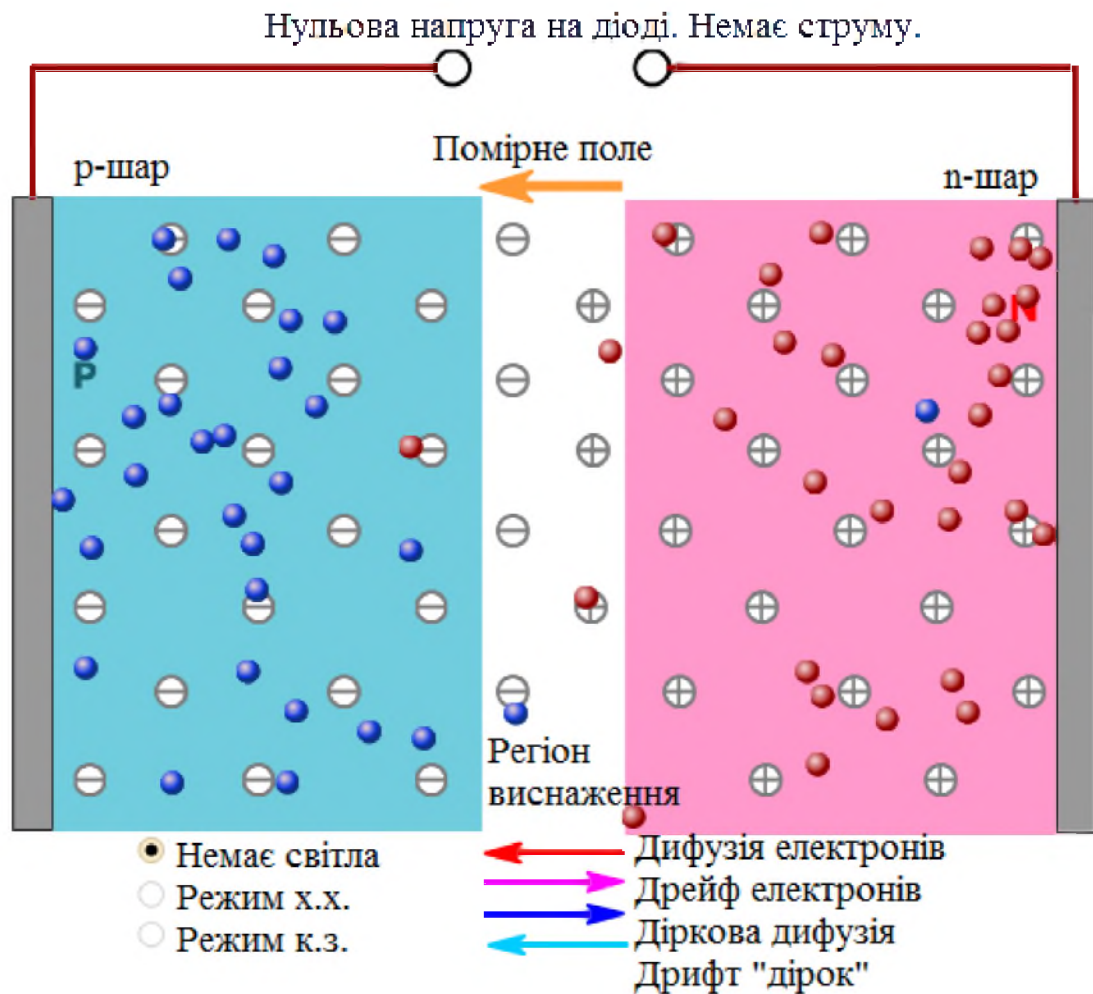


Рисунок 1.2 – Процеси, які протікають за ФЕ, коли відсутнє світло на робочій поверхні

Необхідно звернути увагу на різні значення величини струмів, які перетинають з'єднання.

У випадку рівноваги (тобто при темряві) як значення дифузійного, так і дрейфового струму є малим, цей процес представлено на рис. 1.2.

При умовах розімкнутого ланцюга (рижим х.х.), носії, котрі генеруються за рахунок світла, знижують швидкість переходу уперед, причому збільшуючи таким чином значення дифузійного струму. Оскільки протікання такого дрейфу та власне дифузійний струм мають протилежний напрямок, то вихідний струм від фотоелектричного модуля під час розімкнутому ланцюзі відсутній.

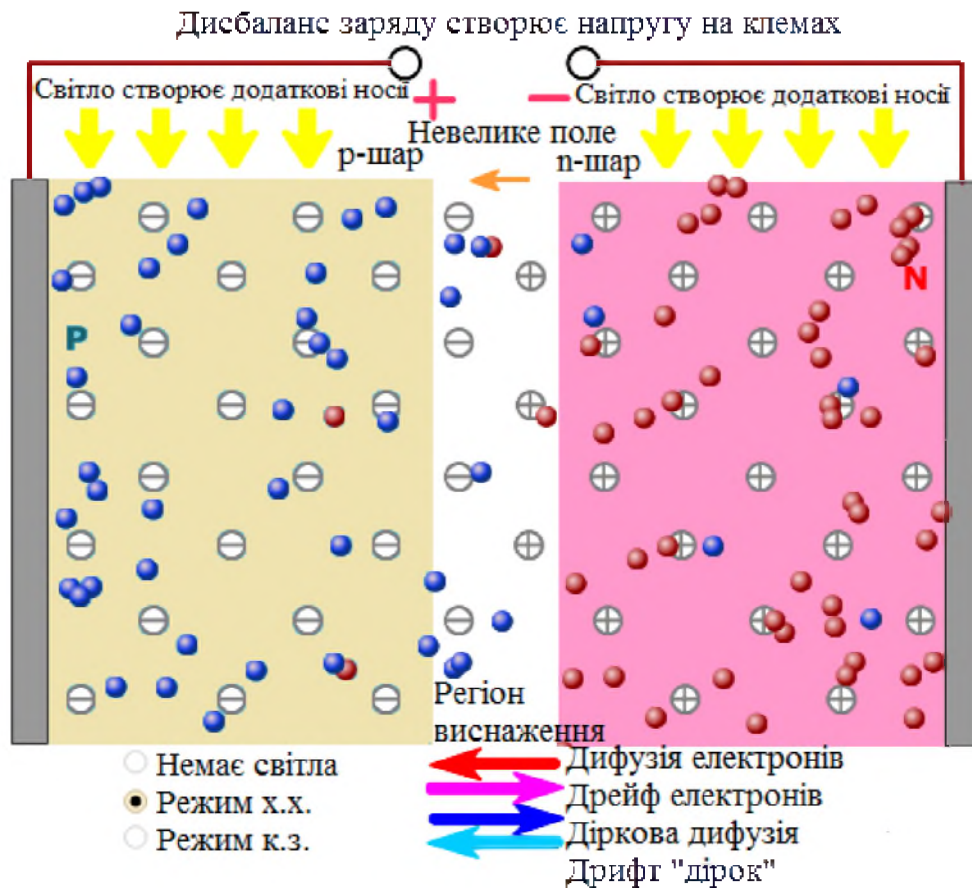


Рисунок 1.3 – Процеси, які протікають за ФЕ, у режимі х.х.

Під час виконання умов виникнення і протікання режиму короткого замикання у модулі, концентрація неосновних носіїв в р- та п-шарі, в зонах подалі від переходу, збільшується. В цей же момент величина струму дрейфу, котра залежить й від кількості неосновних носіїв також підвищується.

І ось нарешті оглянувши основні режими роботи фотоелектричного модулю та протікання процесу фотоефекту на цих етапах можемо підсумувати, що передумовами для появи та зберігання фотоелектричного ефекту в елементах фотоелектричної панелі полягають у наступних положеннях:

- Сонячні промені(освітлення) має бути поглинене власне твердим тілом.
- У самому напівпровідниковому матеріалі (елементів панелі) носії заряду поміж собою розділені за допомогою зони переходу [3].

- Результатом процесу поглинення ФЕ сонячної енергії виступають вільні носії заряду.
- Для отримання вихідного струму потрібна наявність електричних контактів у верхній й нижній частині напівпровідника [5].

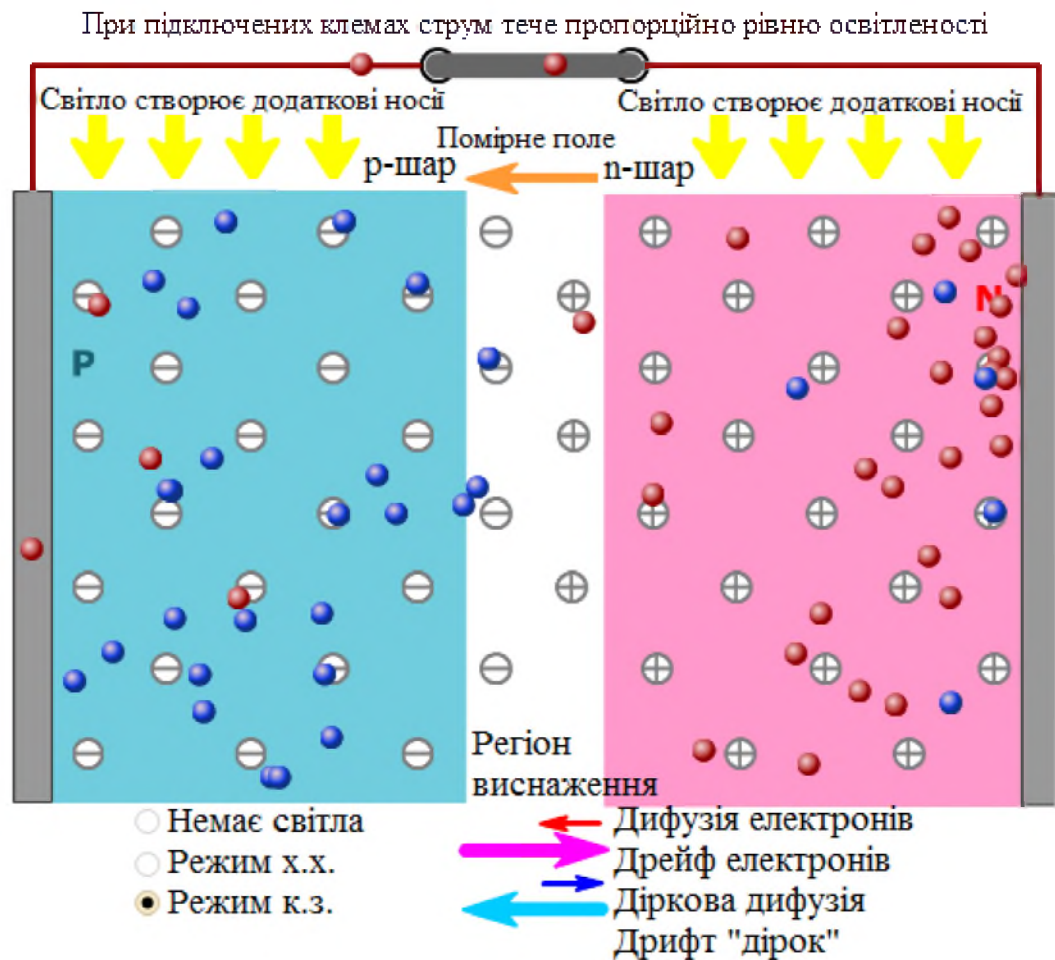


Рисунок 1.4 – Процеси, які протікають за ФЕ, у режимі к.з.

## 1.2 Вплив зовнішніх складових на роботу фотоелектричних модулів.

Як відомо [3,5-7], основним впливом у роботі будь-якої станції (і мережевої і розподільної) із фотоелектричними модулями є освітленість власне робочої поверхні модулів та їх температура. Більш детально ці два впливу будуть досліджуватися у розділі 2, безпосередньо при моделювання. Цей підрозділ має за мету висвітлити ті складові, які на перший погляд здаються другорядними, однак без яких модель станції із фотоелектричними модулями

не буде мати уточненої складової географічного положення, де власне й розташовується електрична мережа.

Так, кут поміж фіксованим місцем на Землі та сонячними променями залежить від певного місця розташування (довготи розташування), часу доби й пори року. Окрім цього, час заходу та сходу залежить й від довготи місця. Тож для повного моделювання кута сонця до фіксованого положення на Землі потрібні широта, довгота, день року та час доби.

Відразу аби розглядати теоретичні положення із користю для виконуваної наукової роботи, будемо за завданням до дипломного проекту, досліджувати роботи модулів мережевої ФЕС для Хмельницької області, а відповідно й враховувати потрібні географічні фактори.

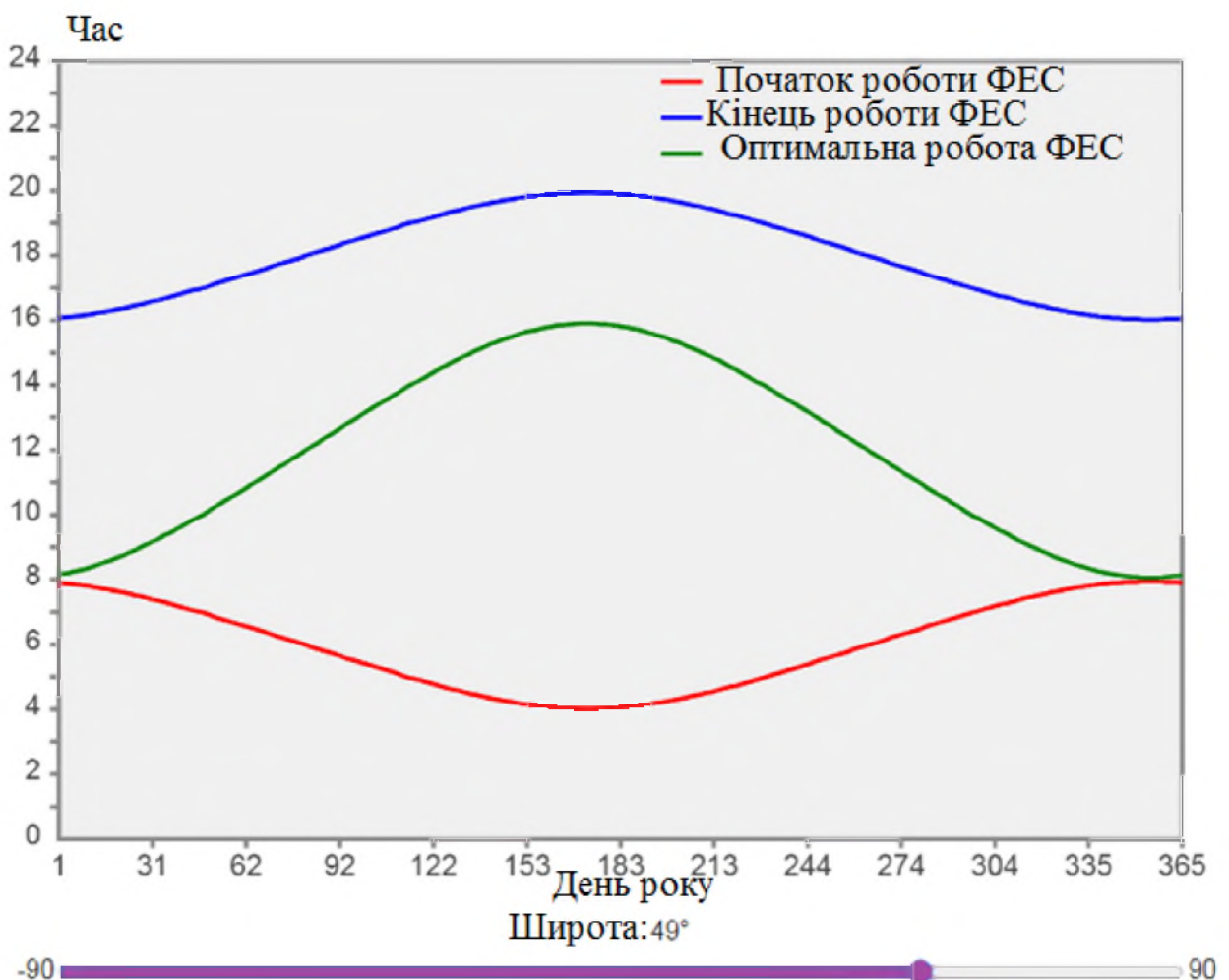


Рисунок 1.5 – Залежність середньодобового значення генерації потужності модулями (для Хмельницької області), від широти географічної

Так за допомогою дослідження рис. 1.5 були отримані годи роботи модулів протягом року, тобто, коли сонячна станція здатна видавати вихідну потужність.

#### Пряме випромінювання

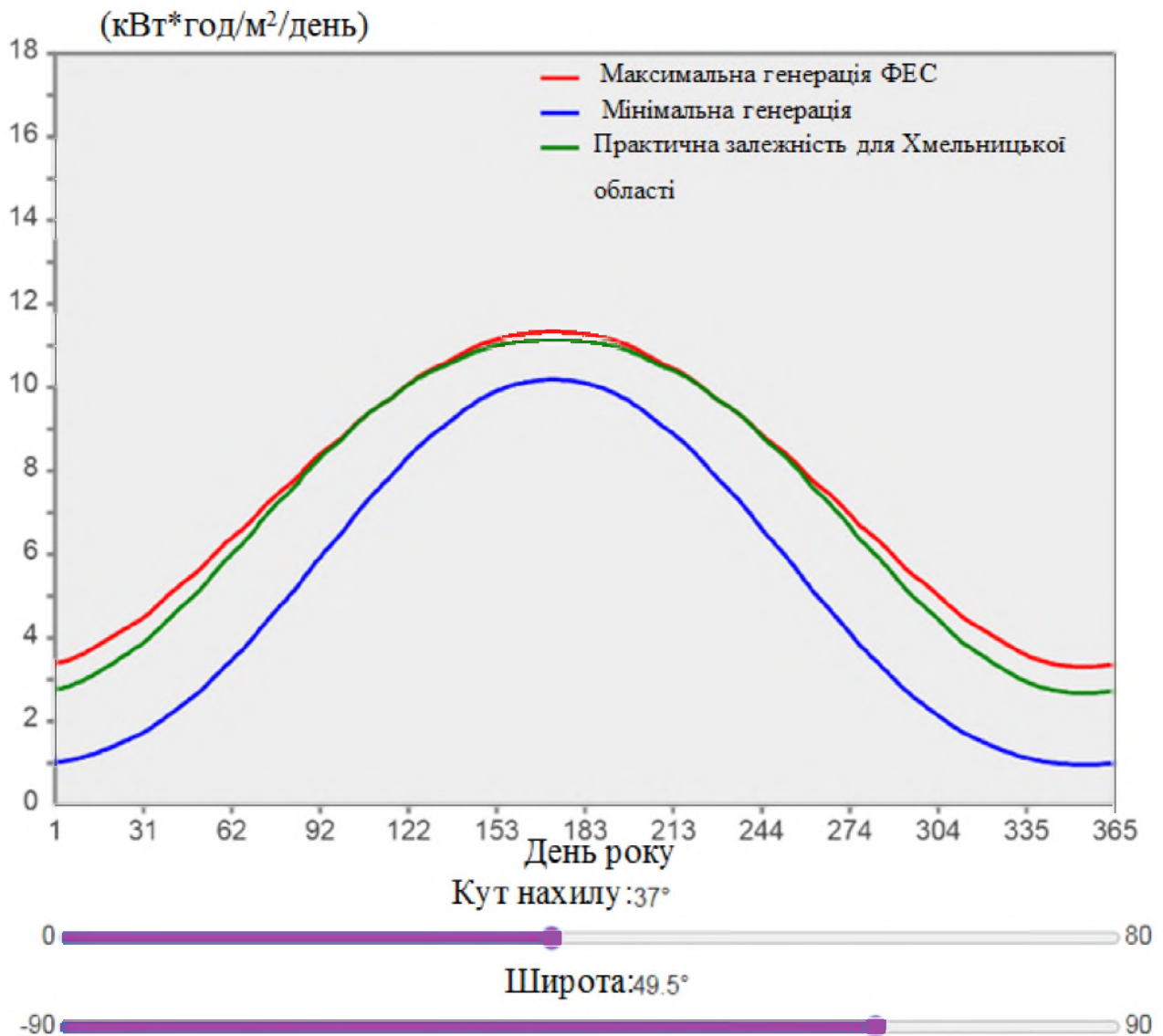


Рисунок 1.6 – Залежність середньодобового освітленості модулів (для Хмельницької області), від широти географічної

А завдяки рис. 1.6 було встановлено що найкращим(для генерування максимуму електрики), для Хмельницької області є кут повороту модулів  $\beta=37^{\circ}$ .

Значення цього кута має великий вплив на кількість енергії, котру отримує сонячний колектор. Коли сонячні промені перпендикулярні до поглинаючої поверхні, величина щільності потужності на поверхні дорівнює значенню щільності падаючої енергії. Проте зі зміною кута поміж променями та поверхнею, котра їх поглинає, тож й інтенсивність на поверхні зменшується. Коли сонячний модуль є паралельним до сонячних променів (а кут до нормалі сонячного модуля складає  $= 90^\circ$ ), значення інтенсивності світла падає практично до нуля. Для кутів проміжних відносна щільність потужності дорівнює  $\cos(\theta)$ , де значення  $\theta$  виступає кутом поміж сонячними променями й нормаллю самого сонячного модуля.

### 1.3 Методи поєднання поміж собою сонячних модулів у масиви. Конструкція ФЕС.

Здебільшого можливо застосування всього трьох видів поєднання фотоелектричних модулів між собою, у якості четвертого типу з'єднання можна розглядати динамічне, коли тип поєднання змінюється у процесі перемикавання контакторів (застосовується дуже рідко, тому що область застосування такого методу дуже обмежена та здебільшого вимагає більших витрат під час побудови).

Першим розглянутим видом, буде виступати паралельне поєднання поміж собою фотоелектричних модулів. Під час такого типу значення вихідного струму ( $I_{\Phi.M.}$ ) модуля виступає пропорційно до кількості панелей ( $n_{П.Ф.М.}$ ), при такому ж поєднанні значення напруги ( $U_{\Phi.M.}$ ) буде мати постійну величину.

$$\begin{cases} I_{\Phi.M.} = n_{П.Ф.М.} \cdot I_{\Phi.M.} \\ U_{\Phi.M.} = U_{\Phi.M.} \end{cases} \quad (1.1)$$

Другом типу з'єднання фотоелектричних модулів виступатиме послідовне з'єднання ( $n_{П.Ф.М.}$ ). Під час даного типу з'єднанні величина вихідної напруги є прямо пропорційної до кількості модулів і при цьому модулі будуть мати постійне струмове значення.

$$\begin{cases} I_{в.Ф.М.} = I_{Ф.М.} \\ U_{в.Ф.М.} = n_{П.Ф.М.} \cdot U_{Ф.М.} \end{cases} \quad (1.2)$$

Третім типом з'єднання поміж собою фотоелектричними модулями виступає один із найрозповсюджених виглядів – змішаний. Це обумовлено тим, що й струм і напруга модулів з'єднаних у групи тільки послідовно чи паралельно чи не видають потрібного показника напруг або струму відповідно. У тих випадках, коли це й стосується окремих комірок ФП з яких й складається фотоелектричний модуль.

Під час такого типу з'єднання, показники і вихідного струму й напруги прямо пропорційною залежить від з'єднаних модулів, перше значення від кількості паралельних ( $n_{П.Ф.М.}$ ), а друга від послідовних ( $n_{П.Ф.М.}$ ).

$$\begin{cases} U_{в.Ф.М.} = n_{П.Ф.М.} \cdot U_{Ф.М.} \\ I_{в.Ф.М.} = n_{П.Ф.М.} \cdot I_{Ф.М.} \end{cases} \quad (1.3)$$

На рис. 1.7 зображено (подковано модель у програмному комплексі Matlab) усі три розглянуті групи видів поєднання модулів.

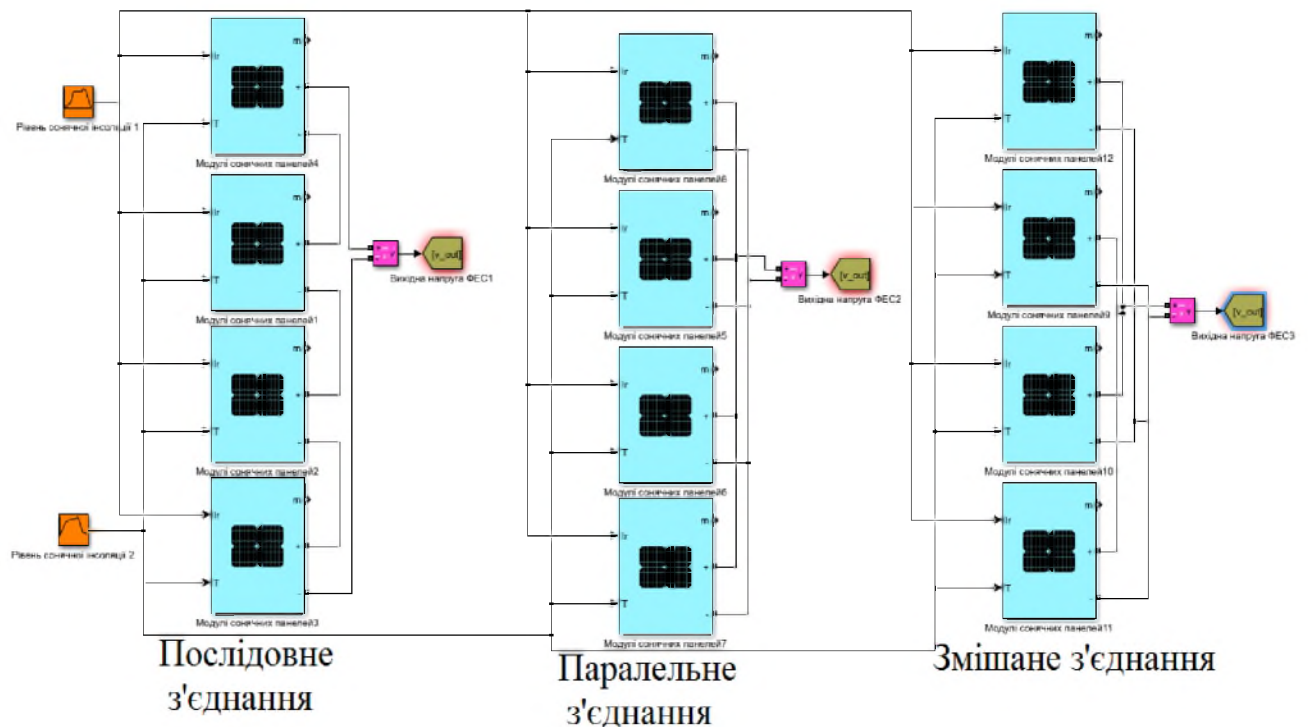


Рисунок 1.7 – Три групи видів з'єднання фотоелектричних модулів між собою

Також за моделлю рис. 1.7 були побудовані вольт-амперна характеристика одного модулів, а також відповідно під різних типів з'єднань модулів

Незалежно від обраної із трьох схеми з'єднання модулів перед їх підключенням обов'язково варто перевірити вірність виконаного електромонтажу.

Під час підключення модулів не рекомендується перевищувати технічні параметри та вимоги, щодо номінально допустимих струмів й максимально допустимої напруги інших пристроїв електромережі. При дотриманні зазначених за паспортом виробника технічних вимог інвертора та контролеру заряду унеможливить виникнення аварійних випадків, які спричинені перевантаженням обладнання.

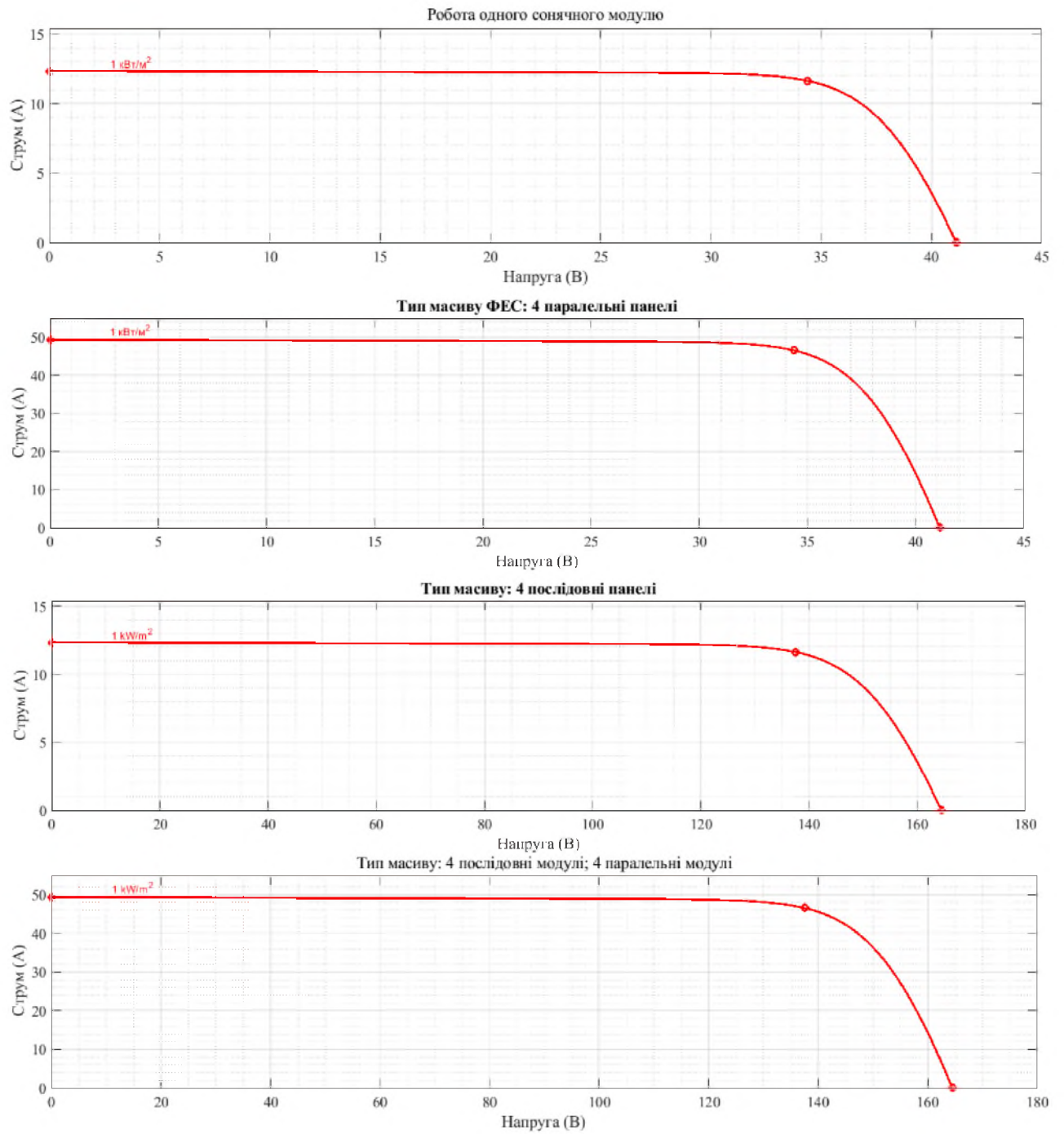


Рисунок 1.8 – Вольт-амперна характеристика одного модулів та при різних типах з'єднання

Також на рис. 1.8 була висвітлена функціональна потужність одного модуля та при різних типах поєднання (моделі рис. 1.7) модулів.

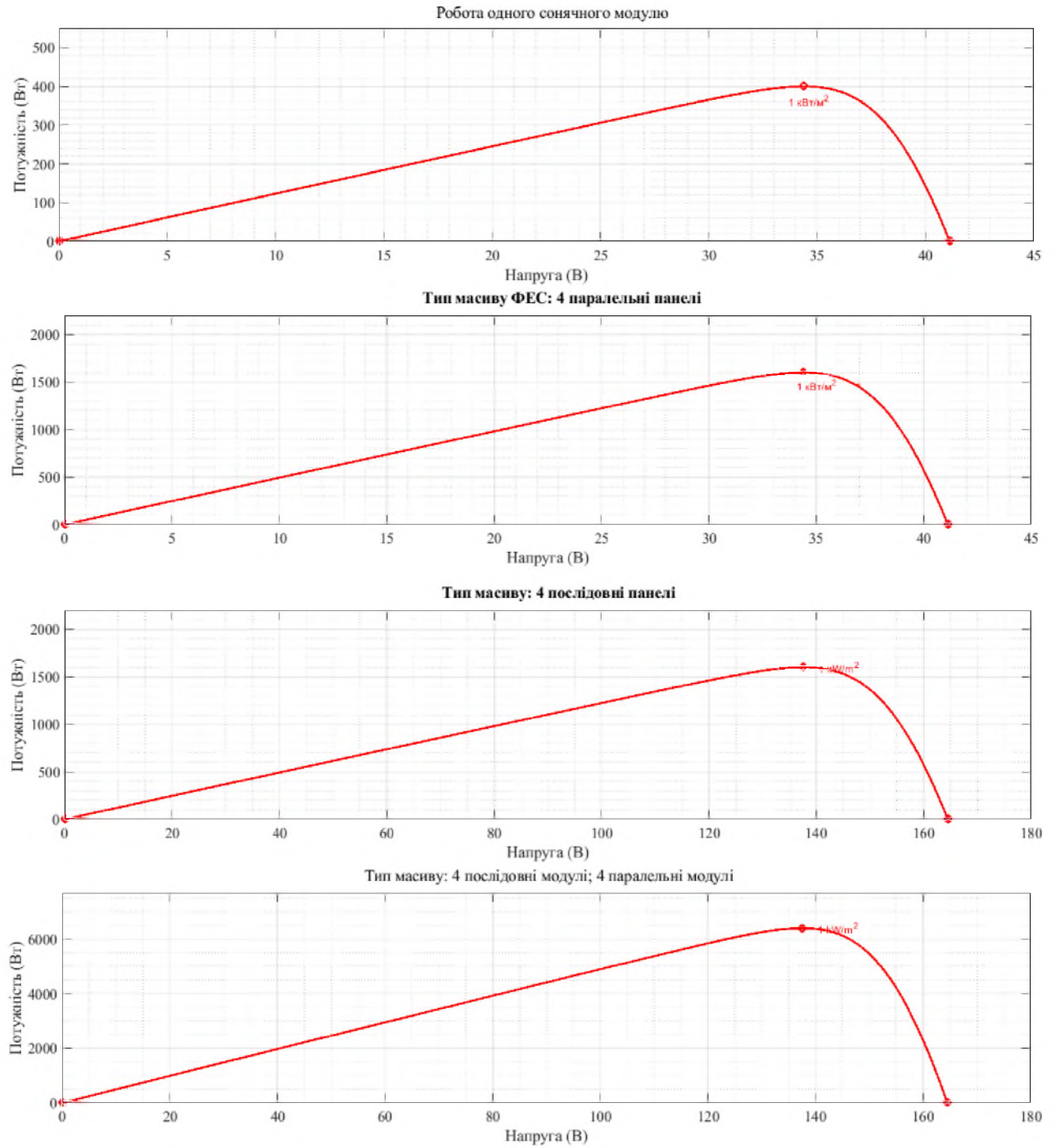


Рисунок 1.9 – Функціональна потужність одного модуля та при різних типах поєднання

#### 1.4 Огляд методів запуску станції із фотоелектричними модулями.

Важливо виконати методи, котрі унеможлиблювали б початкову помилку, яка може розвинути аварійну ситуацію. Тож перед усім варто звернути увагу на монтажні роботи, котрі виконують у декілька етапів:

1) Акумуляторні батареї, котрі об'єднані в акумуляторну станцію варто підключати до контролера заряду, при цьому задіявши відповідні входи та виходи, при цьому також необхідно дотримуватися відповідні полярності усіх приладів.

2) До контролеру заряду через відповідні роз'єми під час дотримання однією полярності приєднують й фотоелектричні модулі..

3) До роз'єму контролеру заряду, для сигналізації, щодо наявності вихідної напруги, можна підключати навантаження, наприклад  $U_{\text{НАВ}} = 12(\text{В})$ .

Коли варто виконувати перетворення напругу 12– 220 (В), тоді у схему електричну вмикають інвертор. Далі підключають й до акумулятора, що з'єднаний із контролером заряду, проте у жодному разі не варто безпосередньо із контролером.

Треба підключити електричні приладу до виходу вільного інвертора, котрі розраховані на значення вихідної напругу 220 (В).

Під час виконання завершального етапу фотоелектричні модулі потрібно виконати заземлення. Аби мінімізувати ймовірність виникнення короткого замикання, у місцях поєднання поміж акумулятором контролером заряду та інвертором необхідно встановлювати запобіжники.

Виконуючи послідовно схему монтажу фотоелектричних модулів, аби не знижувати ефективності у роботі приладів, усі моделі спільного ланцюга варто розмішувати за одним значення кута (обраного за рис. 1.6) та на площині одного рівня.

При умові, що модулі будуть розташовані у різних площинах, може статися, що модулі будуть освітлюватися нерівномірно і деякі будуть

працюватиме потужніше за інших, а при спільному з'єднанні таких модулів, як правило відбувається зрівняння у менший бік – струму чи напруги.

Це також призведе й до небезпечного ефекту – адже більш освітлені модулі будуть генерувати більшу електрику, і частина якої піде на нагрів панелей із нижчим рівнем генерації. Все через те, що струм потече при такому з'єднанні за шляхом найменшого опору. І тоді аби мінімізувати витрати, для кожного модуля слід використовувати додатковий контролер, окремо.

Вирішити це питання можна й через застосування т.з діодів, котрі роблять відсікання . Тоді їх варто розмістити всередині поміж пластинами модулів. Завдяки такому рішенню, модуль із максимальним показником потужності, не перегрівається.

## 2. РОЗРАХУНОК, ВИБІР ТА ПОБУДОВА МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ ТА ЇЇ ОСНОВНОГО ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ.

### 2.1 Вибір електричного обладнання для мережевої фотоелектричної станції.

Даний підрозділ ставить за мету обрати основне обладнання для мінімального функціонування мережевої фотоелектричної станції, схему, якої представлена на рис. 2.1, для того аби: по-перше мати основу для розробки і послідууючої інтеграції захисного обладнання; по-друге промоделювати роботу реальної станції із фотоелектричними модулями.

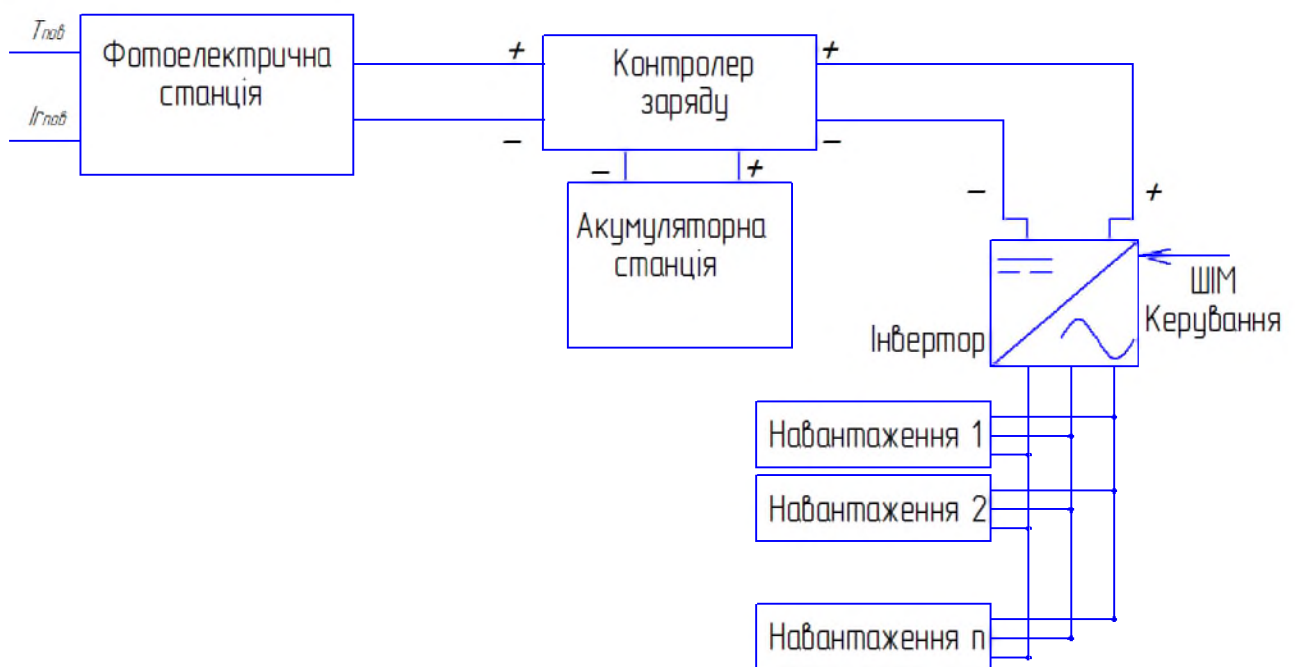


Рисунок 2.1 – Структурна схема мережевої фотоелектричної станції

#### 2.1.1 Обрання типу фотоелектричних модулів. Дослідження схеми заміщення.

По-перше необхідно визначити початкові (номінальні) дані для подальшого розрахунку однієї сонячної панелі (табл. 2.1), і надалі

використавши ці дані визначити із загальною кількістю модулів усієї майбутньої станції.

Таблиця 2.1 – Номінальні дані однієї сонячної панелі

| Назва параметру                     | Значення та одиниця виміру |
|-------------------------------------|----------------------------|
| Номінальна потужність               | 400 (Вт)                   |
| Тип кристалу                        | Монокристал                |
| Клас фотоелектричного модуля        | A                          |
| Напруга при максимальній потужності | 34.39 (В)                  |
| Напруга холостого ходу              | 41.12 (В)                  |
| Струм при максимальній потужності   | 11.64 (А)                  |
| Струм короткого замикання           | 12.34 (А)                  |
| Кількість елементів у панелі        | 120 (шт.)                  |
| Розміри сонячної батареї (мм)       | 1754x1096x30 (мм)          |
| Рама                                | Анодований алюміній        |
| Вага                                | 21 (кг)                    |

Так за рис. 2.2 стає зрозумілим, яку еквівалентну схему заміщення було обрано в дипломному проекті, із метою виконання послідуючого будування математичної моделі.

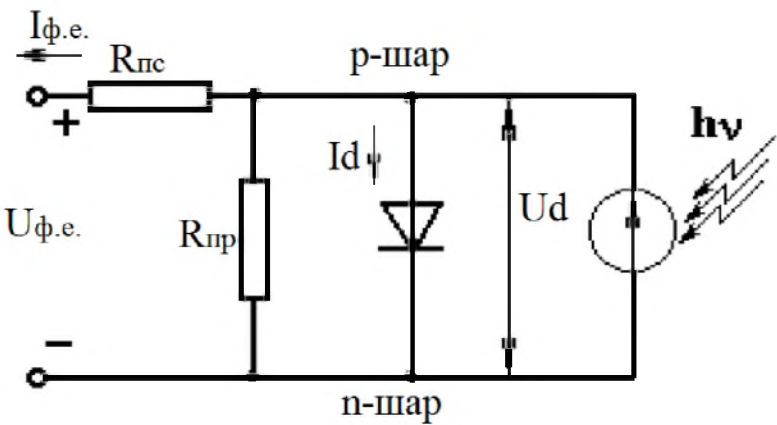


Рисунок 2.2 – Схематичне зображення для виконання заміщення  
фотоелектричної панелі

Опис до схематичного зображення заміщення фотоелектричної панелі (рис. 2.2) можливо здійснити через застосування такого математичного виразу:

$$U_{\phi.n.} = \frac{T_{абс} \cdot k_{\phi}}{q_3} \cdot \ln\left(1 + \frac{I_{\phi.c.}(Ir) - I_{\phi.n.}}{I_{зв}}\right) \quad (2.1)$$

$$I_{\phi.n.} = I_{\phi.c.}(Ir) - I_{об.н} \cdot e^{\left(\frac{U_{\phi.n.} \cdot q_3}{T_{абс} \cdot k_B} - 1\right)},$$

де:  $-I_{\phi.n.}$  – вихідний струмовий показник фотоелектричної панелі, котрий протікає за навантаженням (А);

–  $q_3 = 1.61 \cdot 10^{-19}$  (Кл) – постійне, табличний показник заряду електрону;

–  $T_{абс}$  – абсолютний показник температури на поверхні сонячної панелі ( $C^0$ );

$Ir$  – поточне значення освітленості сонячними променями поверхні фотоелектричної панелі ( $Вт/м^2$ ). Взагалі цей параметр повинен визначитися для кожної панелі окремо, проте, якщо середні значення або окремої групи панелей мають схожу величину, тоді для спрощення розрахунків, можна прийняти єдине значення;

–  $k_{\phi} = 1.381 \cdot 10^{-23} \left(\frac{Дж}{К}\right)$  – показник постійної Больцмана (стала величина);

–  $U_{\phi.n.}$  – параметр вихідної напруги фотоелектричної панелі, котрий виступає, в свою чергу, вхідним значенням напруги для акумуляторної підстанції;

–  $I_{об.н}$  – параметр оберненого струму в режимі насичення фотоелектричної панелі (позначений на рис 2.1), який стає можливим визначити, як:

$$I_{об.н} = I_{ф.с.} \cdot e^{\left( \frac{(I_{пп} \cdot R_{пп} + U_{ф.н.}) \cdot q_s}{\gamma \cdot T \cdot k} - 1 \right)}, \quad (2.2)$$

- $I_{ф.с.}$  – значення неосновних носіїв у фотоелектричних елементах або параметр «фотоелектричний струм».
- $I_{пп}, R_{пп}$  – значення діючого відповідно струму та опору у паралельній до фотодіоду ланці (рис. 2.2).

$$I_{пп} = \frac{U_{ф.е.} + I_{пп} \cdot R_{пп}}{R_{пп}} \quad (2.3)$$

Вираз, котрий визначає вплив значення освітленості діючої на розглянуту поверхню фотоелектричного модуля (а зокрема на  $I_{ф.н.}$ ), представлений за (2.4).

$$I_{ф.н.} = I_{ф.н.}^{\prime} \cdot I_{r\partial}, \quad (2.4)$$

де:  $I_{ф.н.}^{\prime}$  – діючий показник рівня освітленості поверхні елемента.

Розглянувши роль паралельного опору в схемі заміщення слід вказати й мету, що виконує послідовний опір (на схемі заміщення –  $R_{пос}$ ). Він являє собою певну суму, котра складається зі різноманітних втрат всередині окремих фотоелектричних елементів (із яких і складається сонячна панель, в досліджуваній роботі, кожний модуль налічує 120 ФЕ).

Тож, якщо  $R_{\text{пос}}$  несе у собі втрати енергії всередині панелі, тоді слід зазначити, що вагомий їх внесок також дають:

- значення контактного опору між напівпровідниковим матеріалом панелі й контактами металевими.
- значення контактного опору, поміж задньої та передньої поверхонь ФП;

Фотоелектричний струм на резистивному шунті враховує втрати поміж генерованим струмом ФП та струмами витоку (2.4), а також струму, котрий протікає на фотодіоді (2.3), що й відображає:

$$I_{\text{ф.с.}} = (I_{\text{ф.н.}} - I_{\text{ПР}} - I_{\text{об.н.}}), \quad (2.5)$$

Ще одним фактором, на який варто звернути увагу виступає параметр «Вірогідності збору фотоелектричними панелями глобальної енергії», котра описує ймовірність того, що носій, котрий утворений через поглинання сонячних променів на певній ділянці приладу, буде зібрано через р-п-переходом а, отже, внести свій внесок у генерований світлом струм, проте ця вірогідність залежить від величини відстані, на котрій світло генерується, тоді носій повинен рухатися порівняно із дифузійною довжиною. Вірогідність збору також залежить й від параметрів та властивостей поверхні модулів. Вірогідність збору носіїв заряду, котрі генеруються у області виснаження (рис. 1.2 – 1.4), дорівнює одиниці, через те, що пара «електрон-дірка» дуже швидко «розмітається» завдяки електричному полю. Вже було відмічено у першому розділі, що подалі від перетину вірогідність збору падає. За умови, що носії генеруються на певній відстані, яка більше за дифузійну довжину від переходу, тоді й вірогідність збору таким носієм є досить низькою. За аналогією, якщо генерується носій заряду ближче до такого переходу, як поверхня із вищим показником рекомбінації, ніж під час переходу, тоді й носії будуть рекомбінувати.

Для модулів із рівномірним легуванням та різким переходом вірогідність збору сонячної енергії визначається за рівнянням:

$$C_p = \cosh\left(\frac{x}{L}\right) - \frac{\left(\sinh\left(\frac{W}{L}\right) + \frac{L \cdot S}{D} \cosh\left(\frac{W}{L}\right)\right) \cdot \sinh\left(\frac{x}{L}\right)}{\cosh\left(\frac{W}{L}\right) + \frac{L \cdot S}{D} \sinh\left(\frac{W}{L}\right)} \quad (2.6)$$

де:  $L$  – значення довжини дифузії неосновних носіїв заряду у (см),

$W$  – ширина (чи товщина) шару.

$D$  – значення дифузії неосновних носіїв у ( $\text{см}^2/\text{с}$ ),

$S$  – показник швидкості поверхневої рекомбінації в ( $\text{см}/\text{с}$ ),

$x$  – виступає величиною відстані поміж місцем з'єднання. Для випромінювача ( $x$ ) починається із максимуму на поверхні модуля та спадає до нуля на краю самого з'єднання:

Тоді наведене у виразі (2.7) спрощується до:

$$C_p = e^{\frac{-x}{L}} \quad (2.7)$$

Показано на рис. 2.3 вплив поверхні та довжини дифузії на вірогідність збору енергії обраними сонячними модулями.

Вірогідність збору у поєднанні за швидкістю генерації у сонячному модулі визначають струм, котрий генерується світлом від сонячного модуля. Струм, котрий генерується світлом є інтеграцією за всієї товщиною пристрою швидкості генерації у певній точці модулю, помноженої на вірогідність збору у цій точці. Вираз для визначення щільності струму, котрий генерується світлом ( $J_L$ ), за довільною швидкістю генерації ( $I_r(x)$ ) та вірогідністю збору ( $C_p(x)$ ), показано у (2.7), як і величина швидкості генерації у кремнії.

$$J_L = q \int_0^W Ir(x) \cdot Cp(x) dx \quad (2.7)$$

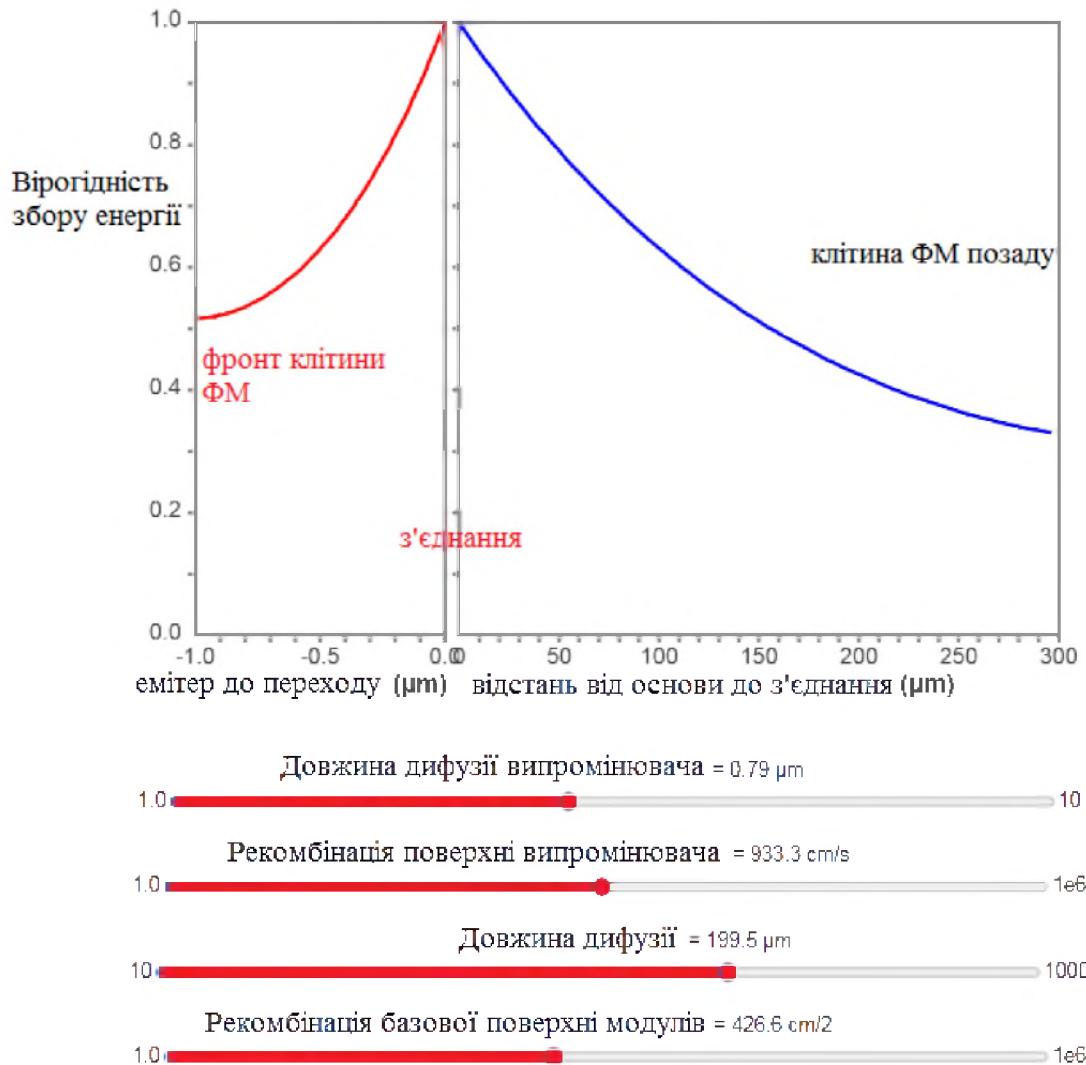


Рисунок 2.3 – Вплив поверхні модулів та довжини дифузії на вірогідність відбору енергії

### 2.1.2 Вибір кількості фотоелектричних модулів.

Для успішного розрахунку основних параметрів станції та типу й кількості обладнання зі фотоелектричними модулями потрібно дотримуватися наступних положень:

1) Визначити сумарне навантаження, яке уде отримувати живлення від станції із ФМ, для цього необхідно використовувати для дані номінального режиму. Також через прийняття часу та показник споживаної ними електроенергії;

2) Визначити відповідну кількість фотоелектричних модулів, які потрібне для сприятливої роботи (тобто без перерв у живлені), а також методику та тип з'єднання їх між собою (детально було визначено у розділі 1.3), та приймаючи при цьому кут (за рис. 1.6).

3) Приймаючи до уваги завдання вхідне до проекту розробити розрахунок параметрів контролеру заряду, інвертора й батарей для акумуляторної станції;

Через те, що за завданням до проекту вже відоме значення необхідної сумарної вихідної потужності розрахунок стає більш спрощеним й зводиться спершу до визначення кількості модулів.

Так, якщо обирати необхідну кількість модулів для створення станції потужності вихідною  $P_{\text{ном.ФЕС}}=0.6$  (МВт), необхідно звернути уваги, що зазвичай на практиці, реальна потужність обирається із запасом у 20% понад номінальну, адже номінально можливі показники ФЕС видає, зазвичай всього декілька годин на годин. Тому

$$N_{\text{зг.ФЕС}} = \frac{P_{\text{ном.ФЕС}} \cdot 1.2}{P_{\text{ном.ФМ}}} = \frac{600000 \cdot 1.2}{400} \approx 1815 \text{ (шт)} \quad (2.7)$$

Наступним положенням стане перевірка визначеної загальної середньодобової ( $P_{\text{ср.д}}$ ) енергії в частині споживання.

$$P_{\text{ср.д}} = \frac{E_{\text{тжс}}}{T_{\text{тжс}}} = \frac{12.97 \cdot 10^6}{168} \approx 0.726 \text{ (МВт)} \quad (2.8)$$

де:  $E_{тж}$  – електроенергія споживання протягом тижня;

- $T_{тж}$  – години протягом котрих необхідне генерування станцією енергії, максимально тиждень (вбираємо тут максимальний показник).

Через те, що на таку кількість модулів, звичайно не можна обрати один контролер заряду та і інвертор, тоді остаточний їх вибір можна зробити вже після вибору кількості груп модулів у станції. До речі, доцільно визначити кількість груп з'єднання фотоелектричних модулів.

## 2.2 Вибір та методологія алгоритму роботи контролеру заряду.

Отже за вихідними даними одного модулю доцільно обрати групу, яка б містила декілька модулів фотоелектричних, один контролер заряду та відповідно інвертор. Так, власне й було обрано тип контролеру заряду номінальні дані, якого представлені у табл. 2.2

Таблиця 2.2 – Номінальні дані контролеру заряду

| Назва параметру                  | Значення та одиниця виміру |
|----------------------------------|----------------------------|
| Номінальна напруга енергосистеми | 12В/24В/36/48/60 (В)       |
| Максимальна напруга на вході     | 150 (В)                    |
| Максимальний струм заряду АКБ    | 60 (А)                     |
| Максимальне власне споживання    | 2.5 (Вт)                   |
| Робоча температура               | -20°C...+45°C              |
| Напруги стадій заряду            | Налаштовується             |

І тепер вже звідси можна визначити і кількість паралельно й послідовно поєднаних модулів в одній групі.

Так кількість паралельних модулів згідно із правилами розглянутими у розділі 1.3, визначається за:

$$N_{np.ФC} = \frac{I_{ном.КЗ.АБ}}{I_{ном.ФМ}} = \frac{60}{12.3} \approx 5 \text{ (шт)} \quad (2.9)$$

де:  $I_{ном.КЗ}$  – показник максимального струму заряду акумуляторної станції.

Тут варто зазначити, що за рекомендаціями батареї повинні заряджуватися у 5-10% більшим струмом (тобто вихідним струмом модулів), аніж є номінальний струм заряду, тобто у виразі (2.9) варто округлювати не у менший бік, а у більший.

Тоді кількість послідовно поєднаних модулів за антологічними правилами визначаємо проте вже за напругою:

$$N_{нс.ФC} = \frac{U_{ном.КЗ.АБ}}{U_{ном.ФМ}} = \frac{150}{41.12} \approx 3 \text{ (шт)} \quad (2.10)$$

Вже при виборі послідовних модулів ситуація із округленням кількості модулів складається навпаки – адже по-перше потужність, котра приходить на вхід контролеру заряду повинна бути нормованою величиною, а по-друге саме за напругою не рекомендується перевищувати номінальні показники, адже тоді відбуватиметься перегрів обмоток, а як вже було досліджено у розділі 1.4. у ФЕС може існувати струм затемнення, що також робить нагрів обмоток.

Parameters **Advanced**

**Array data**

Parallel strings

Series-connected modules per string

**Module data**

Module:

Maximum Power (W)

Cells per module (Ncell)

Open circuit voltage Voc (V)

Short-circuit current Isc (A)

Voltage at maximum power point Vmp (V)

Current at maximum power point Imp (A)

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

**Display I-V and P-V characteristics of ...**

**array @ 25 deg.C & specified irradiances**

Irradiances (W/m2)

**Plot**

**Model parameters**

Light-generated current IL (A)

Diode saturation current IO (A)

Diode ideality factor

Shunt resistance Rsh (ohms)

Series resistance Rs (ohms)

Рисунок 2.4—Параметри електричні математичної моделі однієї групи фотоелектричних модулів станції

На рис. 2.4 була показана система завдання параметрів групи модулів фотоелектричних модулів.

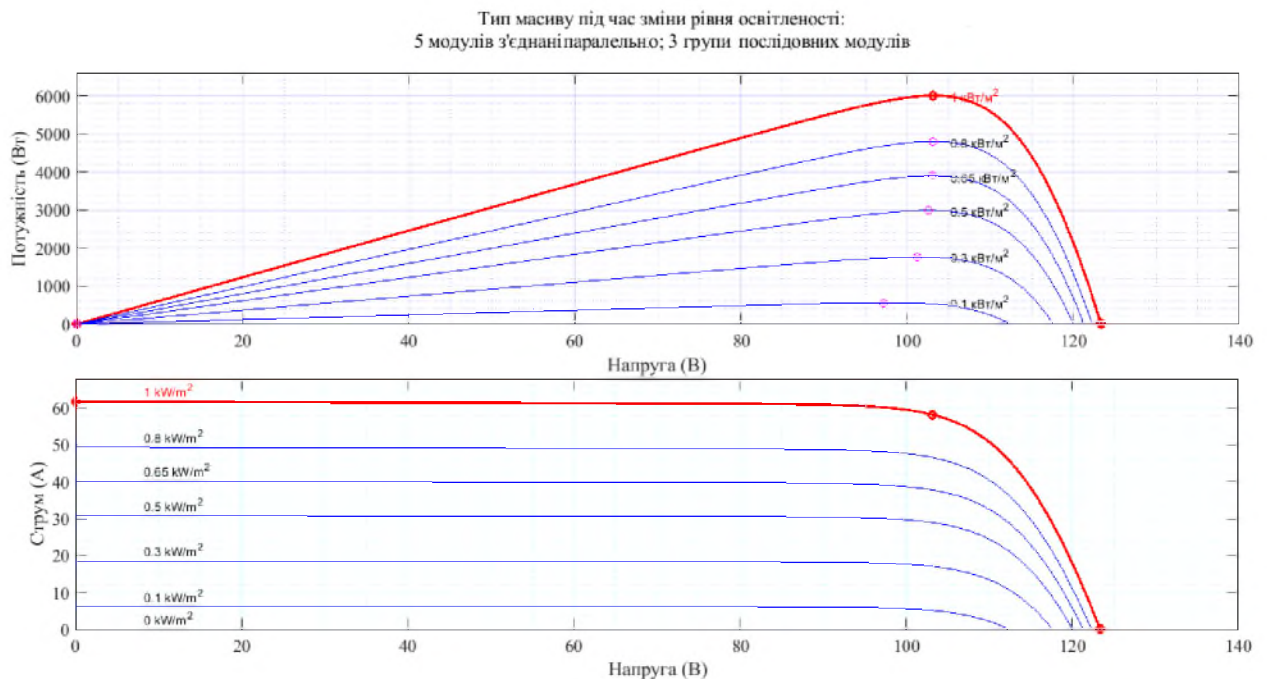


Рисунок 2.5 – Електрична та характеристика потужності групи модулів

Відразу можна визначити й кількість таких груп модулів, на які й будемо ділити станцію:

$$N_{гр.ФС} = \frac{P_{ном.ФС}}{P_{ном.ФМ}} = \frac{726 \cdot 10^3}{6 \cdot 10^3} = 121 \text{ (шт.гр)} \quad (2.11)$$

Тепер обравши контролер для першої групи заряду постає завдання подальшого вибору акумуляторних батарей та інвертора.

Для цього варто розрахувати ємність добову ( $E_{АКБ.доб}$ ) акумуляторних батарей та знову прийняти до уваги параметри контролеру:

$$E_{АКБ.доб} = \frac{E_{тжс} \cdot k_{з.АКБ}}{7 \cdot U_{кн.вх.АБ} \cdot N_{гр.ФС}} = \frac{12.97 \cdot 10^6 \cdot 1.35}{7 \cdot 150 \cdot 121} = 138.14 \left( \frac{А \cdot год}{доб} \right) \quad (2.12)$$

Однак слід пам'ятати і про те, що обирається кількість батарей саме для групи, тому у (2.12) приймає має участь значення  $N_{гр.ФС}$ .

Також заздалегідь необхідно намітити тип акумуляторних батарей станції. За аналізом [3,6] було прийнято рішення, що батареї літій-іонного типу мають перевагу перед свинцево-кислотними, і не в останню чергу через величину глибини розряду, котра для батарей літій-іонного типу становить  $k_{pz.АКБ} = 0.3 - 0.35$ .

$$E_{АКБ.сум} = \frac{E_{АКБ.доб} \cdot N_{мах.доб} \cdot k_{t.кф}}{k_{pz.АКБ}} \quad (2.13)$$

$$E_{АКБ.сум} = \frac{138.14 \cdot 0.527 \cdot 1.3}{0.35} = 270.4 \text{ (А} \cdot \text{год)}$$

де:  $-k_{t.кф} = 1.3$  – величина коефіцієнту температури сонячного модуля;

$N_{max.доб} = 0.527$  – параметр коефіцієнту, що здатний враховувати можливу максимальну відсоткову долю кількості годин за визначений період, коли відсутня або не є достатньою кількістю вихідної потужності станції (внаслідок відсутності вхідної сонячної енергії).

Тоді визначення кількості акумуляторних батарей, що поєднанні та будуть паралельно між собою :

$$N_{пр.аб} = \frac{E_{Акб.сум}}{E_{Акб.ном}} = \frac{270.04}{300} \approx 1 \text{ (шт)} \quad (2.14)$$

де:  $E_{Акб.ном}$  – номінальне значення енергії акумуляторної батареї

Так у табл. 2.3 були занесені номінальні параметри обраного типу батарей для акумулювання енергії.

Таблиця 2.3 – Номінальні параметри акумуляторних батарей

| Електричні характеристики. | Значення та одиниця виміру         |
|----------------------------|------------------------------------|
| Номінальна потужність      | 300 (А*год)                        |
| Напруга холостого ходу     | 51.2 (В)                           |
| Життєвий цикл              | > 3000 (при розряді 10С, 100% DoD) |
| Номінальна напруга         | 48 (В)                             |
| Діапазон робочої напруги   | 37.5–54.75 (В)                     |
| Ступень захисту            | IP67                               |

За табл. 2.3 можна вже визначити і кількість акумуляторних батарей, котрі поєднанні послідовно в одній групі станції між собою :

$$N_{пс.аб} = \frac{U_{гр.ФМ}}{U_{А.ФМ}} = \frac{150}{48} \approx 3 \text{ (шт)} \quad (2.15)$$

Стає зрозумілим, що за умови, якщо для однієї групи потрібно 3 акумуляторні батареї, тоді для усієї станції за (2.11) батарей потрібно кількість пропорційну до усіх груп.

$$N_{\Phi C.Akб} = N_{зр.Aкб} \cdot n_{зр} = 3 \cdot 121 \quad (2.16)$$

Отже, далі для розрахунку потрібно мати інформацію про показники максимумів та мінімумів рівнів сонячної генерації, а для цього потрібні дані за червень і грудень (середні за роки спостереження). Так для досліджуваної Хмельницької області (за проведеним дослідженням рис. 1.5–1.7) із широтою  $\text{Ш} = 49.15^\circ$  вище зазначені величини становлять в грудні –  $h_{\Gamma} = 0.872 \left( \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{доб}} \right)$ , а у червні –  $h_{\text{ч}} = 6.582 \left( \frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2 \cdot \text{доб}} \right)$ .

Тож можна тоді за рис. 1.5 установимо показник тривалості часу протягом котрого працюють модулі в енергосистемі, для червня таке значення складає –  $n_{\text{ч}} = 15.53 \text{ (год)}$ , а для грудня відповідно –  $n_{\Gamma p} = 8.17 \text{ (год)}$ . Відповідно із метою представлення  $n_{\text{ч}}$  та  $n_{\Gamma p}$  переведено час у хвилинах в дільове значення відносно годин.

Варто визначити витрати енергії в акумуляторних батареях під час розряду і заряду (приймається, як правило цей показник у діапазоні 13–15%):

$$E_{Akб.зр} = E_{Akб.сум} \cdot k_{pz.вт} = 270.04 \cdot 1.14 = 307.86 \text{ (А} \cdot \text{год)} \quad (2.17)$$

Звідси і показники струму, що будуть генеруватися у групі фотоелектричних модулів та складає:

$$I_{ФМ.пз} = \frac{E_{Акб.пз}}{n_{пз}} = \frac{270.04}{11.43} = 23.63 \text{ (A)} \quad (2.18)$$

$$n_{пз} = n_q \cdot k_z = 15.53 \cdot 0.736 = 11.43 \text{ (год)}$$

### 2.3 Вибір кількості та схеми підключення інвертору.

Можливість поєднувати передачу енергії від фотоелектричної станції та централізовану мережеву електричну енергію для виконання живлення навантаження є одним із головних чинників для обрання типу інвертору.

| Назва параметру                            | Значення та одиниця виміру                                         |
|--------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Напруга холостого ходу сонячних батарей    | 450 (В)                                                            |
| Чисто синусоїдальна форма вихідної напруги | 230 (В)                                                            |
| Коефіцієнт потужності                      | 1<br>Це означає, що вихідна потужність інвертора становить 3000Вт. |

Для кожної групи разом із окремим контролером заряду буде використовуватися й окремий інвертор. Так на рис.

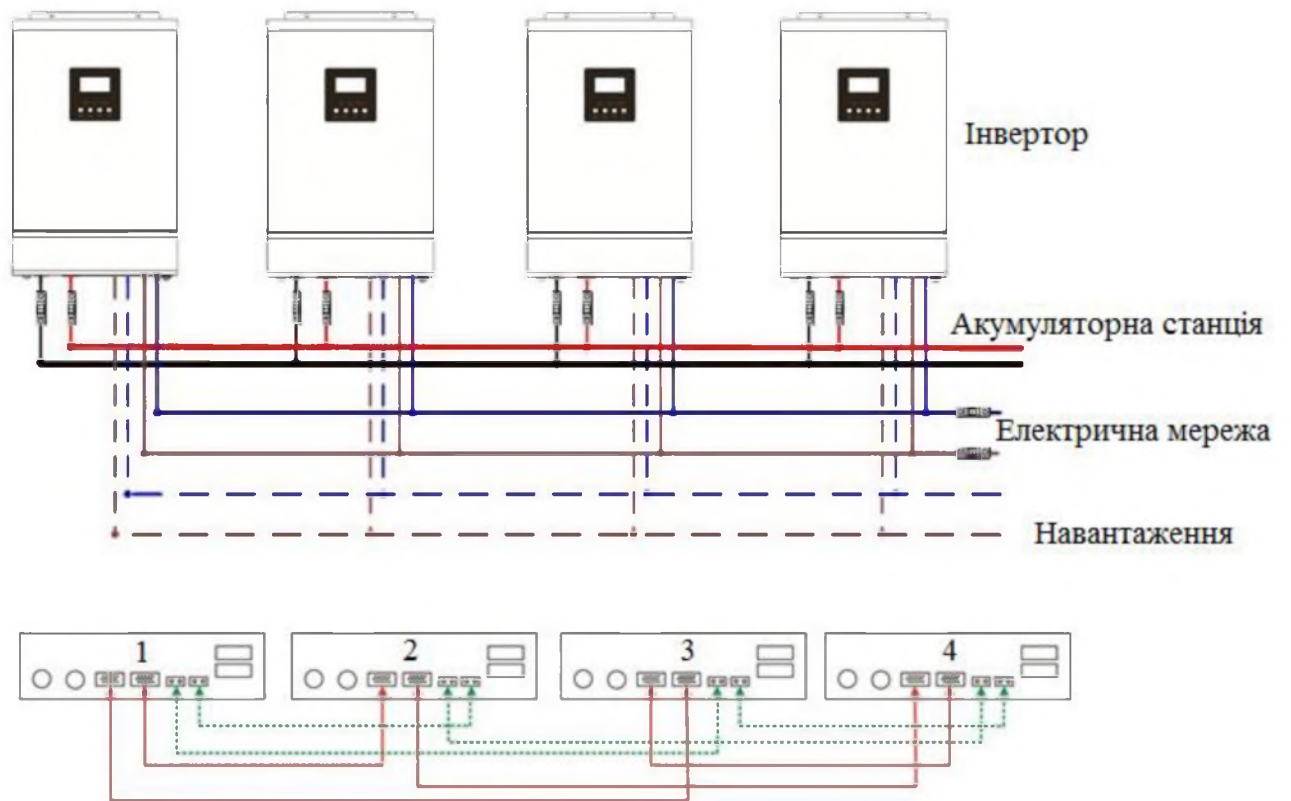


Рисунок 2.6 – Спосіб з'єднання інверторів із мережевою фотоелектричною станцією

### 3. ПРОЕКТУВАННЯ, НАЛАГОДЖЕННЯ Й ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ ЗАХИСТУ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ .

3.1 Початкові дані для здійснення тренування системи захисту ФЕС, яка включає в свій комплекс штучний інтелект.

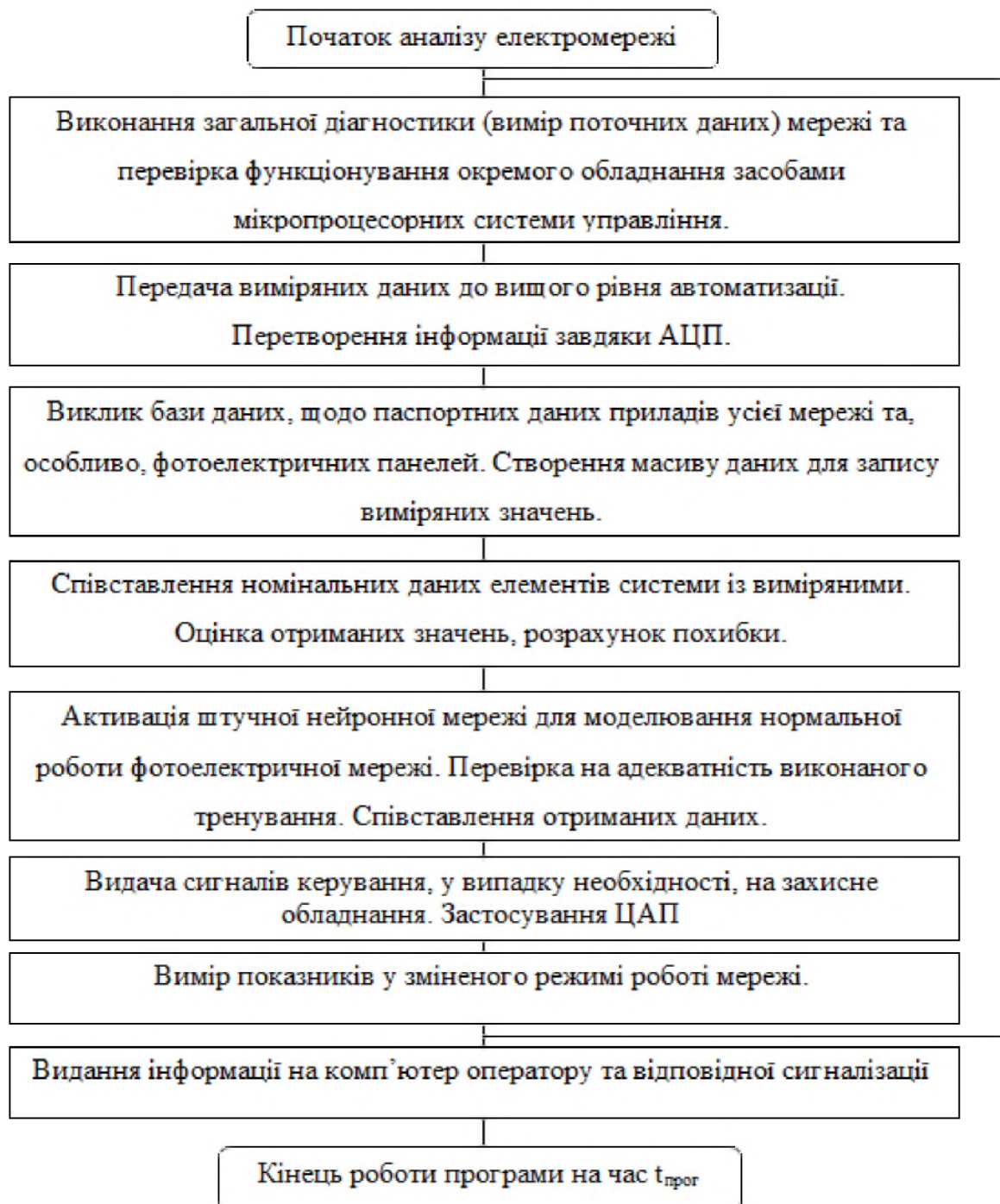


Рисунок 3.1 – Алгоритм виконання захисту

В першу чергу у цьому розділі постає питання, щодо вибору системи захисту, а також подальшого залучення захисного обладнання у роботі фотоелектричної мережевої станції із фотоелектричними модулями. Так проаналізувавши

Під час проектування фотоелектричної системи важливо розуміти кількість сонячного світла (рівня інсоляції), доступного в певному місці (географічних координатах) у даний(поточний) момент часу. Сонячне випромінювання здатне характеризуватися вимірним показником сонячної радіацією, що характеризується потужністю на обрану площу в поточний момент (чи випромінюванням), а також сонячною інсоляцією – енергією, надходить на обрану площа протягом певного часу (зазвичай цей період охоплює день, або час коли Сонце не небосхилі).

Сонячне сяйво виступає миттєвою щільністю за потужності у одиницях  $(\frac{кВт}{м^2})$ . Сонячне сяйво змінюється протягом дня від 0  $(\frac{кВт}{м^2})$  вночі й до максимуму приблизно 1  $(\frac{кВт}{м^2})$ . Показник сонячного випромінювання прямо залежить від місця розташування та місцевої погоди, а також змінюється протягом кожного дня. Опромінення сонячного модулю складаються із глобальних чи прямих вимірювань рівня радіації (табл. 3.1), котрі проводяться періодично протягом дня.

Так, таблиця 3.1 демонструє передавання середньорічних показників для уточнення даних під час здійснення моделювання роботи ФЕС в досліджуваних географічних координатах (Хмельницької області).

Таблиця 3.1 – Середньорічні показники для уточнення моделі ФЕС

| Середній показник температури $T_{\text{ФЕС}}, (C^0)$ | Освітленість поглинена сонячним модулем $W_{\text{ПГЛ}} (\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2})$ | Освітленість глобальна, що надходить на поверхню модуля $W_{\text{О.Г.}} (\frac{\text{кВт} \cdot \text{год}}{\text{м}^2})$ | Поточний місяць                        |
|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------|
| 18.0                                                  | 2.69                                                                                                      | 5.21                                                                                                                       | Червень                                |
| 20.0                                                  | 2.59                                                                                                      | 5.04                                                                                                                       | Липень                                 |
| 19.7                                                  | 2.25                                                                                                      | 4.58                                                                                                                       | Серпень                                |
| 14.7                                                  | 1.65                                                                                                      | 3.15                                                                                                                       | Вересень                               |
| 9.0                                                   | 1.08                                                                                                      | 1.98                                                                                                                       | Жовтень                                |
| 1.9                                                   | 0.7                                                                                                       | 1.1                                                                                                                        | Листопад                               |
| -3.0                                                  | 0.56                                                                                                      | 0.87                                                                                                                       | Грудень                                |
| -3.9                                                  | 0.68                                                                                                      | 1.09                                                                                                                       | Січень                                 |
| -3.2                                                  | 1.03                                                                                                      | 1.86                                                                                                                       | Лютий                                  |
| 1.4                                                   | 1.58                                                                                                      | 2.87                                                                                                                       | Березень                               |
| 9.2                                                   | 2.11                                                                                                      | 3.95                                                                                                                       | Квітень                                |
| 15.5                                                  | 2.5                                                                                                       | 5.08                                                                                                                       | Травень                                |
| <b>8.3</b>                                            | <b>1.62</b>                                                                                               | <b>3.6</b>                                                                                                                 | <b>Середні показники протягом року</b> |

Вимірювання застосовуються або автоматизовано за датчиками швидкості чи за допомогою піранометра (котрий вимірює глобальне значення випромінювання  $W_{\text{О.Г.}}$ ) чи піргеліометра (котрий вимірює пряме значення випромінювання  $W_{\text{ПГЛ}}$ ). В добре установлених місцях такі дані збиралися понад сорока років (рис. 3.2).

**Sub-array name and Orientation**  
Name   
Orient. **Fixed Tilted Plane** Tilt **30°**  
Azimuth **20°**

**Pre-sizing Help**  
☐ No sizing Enter planned power  kWp  
☒ ... or available area(modules)  m²

**Select the PV module**  

Filter  Maximum nb. of modules **2499**

|                                           |            |         |         |            |                   |                                     |
|-------------------------------------------|------------|---------|---------|------------|-------------------|-------------------------------------|
| <input type="button" value="Helios USA"/> | 400 Wp 41V | Si-mono | 9T6 400 | Since 2012 | Manufacturer 2012 | <input type="button" value="Open"/> |
|-------------------------------------------|------------|---------|---------|------------|-------------------|-------------------------------------|

☐ Use optimizer  
Sizing voltages : Vmpp (60°C) **41.5 V**  
Voc (-10°C) **66.4 V**

**Select the inverter**  

Output voltage 690 V Tri 50Hz

|                                    |        |             |    |       |                |            |                                     |
|------------------------------------|--------|-------------|----|-------|----------------|------------|-------------------------------------|
| <input type="button" value="ABB"/> | 780 kW | 470 - 850 V | TL | 50 Hz | ULTRA-700.0-TL | Until 2020 | <input type="button" value="Open"/> |
|------------------------------------|--------|-------------|----|-------|----------------|------------|-------------------------------------|

Nb of MPPT inputs  ☒ Operating voltage: **470-850 V** Inverter power used **780 kWac**  
☒ Use multi-MPPT feature Input maximum voltage: **1000 V** **inverter with 2 MPPT**

**Design the array**  

**Number of modules and strings**  
Mod. in series  ☐ between 12 and 15  
Nb. strings  ☐  
Overload loss **0.0 %**   
Prom ratio **0.93**  
Nb. modules **1815** Area **4698 m²**

**Operating conditions**  
Vmpp (60°C) 1371 V  
Vmpp (20°C) 1629 V  
Voc (-10°C) 2190 V  
Plane irradiance **1000 W/m²**  
Imp (STC) 454 A  
Isc (STC) 485 A  
Isc (at STC) 485 A  
Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) **652 kW**  
**Array nom. Power (STC) 726 kWp**

Рисунок 3.2 – Вибір характеристики фотоелектричних модулів, вибір методології відбору енергії генерації, а також типу інвертора

### 3.2 Моделювання роботи групи фотоелектричних модулів.

Тоді дослідивши у другому розділі роботу однієї групи фотоелектричних модулів, не можна не висвітлити результати роботи й усієї станції. Так на

Parameters

Advanced

Array data

Parallel strings

55

Series-connected modules per string

33

Module data

Module:

User-defined

Maximum Power (W)

400.2996

Cells per module (Ncell)

120

Open circuit voltage Voc (V)

41.12

Short-circuit current Isc (A)

12.34

Voltage at maximum power point Vmp (V)

34.39

Current at maximum power point Imp (A)

11.64

Temperature coefficient of Voc (%/deg.C)

-0.31099

Temperature coefficient of Isc (%/deg.C)

0.1295

Display I-V and P-V characteristics of ...

array @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T\_cell (deg. C)

[40 30 20 10 0]

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A)

12.3579

Diode saturation current IO (A)

7.4242e-11

Diode ideality factor

0.51649

Shunt resistance Rsh (ohms)

225.1571

Series resistance Rs (ohms)

0.15748

Рисунок 3.3 – Параметри електричні моделі мережевої станції

А за завданими параметрами можливо отримати і вихідні залежності.

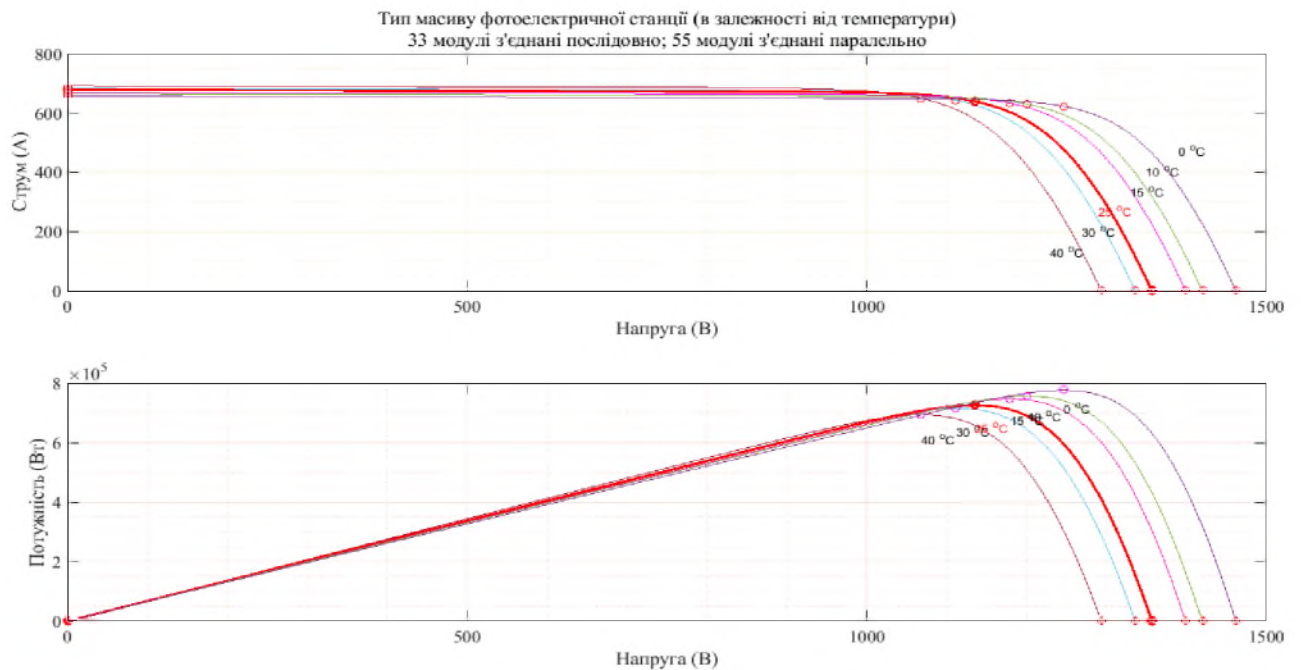


Рисунок 3.4 – Зміна електричної характеристики та потужності у мережевій станції в залежності від температури поверхні модулів

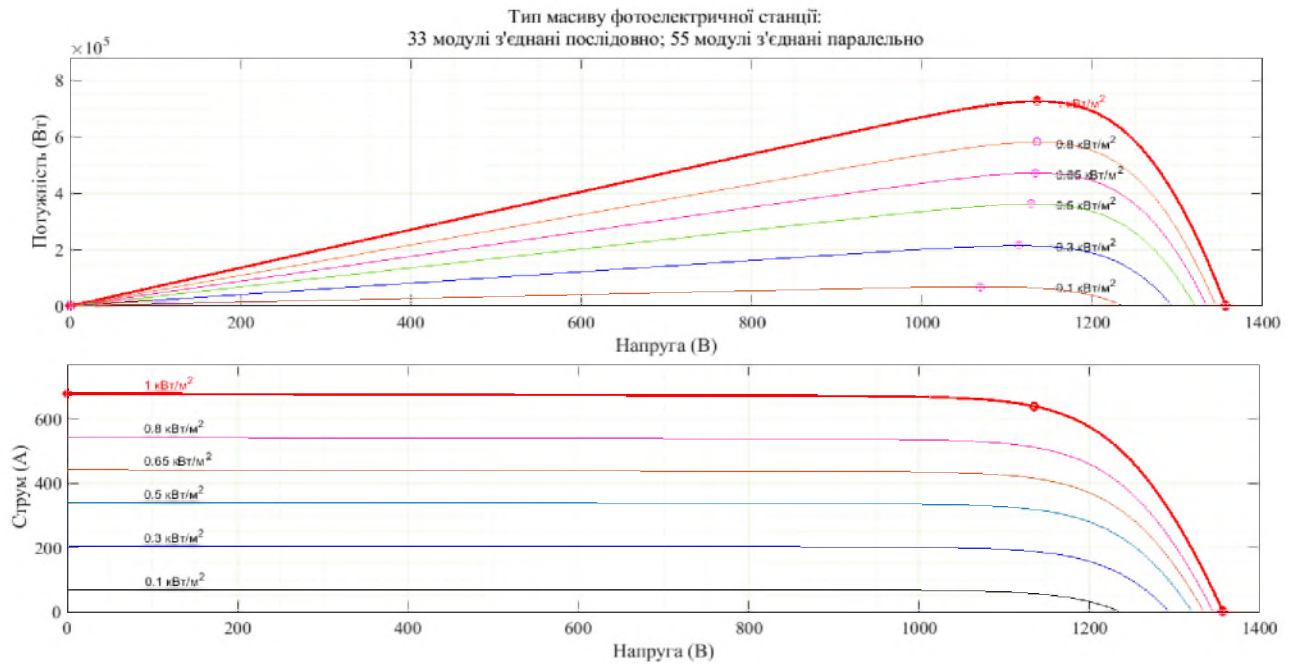


Рисунок 3.5 – Зміна електричної характеристики та потужності у мережевій станції в залежності від рівня сонячного опромінення поверхні модулів

Отримані зовнішні характеристики (рис. 3.4–3.5) були завдяки використанню мат. моделі (рис. 3.6), котра була розроблена шляхом графічного програмування у середовищі програмному Matlab.

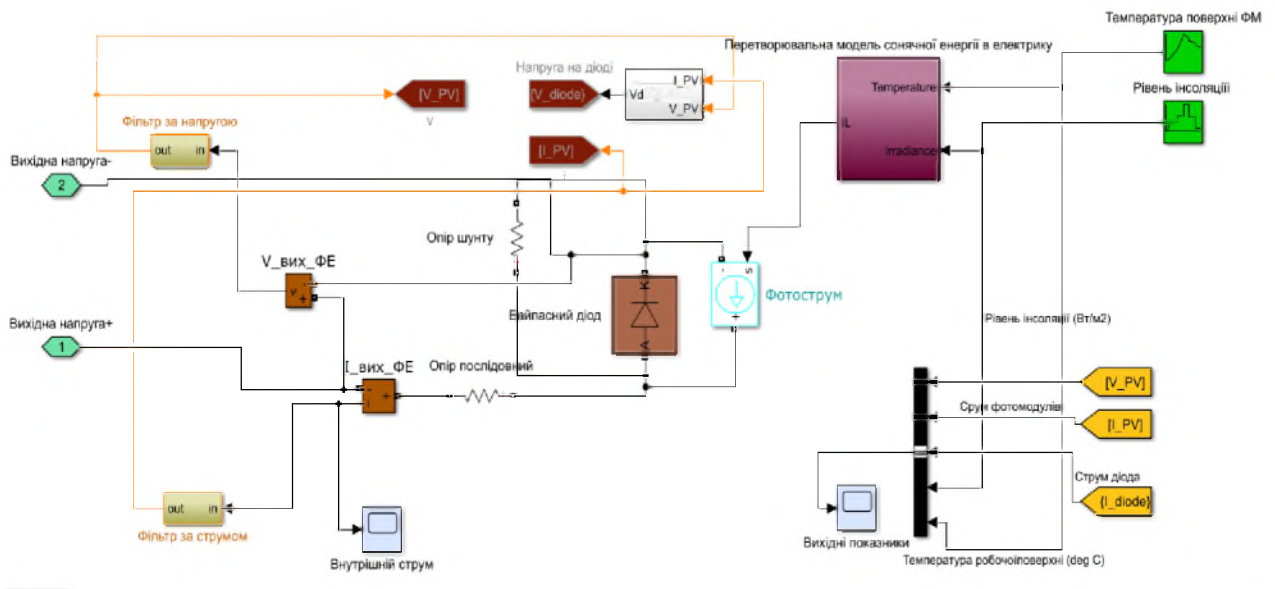


Рисунок 3.6 – Модель для дослідження роботи фотоелектричного модулю

Окремо було розглянуто і питання пов'язані із орієнтацією групи модулів у просторі. Так застосувавши додаток для моделювання роботи модулів PVsyst, було обрано їх оптимальне розташування (рис. 3.7).

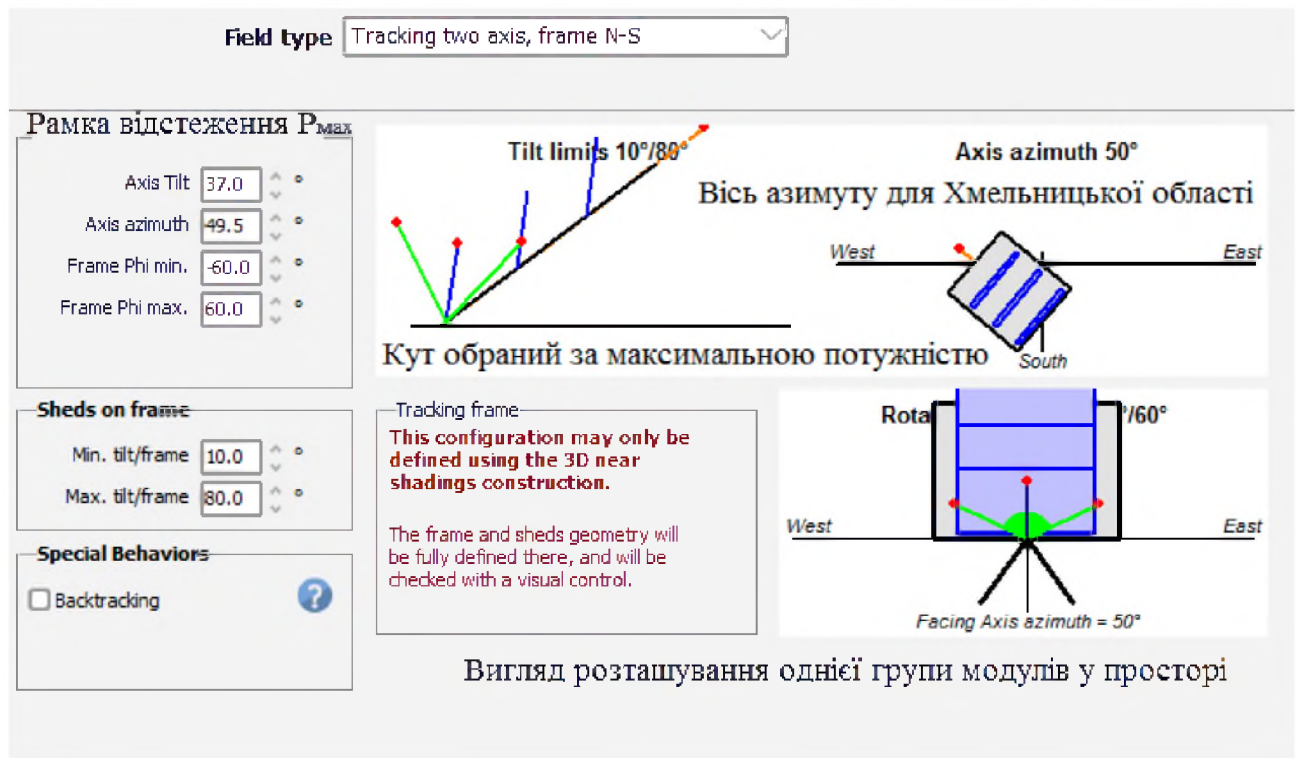


Рисунок 3.7 – Оптимальна орієнтація у просторі групи фотоелектричних модулів

Також паралельно виконувалися роботи із побудови математичної моделі інвертору, контролеру заряду батарей, акумуляторної станції.

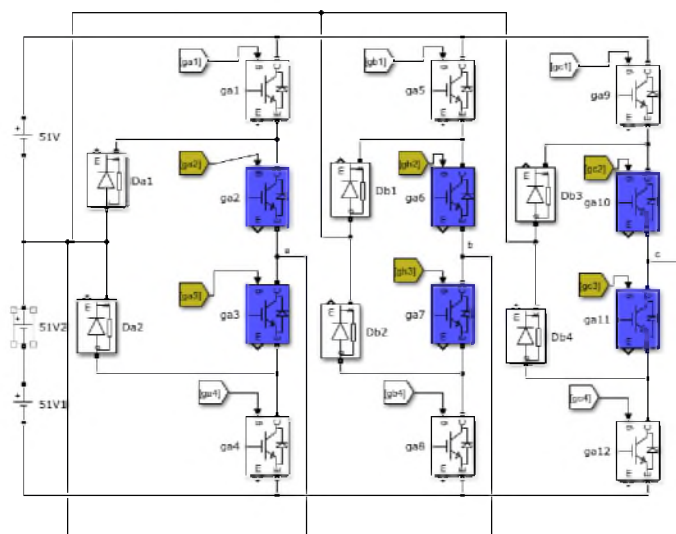


Рисунок 3.8 – Модель трифазного мережевого інвертору станції

Продовживши роботи із модульною станцією, було отриману доволі важливу вольт-амперну характеристику, котра може вказати на характеристику у тому чи іншому режимі роботи, якщо діюча характеристика відхилиться від потрібної (рис. 3.9), тоді це й вкаже на «ненормальний режим роботи» тобто аварійний.

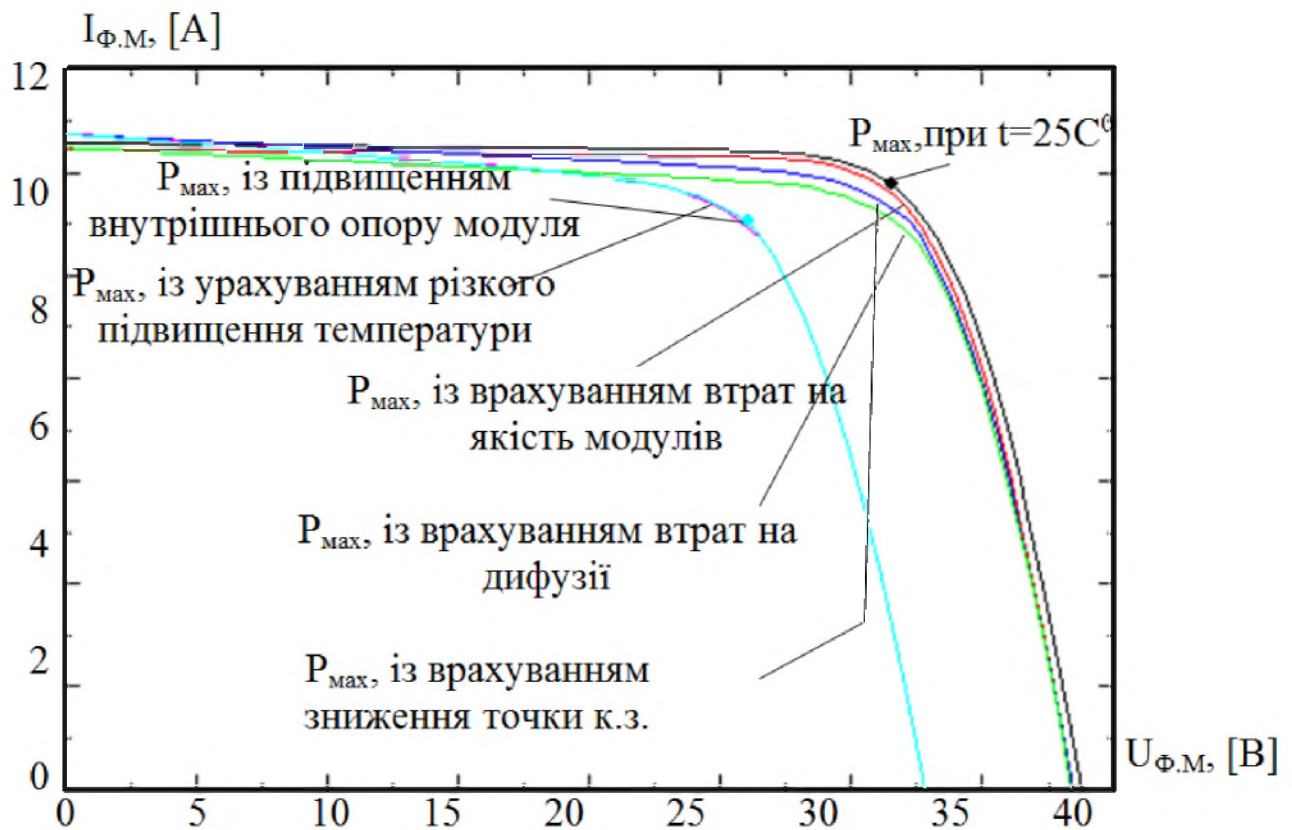


Рисунок 3.9 – Вольт-ампера характеристика досліджуваного модуля в різних режимах

Застосований програмний пакет дає змогу спроектувати та дослідити й енергетичну діаграму фотоелектричних модулів та станції в цілому, котра наведена на рис. 3.10. Варто зазначити, що тут дослідження відбувається із дещо спрощеною електричною мережею (не враховується втрати під час передачі електрики у лінії та у споживачів), тому що у роботі дипломній більшою мірою досліджується захист мережевої станції саме у частині фотоелектричних модулів та перетворені й передачі енергії в цій ланці.



Рисунок 3.10 – Діаграма енергетична мережевої фотоелектричної станції

Звідси (рис. 3.10) сумарні втрати у потужності визначаються із таких показників:

$$P_{B.лн} = P_{B.кнт} + P_{B.к} + P_{B.інв} + P_{B.шин} + P_{B.зт} \quad (3.1)$$

де:  $-P_{B.лн}$  – параметр повної витрати енергії у фотоелектричному модулі;

$-P_{B.кнт}$  – параметр витрат у контактах потужності;

$-P_{B.зт}$  – параметр втрат значення потужності через затінення деяких груп фотоелектричних модулів;

- $P_{B, \text{шин}}$  – значення витрат в шині проводах потужності;
- $P_{B, \kappa}$  – величина втрат потужності в контактах з'єднаних модулів;

Однак і процеси у самій мережі також було вирішено дослідити, так на рис 3.11-3.12 зображено

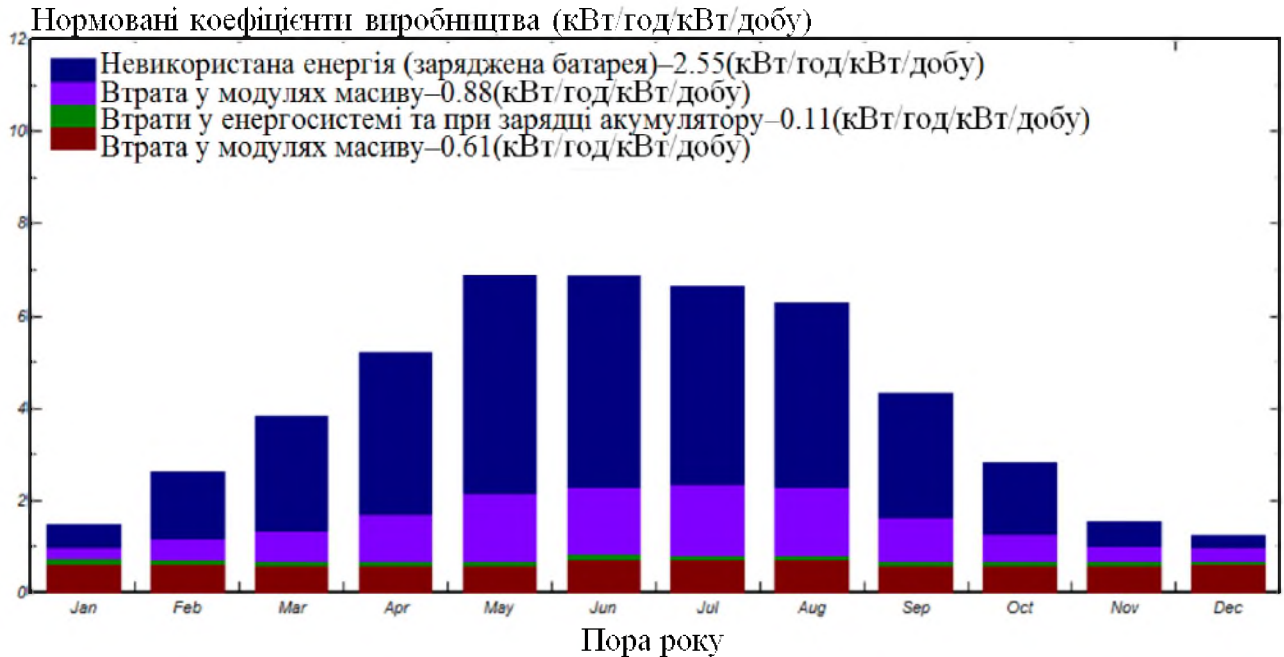


Рисунок 3.11 – Нормовані значення виробництва (на встановлену кВт/год), номінальна потужність мережевої станції

Тоді й за рис. 3.11 можливо відзначити наступні отримані наступні результати:

- 1) Середня значення витрат електроенергії протягом доби в модулі становить  $\Delta P_{\text{ф.м.}} = 0.61$  (кВт\*год/добу).
- 2) Середня значення відносних витрат потужності у ланці генерації складає  $P_{\text{гн}} = 0.88$  (кВт\*год/добу).
- 3) Середня значення витрат електроенергії при передаванні потужності до споживача у день  $\Delta P_{\text{е.м.}} = 0.11$  (кВт\*год/добу).

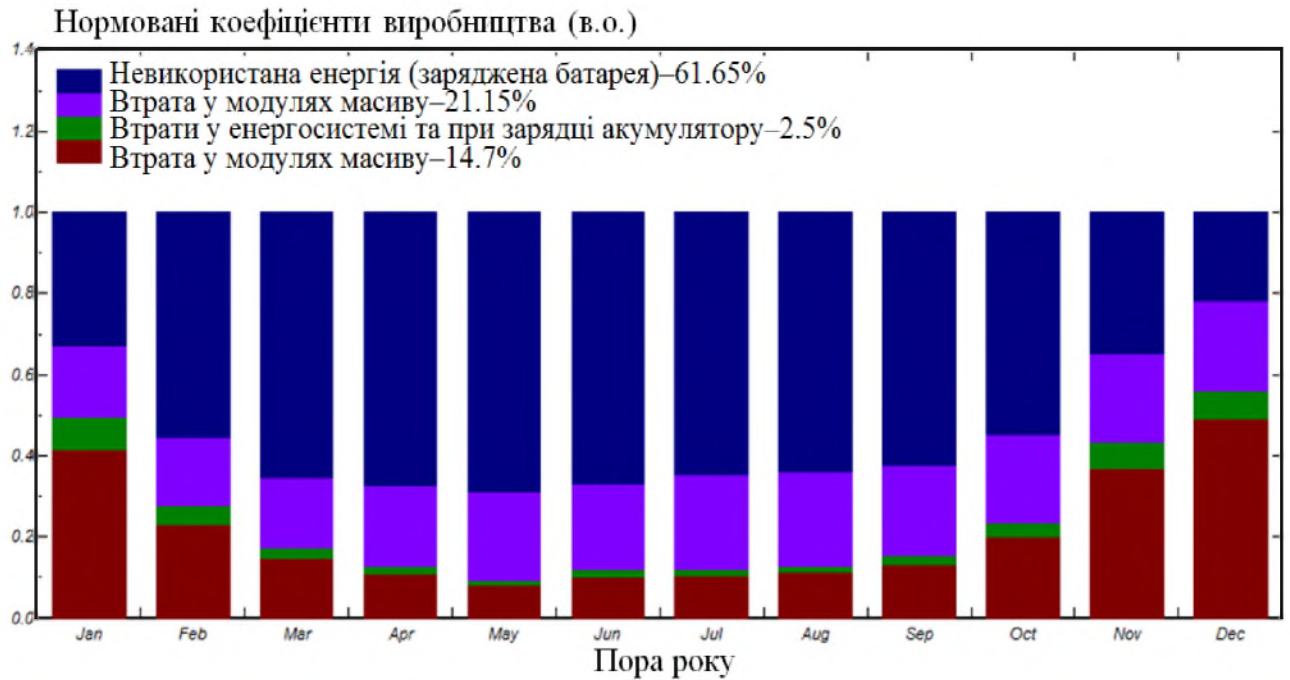


Рисунок 3.12 – Нормовані коефіцієнти виробництва та втрат у мережевої станції

Проведене дослідження на рис. 3.12 визначило наступні результати, щодо втрат енергії, тож слід зазначити, що:

1) Значення Відносне середньорічних витрати електроенергії у фотоелектричних модулів становить  $\sigma_{ф.м.}=21.15$  (%).

2) Значення відносне середньорічних витрати електроенергії при передачі потужності до споживачеві  $\sigma_{е.м.}=2.5$  (%).

3) Відносний показник генерації потужності мережевої фотоелектричної станції  $\sigma_{Гн.ем}=76.35$  (%).

#### 4. МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ МЕРЕЖЕВОЇ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ, КОТРА ВКЛЮЧАЄ ФМ ТА ШТУЧНИЙ ІНТЕЛЕКТ.

Створення системи захисту мережевої фотоелектричної системи. Ще одним важливим елементом у дослідженні станції, а також ланкою, де можуть виникнути небезпечні з електричної точки зору процеси, це акумуляторна станція. Тож за програмним середовищем було досліджено функцію коефіцієнту надійності станції від пори року, із метою отримати значення середнього стану заряду за рік (показано на рис. 4.1).

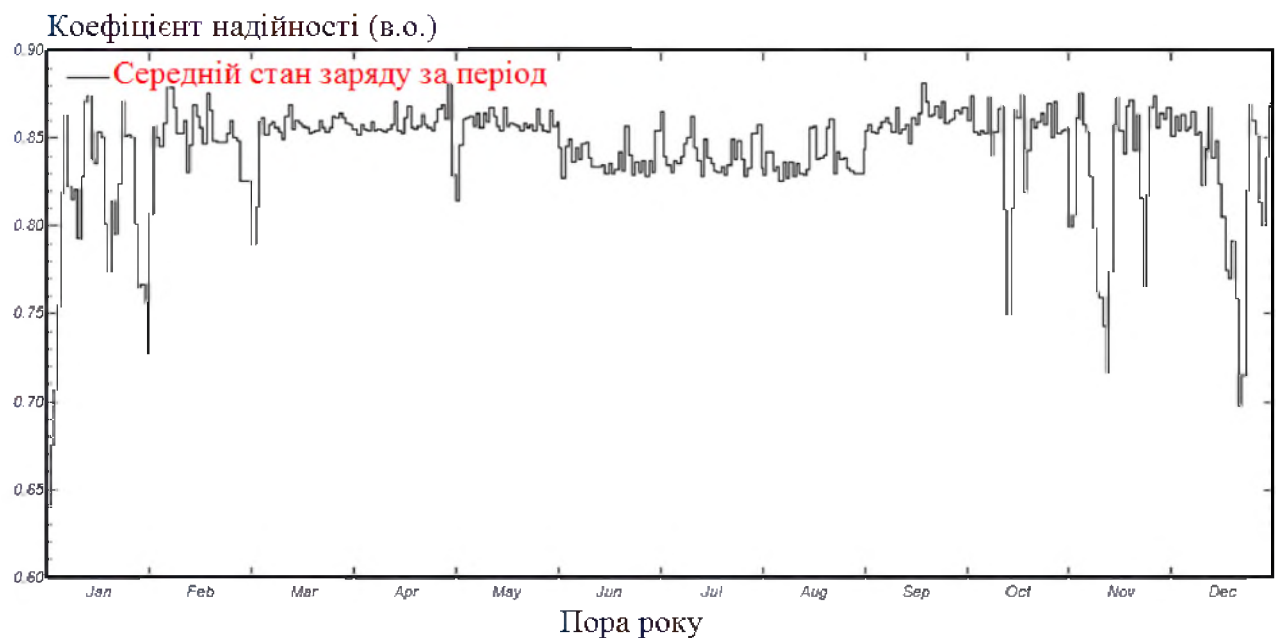
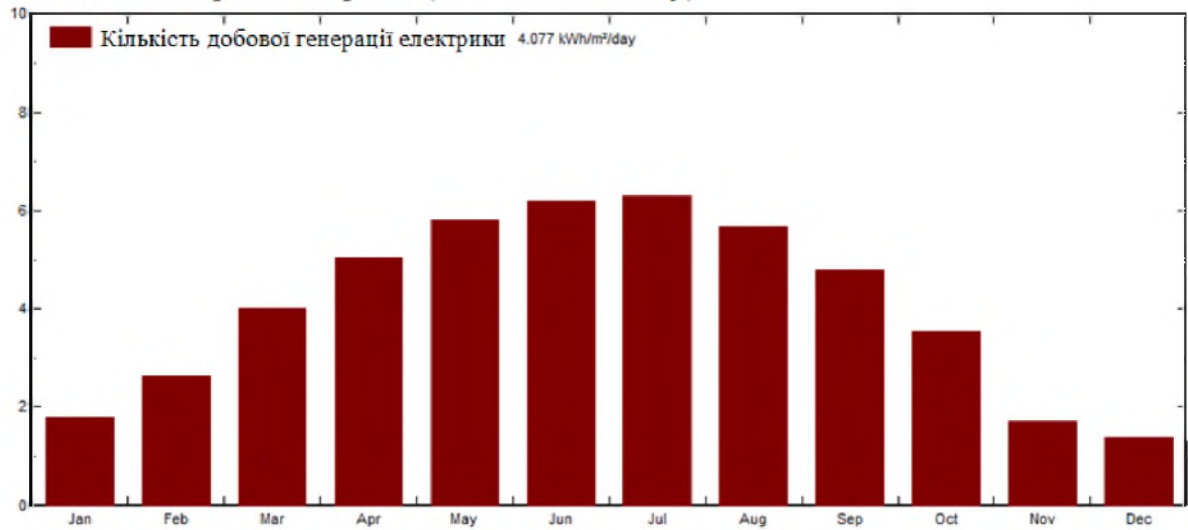


Рисунок 4.1 – Середньорічний стан заряду фотоелектричної станції

Також не буде зайвим привести і нормований графік, щодо генерації електрики, протягом року роботи мережевої станції (рис. 4.2)

Кількість енергія генерації (кВт\* год/м<sup>2</sup>/добу)



Час пори року

Рисунок 4.2 – Нормований графік генерації електрики, протягом року роботи ФЕС

А також для Хмельницької області була побудована діаграма кута зміни нахилу сонячних панелей (рис. 4.3) для виконання максимальної продуктивності

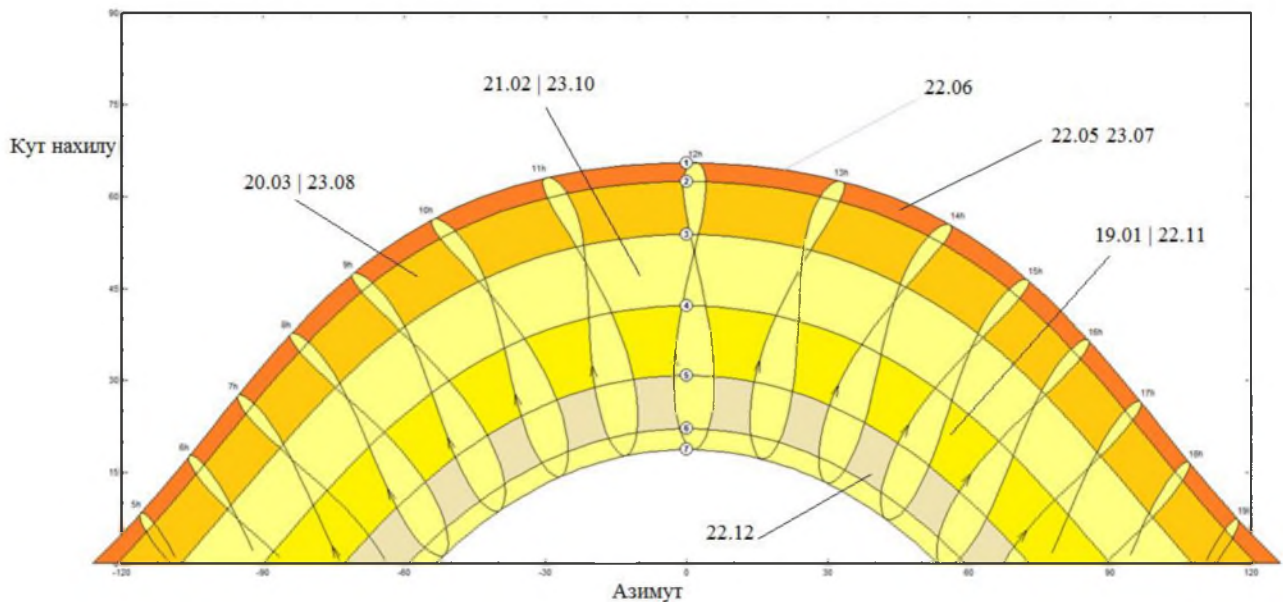


Рисунок 4.3 – Побудована діаграма кута зміни нахилу сонячних панелей для виконання максимальної продуктивності

Зібравши фотоелектричні модулі у підсистему, можна підключити їх до електромережі (рис.4.3) із акумуляторною станцією (контролер заряду, батареї) та навантаженням.

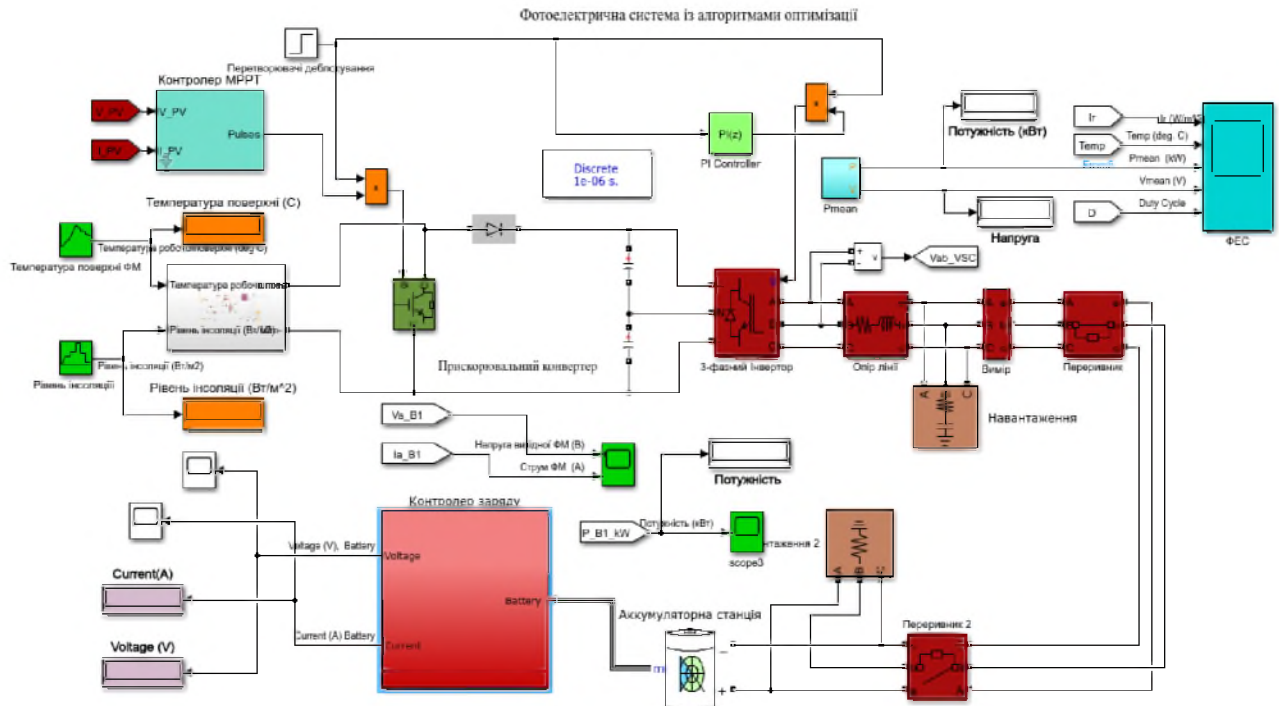


Рисунок 4.3 – Модель фотоелектричної станції

Провівши моделювання практичною роботи розробленої мережевою станції із фотоелектричними модулями для Хмельницької області, стало можливо відтепер мати дані достатньої кількості для навчання та послідуного перетренування штучних нейронних мереж, котрі стануть мати такі ж властивості, що й мережеві станції із фотоелектричними елементами. Тоді звідси, інтелект штучний стане визначати застосовуючи прогноз майбутні режими й процеси в реальних станціях.

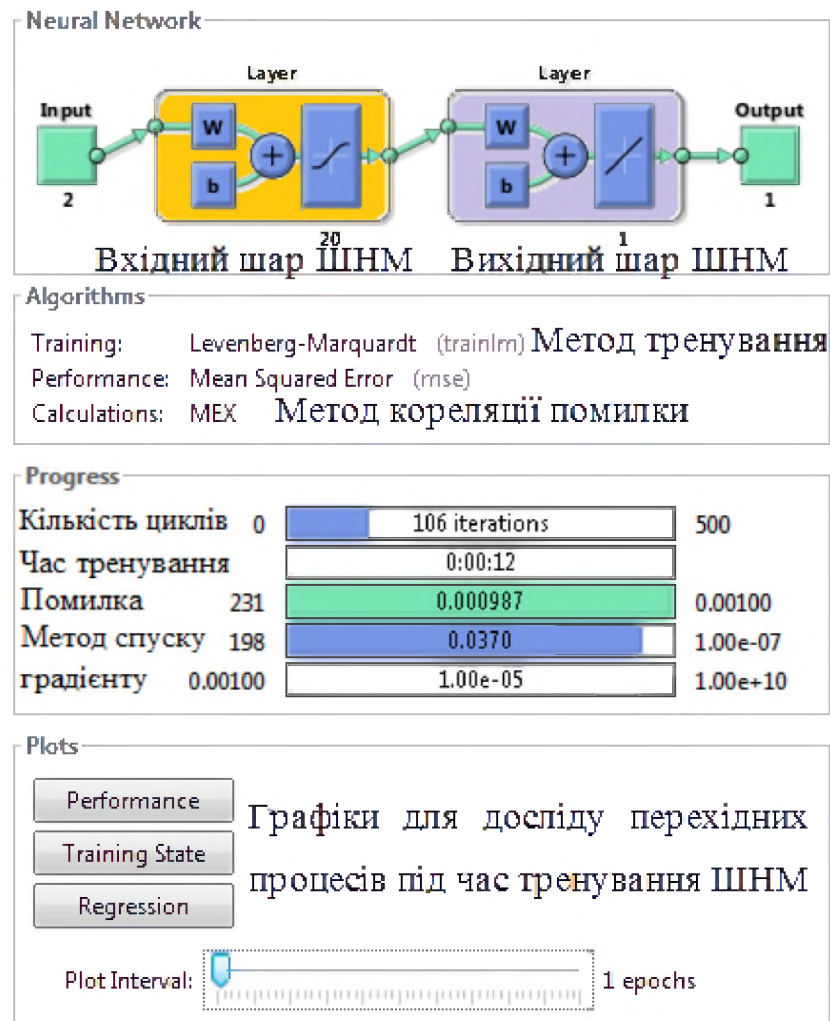


Рисунок 4.4 – Вікно параметрів навчання й послідовного перетренування штучної нейронної мережі

За проведенням тренуванням штучної НМ стає зрозумілим, що час, який відводиться на тренування складає 12 (с). За цей час подані були всі доступні дані (масиви інформації) вхідні, що можливо побачити із рис. 4.4 за даний час  $t_{\text{трн}}=12(\text{с})$ , система пройшла 106 із 500 циклів, а також створила базу із даними для зберігання актуальних результатів.

Зрозуміло, стає, що перетренування для даної мережі може і не знадобитися адже згідно із рис. 4.5 стає зрозумілим, що функціональна помилка увійшла до задовільного діапазону навчання, проте, все ж таки виконання подальшого перенавчання здатне знизити час відгуку.

Найкраща результативність тренування 0.00098655, циклів=106

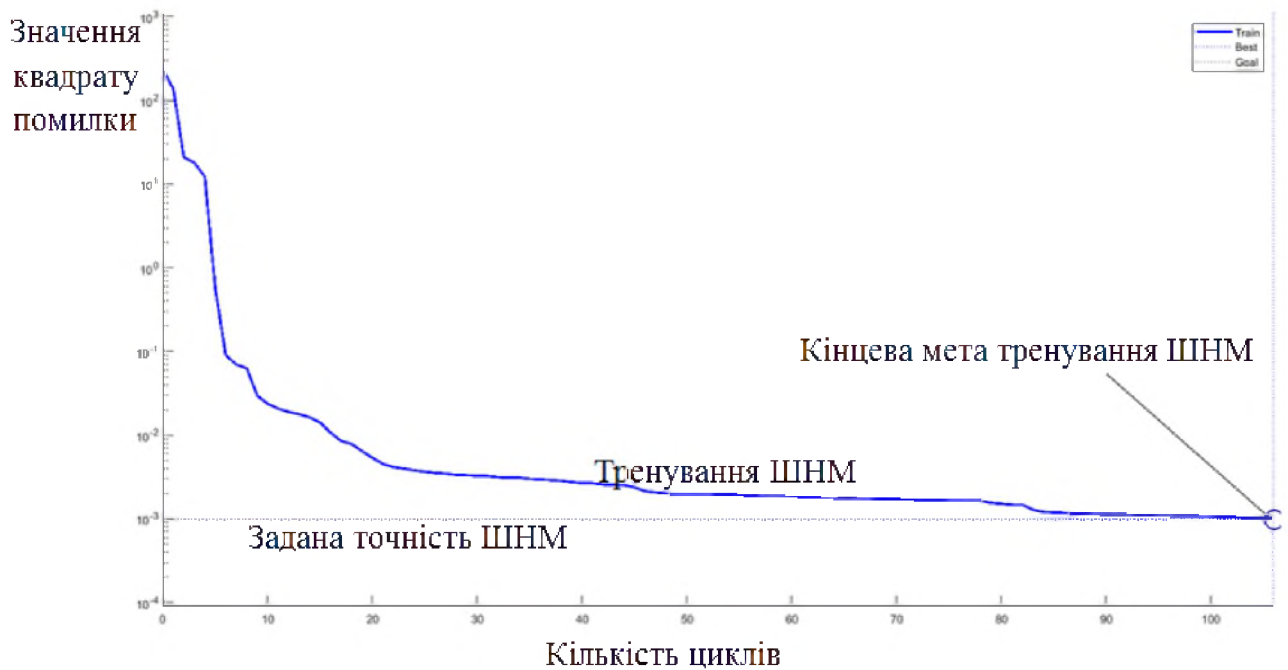


Рисунок 4.5 – Функціональна зміна помилки протягом циклу тренування ШНМ

Звідси оптимізаційний процес, вибору градієнта зменшення помилки, а також адаптаційні параметри спроектованої штучної нейронних мережі, яка представлена на рис. 4.6.

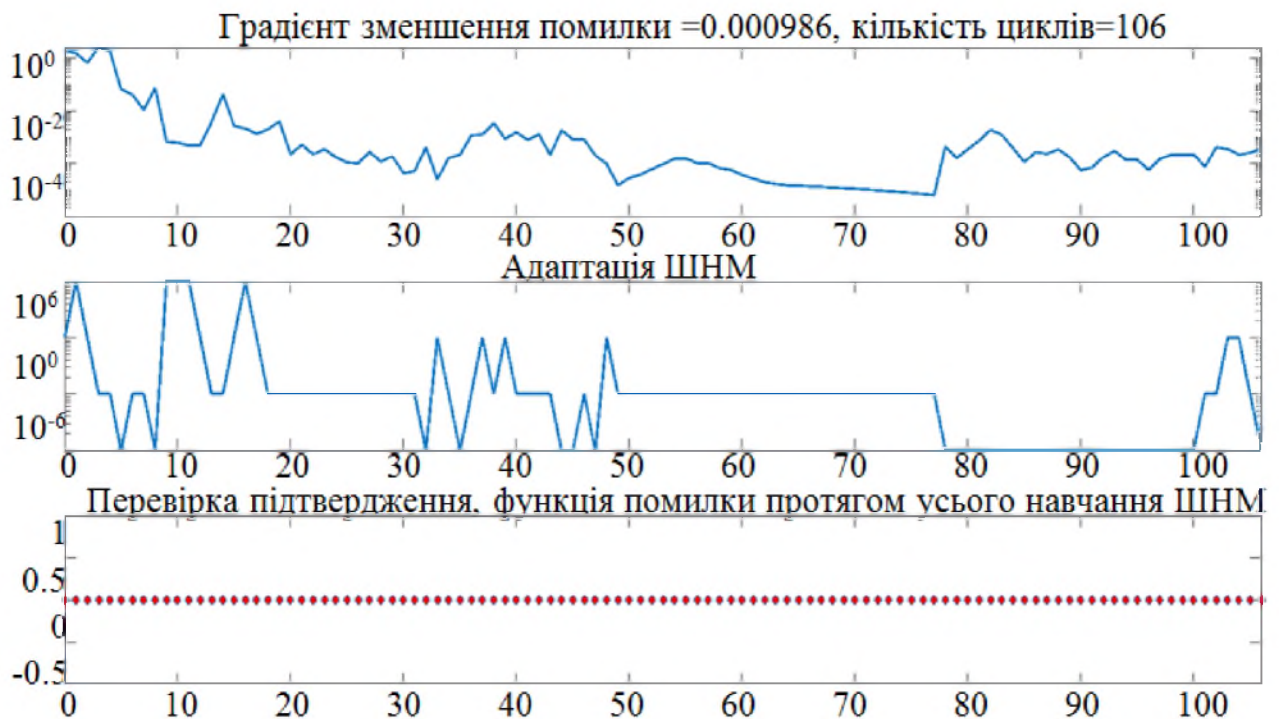


Рисунок 4.6 – Функція градієнту зниження похибки тренування ШНМ

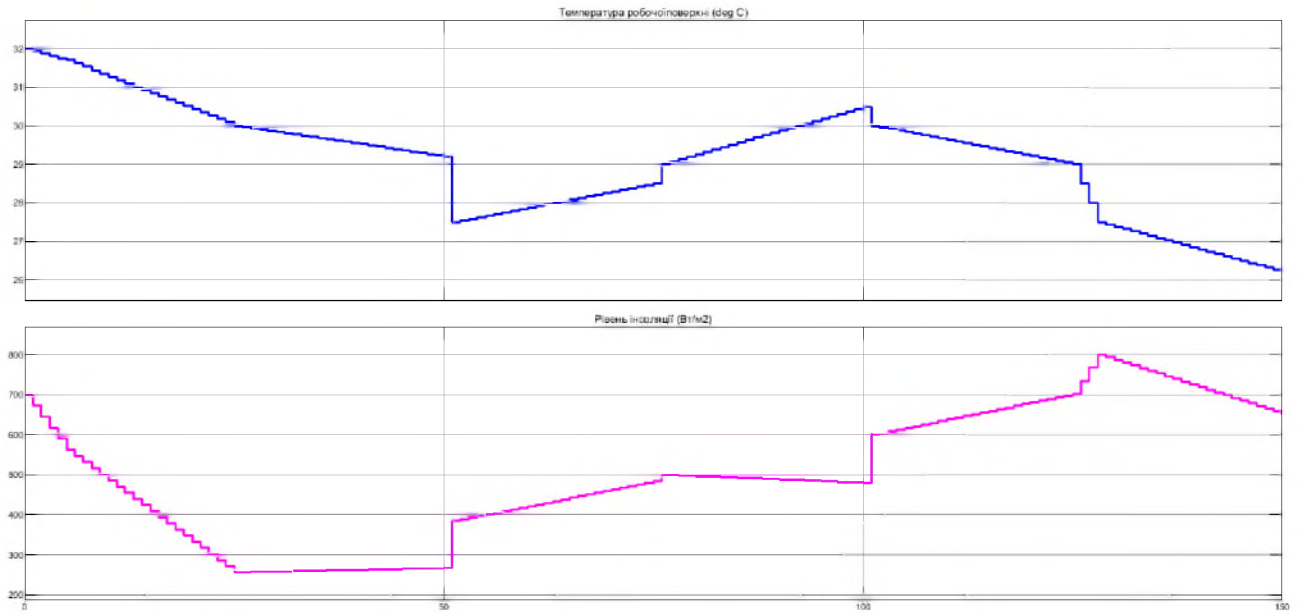


Рисунок 4.7 – Діаграма вхідного завдання для групи модулів

Архітектура оптимальної штучної НМ для досліджуваної системи зображена у вікні рис. 4.4 та являє собою штучну НМ із прямим розповсюдженням сигналів та зворотнім – помилки.

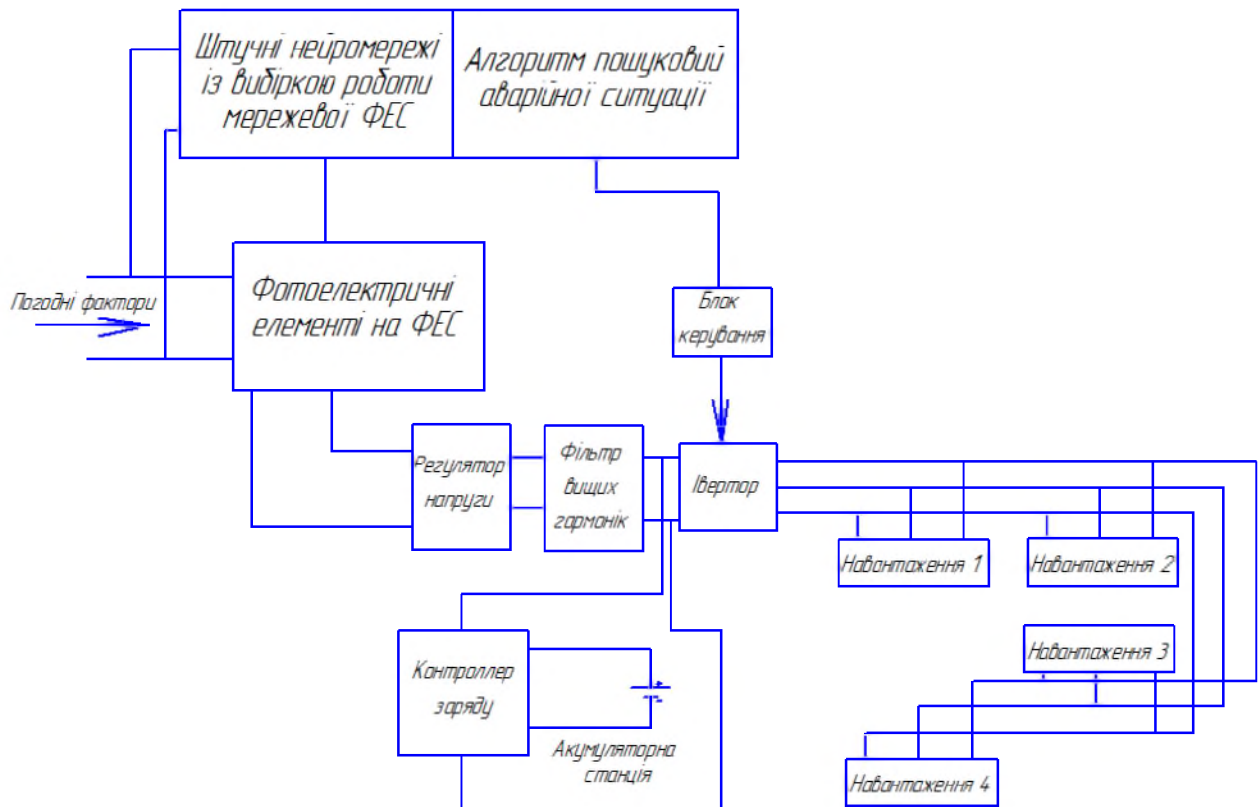


Рисунок 4.8 – Мережева станція фотоелектрична із роботою з штучною НМ

Тоді за рисунком 4.9 подається результат роботи всього спектру значення освітленості поверхні модулів. Представлена діаграма зображає процес у нормальному режимі, тоді під час аварійних ситуаціях робоча функція буде відрізнятися.

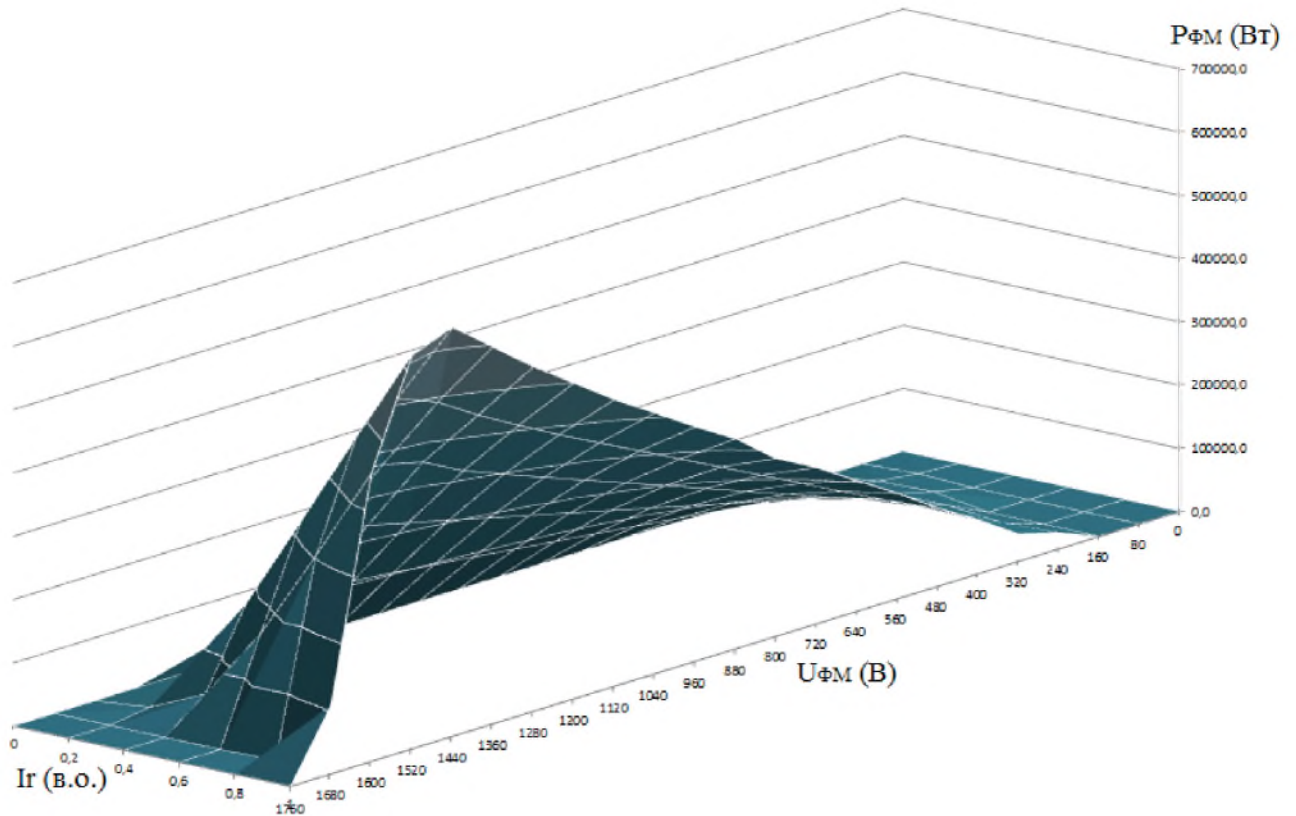


Рисунок 4.9 – Прогнозування відпрацюванню фотоелектричних модулів за допомогою штучної НМ

На рис. 4.10 представлено повну математичну модель досліджуваної енергосистеми із штучної НМ.

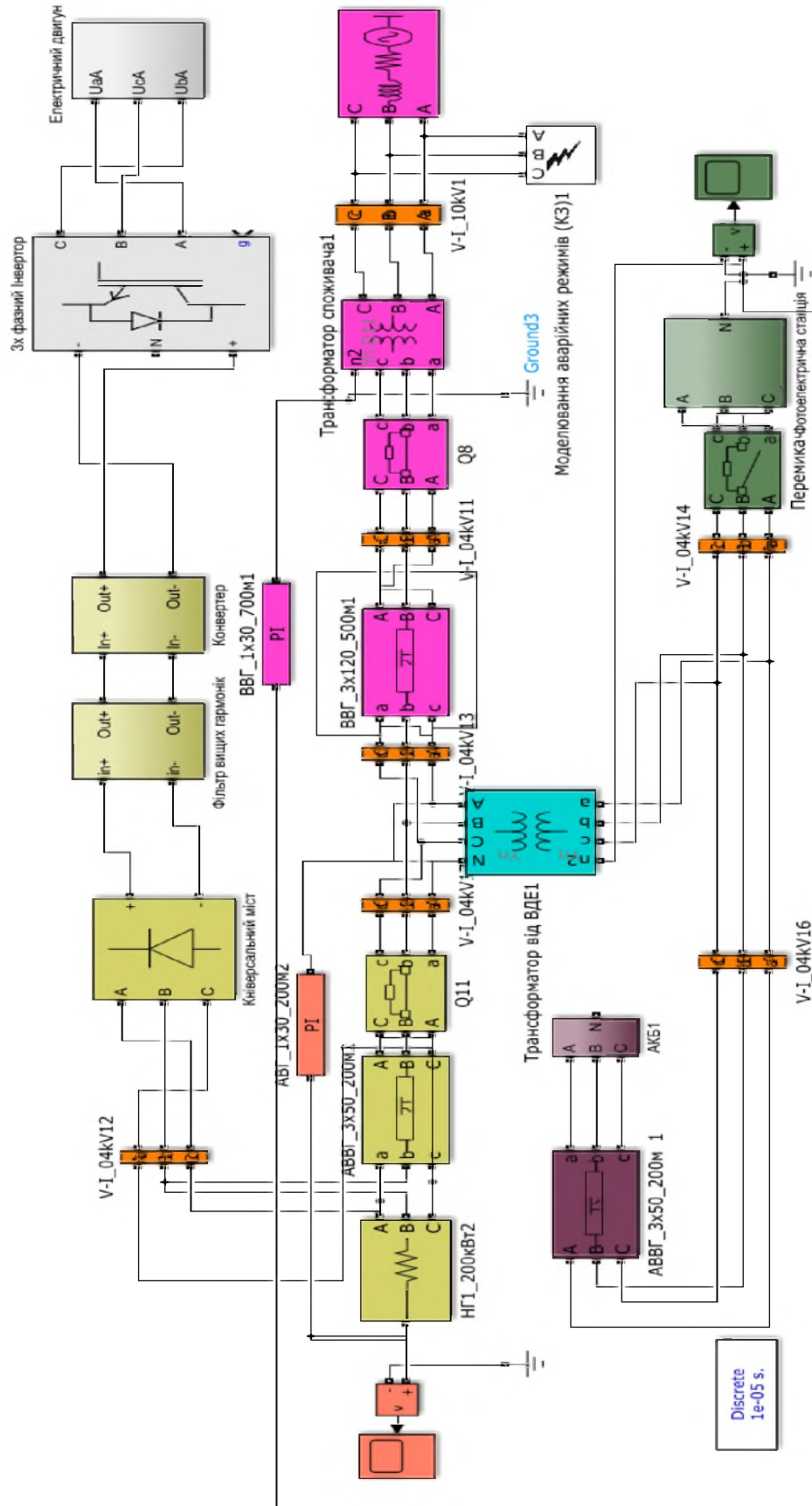


Рисунок 4.10 – Повна математична модель досліджуваної енергосистеми

## ВИСНОВКИ

Під час вирішення поставлених завдань у дипломній роботі, проведено дослідження режимів роботи мережевої станції із фотоелектричними модулями. Також важливим етапом стало виконання наукової роботи створення системи захисту у фотоелектричній мережевій станції. Передусім виконавши аналіз актуальних методів захисту таких систем сьогодення, було зроблено висновок, що зараз йде широке застосування в якості експертних систем – прилади із штучним інтелектом, а у якості виконавчих пристроїв, тобто тих, котрі й будуть керувати мережею із фотоелектрикою – автоматизовані системи захисту.

У першу чергу постала задача розробки власне мережевої фотоелектричної станції, котра буде функціонувати у Хмельницькій області. Для вирішення цього завдання на початку відбувався аналіз способів покращення роботи фотоелектричних модулів, методів електричного збору та монтаж модулів у єдину систему.

Окремо досліджувалися тут й роль чинників, котрі впливають суттєво на роботу фотоелектричних модулів, до прикладу на потужність вихідну частини станції – в режимі генерації.

У послідуєчому розділі роботи відбувся розрахунок та вибір складового електрообладнання станції – власне модулів, контролерів заряду, батарей для акумуляторної станції та інверторів. Вибір був зроблений також й щодо загальної схеми роботи єдиної мережі.

За проведенням розрахунком потрібної кількості модулів елементів та розбиття її на групи, також була модельована і робота цієї групи. Так 55 модулів зі 33 масивів були поєднанні паралельно, а тоді самі ці масиви були, між собою з'єднані послідовно. Результати отримані в ході такого дослідження електричних характеристик підтвердили теоретичні положення про фактори впливу температури й освітленості на вихідні чинники модулів.

Так було порівняно поміж собою різновиди систем із штучним інтелектом для захисту мережевих фотоелектричних станцій. Найкращі

результати продемонструвала із запропонованих система із штучними нейронними мережами, тоді й стало зрозуміло, що саме її потрібно інтегрувати в електричну мережу.

Для отримання уточнених результатів роботи станції відносно регіону її місце знаходження – Хмельницька область, завдяки застосування середовища PVsyst можливість з'явилась отримати задовільну кількість даних для проектування й виконання навчання штучних нейронних мереж, що будуть визначати шляхом надання прогнозу, режими та процеси майбутні в мережевої станції із альтернативним джерелом енергії.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1) М. Боксвелл, «Простий, практичний посібник із сонячної енергії – проектування та встановлення сонячних фотоелектричних систем.» Посібник із сонячної електроенергії – видання 2022 року: Видавець: Незалежно опубліковано, : Мова: англійська, ISBN-13 : 978-1907670787, 2022 р. — 249 с.

2) Д. Бейлі, Е. Матео, «Сонячна енергія в автономному режимі: Повний посібник для початківців із навчання, проектування та створення сонячних фотоелектричних систем», Lama Publishing LLC (видавець), Мова: іспанська, 2021 р. — 83 с.

3) Вибір типу батареї, яка краще підходить для автономної фотоелектричної енергосистеми – свінцова чи літієва. Нащо сонячним панелям необхідні акумулятори. Доступно: [Режим доступу]. <https://ekotechnik.in.ua/ru/krashha-batareya-dlya-sonyachno-systemy-litij-abo-svynets/> Дата звернення: 17.05.22

4) «Літій-іонний акумулятор для автономних джерел сонячної енергії.» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. [https://www.lithiumbatterychina.com/ru/lithium-ion-battery-pack-for-off-grid-solar-power-supply/?nGuDAT\\_hide\\_my\\_wp=1688](https://www.lithiumbatterychina.com/ru/lithium-ion-battery-pack-for-off-grid-solar-power-supply/?nGuDAT_hide_my_wp=1688) Дата звернення: 19.05.22

5) «Способи та схеми підключення батарей сонячних: як правильно провести монтаж та налаштування сонячної панелі.» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://sovet-ingenera.com/eco-energy/sun/sxemy-i-sposoby-podklyucheniya-solnechnyx-batarej.html#i-4> Дата звернення: 21.05.22

6) «Методологія зі збирання та експлуатації фотоелектричної станції» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <http://ru.smartnewenergy.com/info/tips-to-connect-solar-panels-together-31340598.html> Дата звернення: 23.05.22

7) М.Гіргіс, «Системи сонячної енергії. Частина 1» : Мова: англійська, Видавець: Незалежно опубліковано, ISBN-13 : 9780463344736, 2018 рік — 153 с.

8) «Робота сонячних батарей. Ідеальна сонячна батарея. Світловий струм. Структура сонячної батареї. Квантова ефективність. Ймовірність колекції. Фотоелектричний ефект. Спектральна характеристика.» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/collection-probability>  
Дата звернення: 26.05.22

9) «Резистивні ефекти. Вплив стійкості. Характерний опір. Опір шунта. Опір послідовний. Вплив як серії, так і опору шунта.» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.pveducation.org/pvcdrom/solar-cell-operation/resistive-effects> Дата звернення: 29.05.22

ДОДАТОК А.  
«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО  
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студента Д. Юрченко, групи ЕЛК – 18

| Призначення<br>документа | Документ | Умовні<br>позначення | Зміст зауваження |
|--------------------------|----------|----------------------|------------------|
|                          |          |                      |                  |

Дата \_\_\_\_\_

Підпис \_\_\_\_\_

(ПІБ)

## ДОДАТОК Б

### «Техніка безпеки при експлуатації та послідуєчій роботі з сонячними батареями»

Монтаж, експлуатація та технічне обслуговування системи на основі сонячних батарей потребує відповідного рівня технічних знань. Будь-яка робота із системою повинна виконуватись тільки з дотриманням правил техніки безпеки при електромонтажних та налагоджувальних роботах.

Сонячні батареї повинні використовуватися відповідно до їх прямим призначенням. Заборонено вносити технічні зміни у конструкцію батарей. Під час монтажу слід дотримуватися всіх місцевих правил та норм безпеки. Також слід дотримуватися вимог безпеки та монтажу та експлуатації інших компонентів системи.

Сонячні батареї під дією світла генерують постійний струм. При розриві такого ланцюга, наприклад, при відключенні проводу постійного струму від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга.

При роботі з сонячними батареями необхідно дотримуватись техніки безпеки:

- сонячні батареї ніколи не відключаються під навантаженням;
- використовуються лише справні проводки відповідного перерізу;
- контакти та роз'єми повинні бути чистими та сухими;[9]

При роботі із сонячними батареями є небезпека ураження струмом. Напруга сонячної батареї може з'являтися при мінімальному зовнішньому освітленні. Отже, для безпечного відключення сонячних батарей від системи необхідно встановити вмикач, автоматичний вимикач або коробку запобіжників у доступному місці.

Сонячні батареї слід підключати з дотриманням полярності (позитивний висновок до позитивного, негативний до негативного). Неправильне підключення кабелів може призвести до пошкодження або руйнування обладнання.

Встановлення сонячних батарей не виконується за сильного вітру. Підготуйте робочу зону таким чином, щоб уникнути травмування.

При експлуатації сонячних батарей дотримуються максимально допустимі механічні навантаження. Не допускається максимально допустимий рівень механічних навантажень, перед установкою необхідно перевіряти, щоб вплив погодних умов не пошкодив сонячні батареї.

Переконайтеся, що сонячні панелі заземлені. Для того, щоб знизити ризик виникнення ураження електричним струмом або пожежі, сонячні батареї повинні бути заземлені згідно з правилами безпеки.

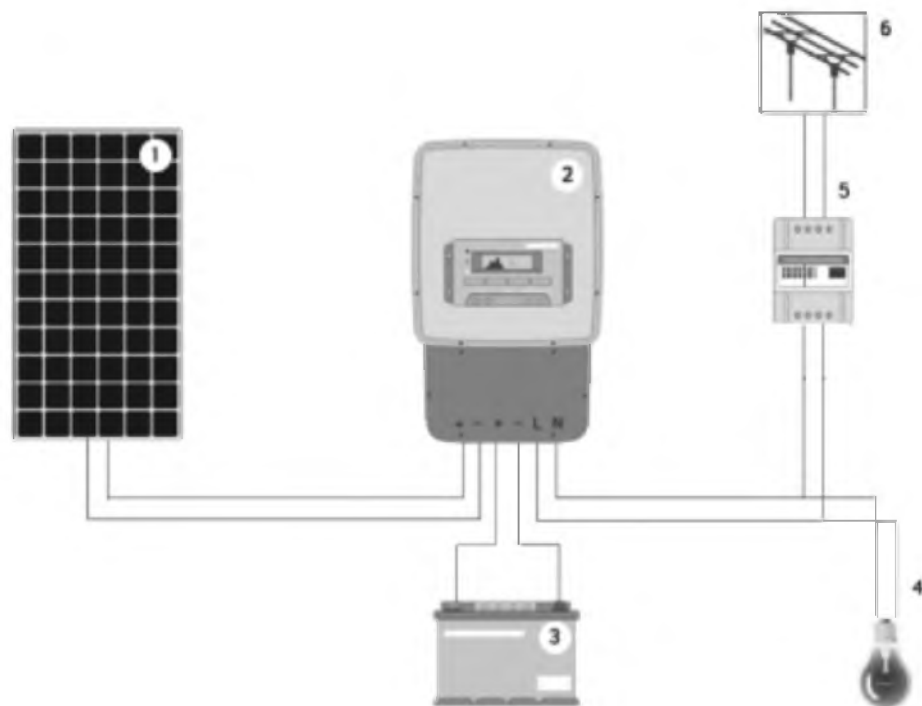


Рисунок Б.1 – Схема електричного з'єднання СФЕС із приймачами

Приймачі представлені на рис. Б.1.

1 – сонячна фотоелектрична модель,

2 – інверторний перетворювач, пристрій для заряджання акумуляторних батарей;

3 – акумуляторна батарея,

4 – приймач змінного струму,

5 – реверсивний лічильник електричної енергії,

6 – міська електрична мережа.

# ДОДАТОК В

## «Конструкція обраних фотоелектричних модулів»

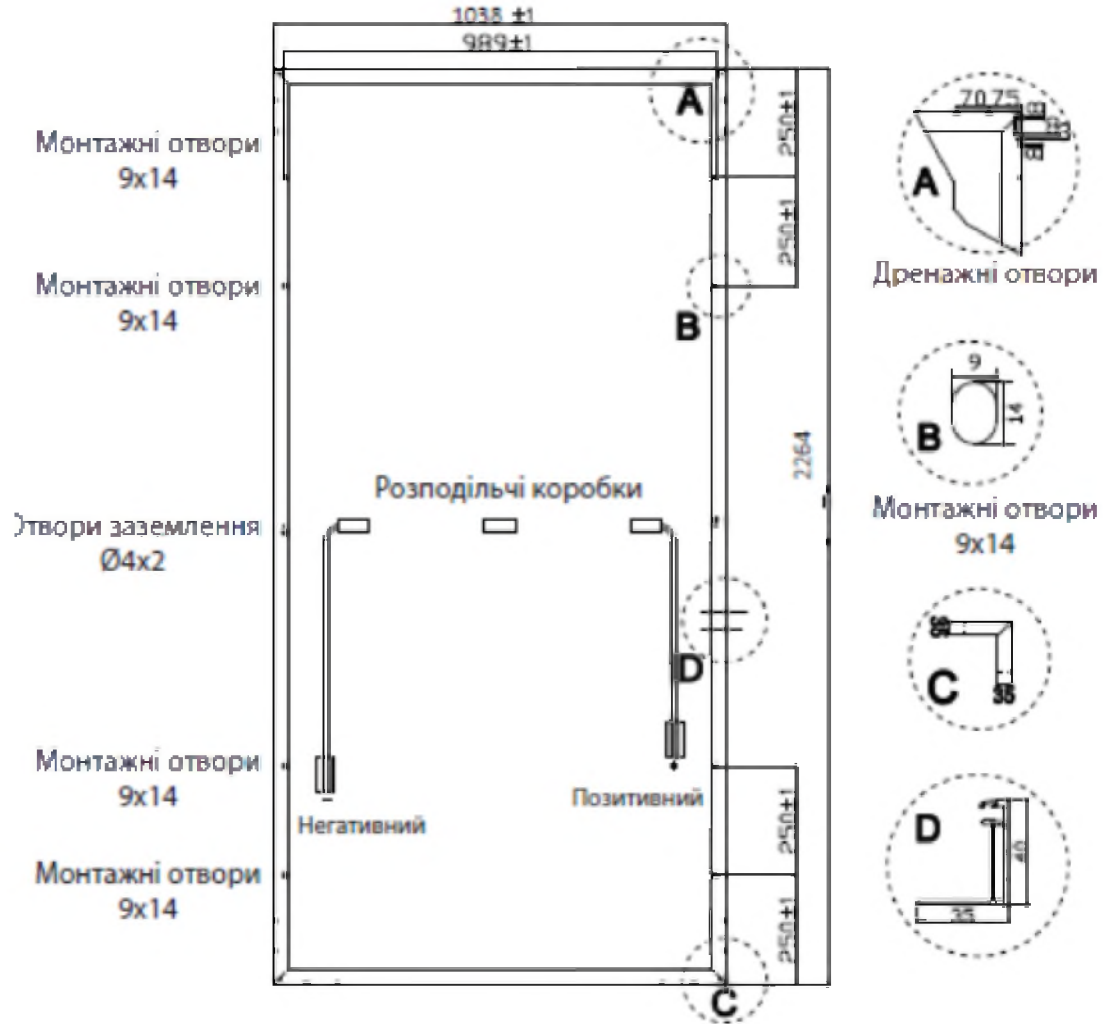


Рисунок – Зовнішній вигляд досліджуваної сонячної панелі



Рисунок – Зовнішній вигляд досліджуваної сонячної панелі

## Додаток Г

## «Тип та конструкція контролеру заряду»



Рисунок Г.1 – зовнішній вигляд контролеру заряду

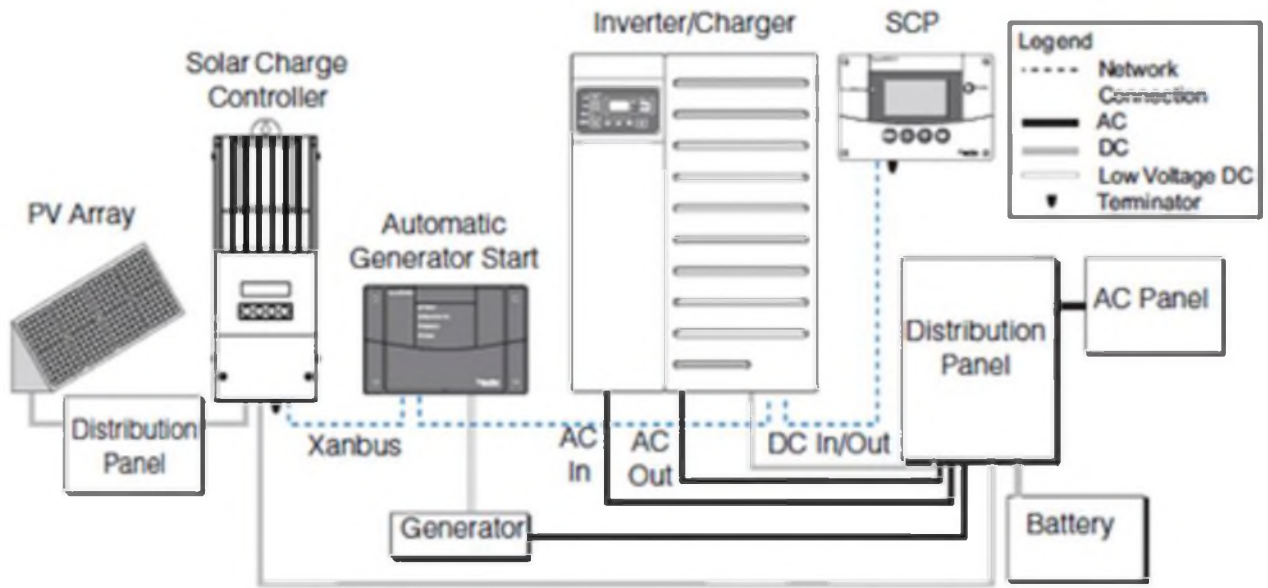


Рисунок Г.1 – Схема підключення контролеру заряду до електромережі

ДОДАТОК Д

«Вибір акумуляторних батарей для ФЕС»



Рисунок Д.1 – Схема підключення контролеру заряду до електромережі

Таблиця Д.1 – Номінальні параметри акумуляторних батарей

| Електричні характеристики. | Значення та одиниця виміру         |
|----------------------------|------------------------------------|
| Номінальна потужність      | 300 (А*год)                        |
| Напруга холостого ходу     | 51.2 (В)                           |
| Життєвий цикл              | > 3000 (при розряді 10С, 100% DoD) |
| Номінальна напруга         | 48 (В)                             |
| Діапазон робочої напруги   | 37.5–54.75 (В)                     |
| Ступень захисту            | IP67                               |