

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

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____	О. КОЛЛАРОВ
(підпис)	(ініціали, прізвище)
«___» _____	2022 р.

Кваліфікаційна робота
бакалавра

на тему Математичне моделювання роботи фотоелектричних елементів на базі штучних нейронних мереж.

Виконав: студент 4 курсу, групи ЕЛК-18
(шифр групи)

спеціальності підготовки 141 «Електроенергетика, електротехніка та
(шифр і назва спеціальності підготовки)

та електромеханіка»

Максим ЛЯХ	_____
(ім'я та прізвище)	(підпис)
Керівник <u>ст. викл. каф. «ЕлІн», П. БЕЛЕЦЬКИЙ</u>	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Рецензент _____	_____
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)	(підпис)

Нормоконтроль:

О. ЛЮБИМЕНКО

(підпис)

(дата)

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

Студент _____

(підпис)

(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
Максиму ЛЯХОВІ

(ім'я та прізвище)

1. Тема роботи: Математичне моделювання роботи фотоелектричних елементів на базі штучних нейронних мереж.

керівник роботи Павло БЕЛЕЦЬКИЙ, ст. викл. 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: Паспортні дані фотоелектричних елементів наступні: Номінальна потужність $P_{\text{ном}}=370(\text{Вт})$; номінальна напруга $U_{\text{ном}}=34.3(\text{В})$, напруга холостого ходу $U_{\text{х.х}}=40.9(\text{В})$, струм к. з. $I_{\text{к.з.}}=11.49(\text{А})$, У роботі передбачається виконати аналіз фотоелектричних елементів, які знаходяться у Волинській області.

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

1. Аналіз функціонування фотоелектричних елементів. Огляд зовнішніх параметрів, які впливають на роботу моделі ФЕ, вплив різних типів з'єднання.

2. Представлення та аналіз роботи математичної моделі ФЕ.

3. Вибір архітектури, побудова, тренування і подальший аналіз роботи штучної нейромережі. Порівняння роботи моделі фотоелектричного елемента та штучної нейромережі. Робота ФЕ на навантаження.

4. Огляд методів захисту електрообладнання у частині питань охорони праці.

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

Наявні 12 слайдів презентаційного матеріалу.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 4.1–4.3	П. БЕЛЕЦЬКИЙ, ст. викл. 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	27.04–07.05.22	
2.	Розділ 2	08.05–13.05.22	
3.	Розділ 3	14.05–27.05.22	
4.	Розділ 4	28.05–05.06.22	
5.	Розділ 5 «Охорона праці»	30.05–05.06.22	

Студент _____
(підпис)

Максим ЛЯХ
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Павло БЕЛЕЦЬКИЙ
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

М. ЛЯХ, «Математичне моделювання роботи фотоелектричних елементів на базі штучних нейронних мереж.» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» – ДВНЗ ДонНТУ, м. Луцьк, 2022 рік.

У виконаній кваліфікаційній роботі було проведено комплекс досліджень, котрі стосується методології покращення роботи мат. моделі фотоелектричного елемента, під час паралельного застосування у електричній мережі із штучними нейромережами. Практичні дослідження проводилися із застосуванням програмного середовища Matlab (версії R2022a) та PVSyst (версії 7.2).

Під час розробки дипломного проекту вивчалась робота фотоелектричних елементів у Волинській області (а саме у м. Луцьку), обирались допоміжне обладнання для коректної роботи електричної мережі та навантаження. Під цим розуміється передача енергії від фотоелектричних елементів, які поєднувалися у модулі, кількість, котрих було визначено за проведенням розрахунком. Окрім цього дослід відбувався і параметрів, які впливають суттєво на роботу фотоелектричного елемента, а саме на його вихідну потужність. Так було відмічено, окрім звичних температури та освітленості поверхні ФЕ, ще й кут нахилу самого елемента, цей параметр виявився доволі суттєвим для стаціонарних(без динамічного повороту) елементів.

Ключові слова: ШТУЧНІ НЕЙРОМЕРЕЖІ, ВАГОВІ КОЕФІЦІЄНТИ, PVSYST, MATLAB, ТРЕНУВАННЯ МЕРЕЖ, ЕЛЕКТРОМЕРЕЖА, ДАТЧИК НАПРУГИ, НАВАНТАЖЕННЯ, ПРОГНОЗУВАННЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНИЙ ЕЛЕМЕНТ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	7
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ. ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИКИ. СПОСОБИ З'ЄДНАННЯ МОДУЛІВ ПОМІЖ СОБОЮ.	10
1.1. Фотоелектрична панель. Її фізичні основа та головні компоненти.	10
1.2 Способи з'єднання поміж собою фотоелектричних елементів та модулів.	14
1.3 Вплив додаткових факторів на роботу моделі фотоелектричного елемента.	17
1.4 Вплив байпасного діоду на роботу фотоелектричний елемент.	22
2. ОБРАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ У ФЕС ТА ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕ.	24
2.1 Дослідження роботи моделі ФЕ.	24
2.2 Розрахунок системи із фотоелектричними елементами та моделювання її роботи.	29
3. СТВОРЕННЯ, ТРЕНУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ.	35
3.1 Вхідні дані для виконання тренування із розробленою штучною нейромережею.	35
3.2 Тренування штучної нейромережі.	48
4. РОБОТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ, ЯКА ВКЛЮЧАЄ РЕАЛЬНІ ФЕ ТА ШІМ.	56
4.1 Створення моделі штучної нейромережі, яка модулює роботу фотоелектричного елемента.	56
4.2 Дослідження паралельної роботи на навантаження.	59

ВИСНОВКИ	62
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	64
ДОДАТОК А «Зауваження до роботи контролера»	66
ДОДАТОК Б «Правила та особливості експлуатації сонячних батарей».	67
ДОДАТОК В «Зовнішній вигляд досліджуваної сонячної панелі».	71
ДОДАТОК Г «Передача даних для тренування ШНМ»	72
ДОДАТОК Д	76

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ФЕ – фотоелектричний елемент;
ДС – датчик струму;
ЗС – зворотній струм;
АБ – акумуляторна батарея;
ДО – датчик освітлення;
ДН – датчик напруги;
ІП – інверторний перетворювач;
К.З. – режим короткого замикання;
РР – робочий режим;
ФС – фотоелектричний струм;
Х.Х. – режим холостого ходу;
СП – сонячні панелі;

ВСТУП

Об'єктом дослідження у роботі виступають: фотоелектричні елементи, штучні нейромережі, які моделюють їх роботи, електрична мережа, котра містить альтернативні джерела та навантаження.

Метою розробленого проекту виступає створення та оптимізація інтелектуальних штучних нейромереж, котрі будуть давати якісну та точну оцінку майбутнім процесам у фотоелектричних елементах, а головне виконувати прогноз, щодо режимів у яких будуть перебувати ФЕ, та генерованої потужності електрики на їх виході [1].

Практична значимість отриманих результатів та методик полягає у тому, що завдяки побудованим моделям штучна нейромережа, заздалегідь визначає майбутні процеси у електричній мережі, а це значить, що можна прогнозувати режими, та роботи керування наперед. Наприклад, для випадку, коли відомо, що через певний час кількість електричної енергії від ФЕ буде недостатньо для живлення навантаження, перемикає його на акумуляторні батареї чи на централізоване живлення і навпаки, якщо після тривалої перерви (яка може бути викликана хмарами чи іншими природними явищами) у живленні, ШНМ дає оцінку про достатню кількість електрики, роботи зворотне перемикає.

Про доцільність та практичну значущість паралельної роботи ШНМ із фотоелектричними елементами говорить і те, що під час застосування такої методології відбір енергії сонячними модулями збільшується на значення приблизно 9.5-17% (в залежності від вхідних параметрів та розглянутих погодних умов), від мереж де це не застосовується [2].

Для успішного виконання дипломного вирішені наступні завдання:

1. Аналіз генерація електрики у фотоелектричних елементів та способів з'єднання модулів поміж собою
2. Обрання типу фотоелектричних елементів в ФЕС та допоміжних пристроїв(акумуляторних батарей, конвертору) для дослідження електричних характеристик ФЕ.

3. Проектування, тренування і подальше дослідження на налагодження роботи математичної моделі штучної нейромережі, яка імітує роботу фотоелектричних елементів.

4. Узгодження та дослідження паралельної роботи фотоелектричної станції, яка включає реальні ФЕ та проекрованої ШНМ [4,5].

Обсяг і структура дипломного проекту – випускна кваліфікаційна робота бакалавра становить 77 машинописних сторінок, у цей склад входять:

- анотація;
- вступ;
- чотири основні розділи;
- загальні висновки за роботою;
- перелік використаних джерел, котрий налічує 9 найменувань,

Робота містить також 45 додатків, 2 таблиці та 53 рисунків.

1. АНАЛІЗ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ЕЛЕМЕНТІВ. ГЕНЕРАЦІЯ ЕЛЕКТРИКИ. СПОСОБИ З'ЄДНАННЯ МОДУЛІВ ПОМІЖ СОБОЮ.

1.1. Фотоелектрична панель. Її фізичні основа та головні компоненти.

Передумови для використання фотоелектричного ефекту у одному елементі, а отже й у панелі в цілому, є наступними:

- Сонячне світло повинно поглинатися твердим тілом;
- Усередині напівпровідника (фотоелектричного елементу) носії заряду розділені зоною переходу;
- Вільні носії заряду повинні бути результатом поглинання сонячної енергії;
- Електричні контакти для збору струму необхідні у нижній та верхній частині напівпровідника [3].

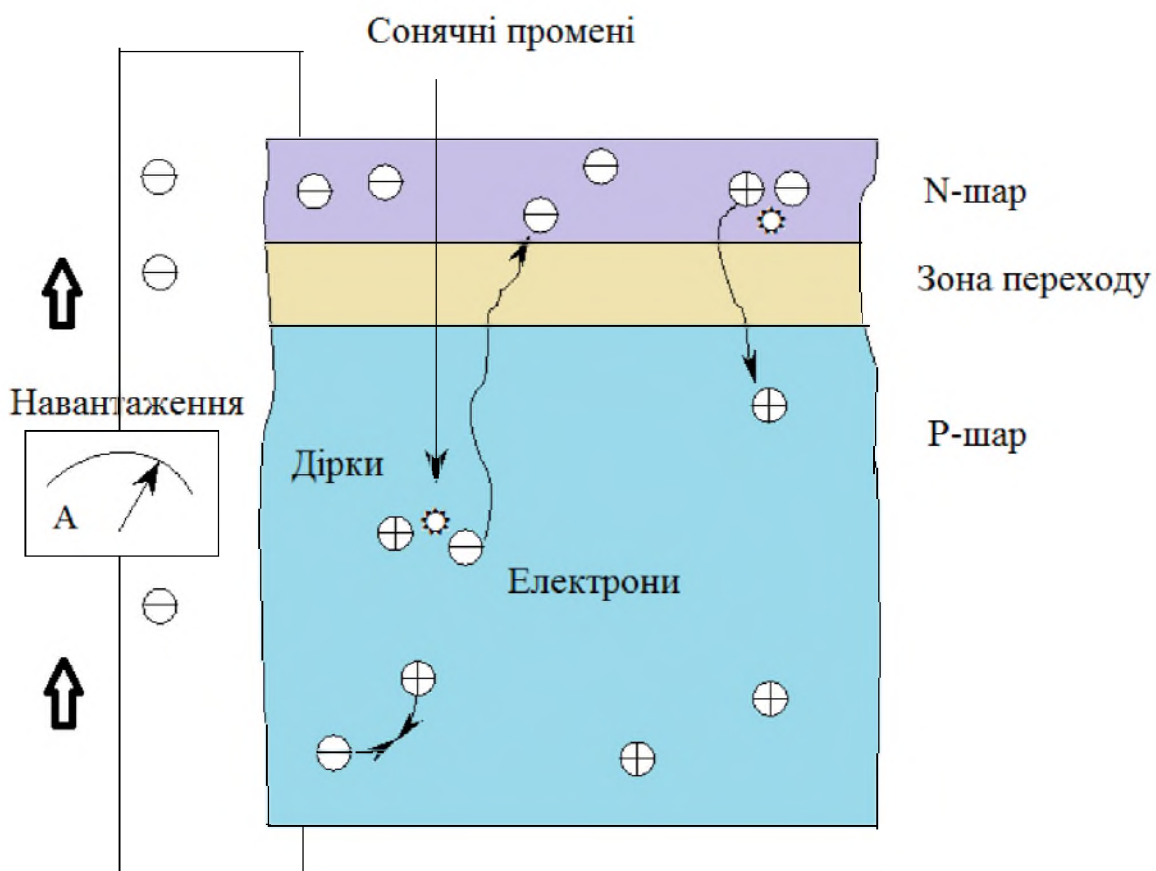


Рисунок 1.1 – Принцип дії фотоелектричного ефекту у елементі

Якщо ж переходити до розгляду генерації електрики за допомогою ФЕ, то не можна не згадати про, в першу чергу, про вплив та витрати від цього впливу зовнішніх факторів, так наприклад, оптичні витрати чи температурні у ФЕ.

Втрати оптичні, в основному, впливають на значення вихідної потужності фотоелектричного елементу через зниження струму у режимі короткого замикання. Втрати оптичні складаються із рівня освітленості, котра могло б створити т.з. пару електрон-дірка (рис. 1.1), проте цього не відбувається, адже світло відбивається від передньої (скляної) поверхні чи тому, що воно не поглинається самим сонячним елементом [5,8].

В той же час, для найпоширеніших напівпровідникових фотоелектричних елементів увесь видимий спектр 350 – 770 (нм) має достатню кількість енергії для утворення т.з. пар електрон-дірка, а звідси маємо, що увесь видимий спектр світла, в ідеальному випадку поглинається ФЕ.

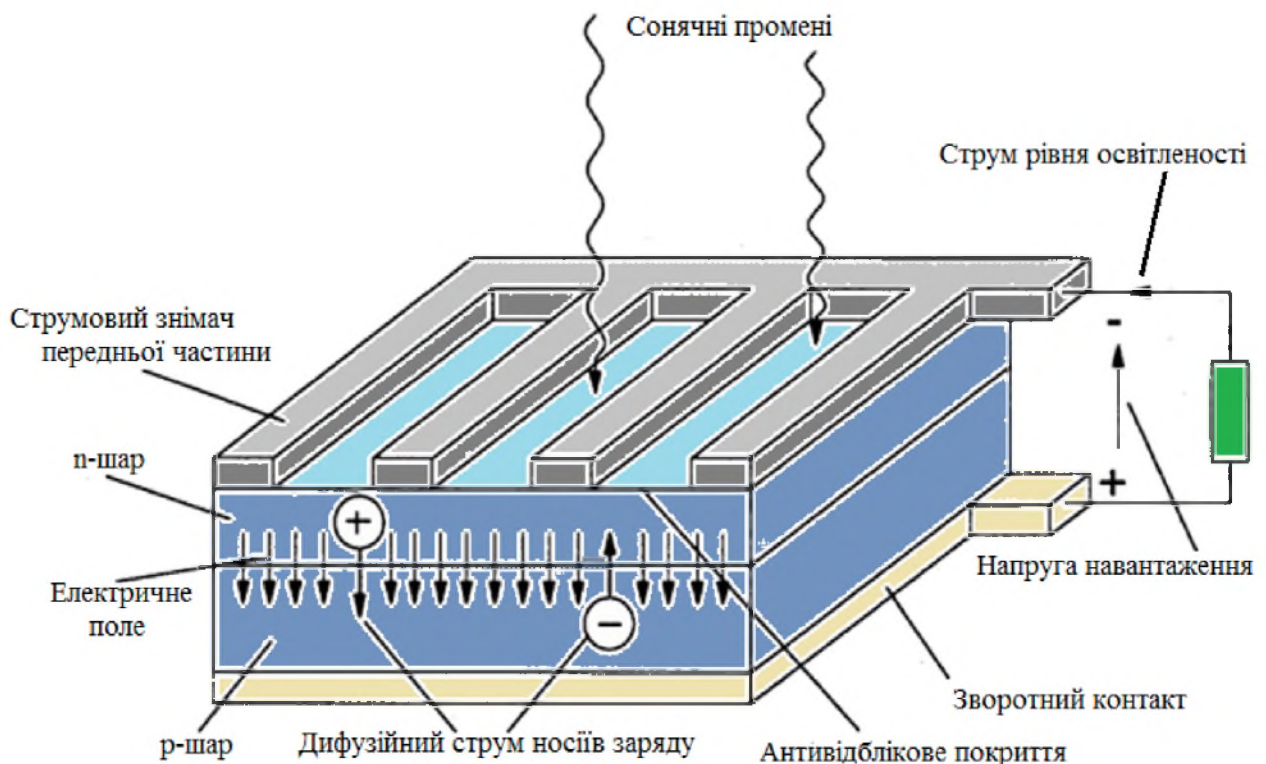


Рисунок 1.2.– Внутрішня конструкція сонячного елементу, отримання фотоелектричного струму

В наш час, існує декілька способів знизити вплив оптичних втрат на роботи фотоелектричного елементу, серед них основними виступають:

- Покриття поверхні верхнього контакту можливо звести до мінімуму, при цьому необхідно мати на увазі, що таке рішення здатне призвести й до паралельного збільшення значення послідовного опору, що вплине на вигляд ВАХ елементу.

- На верхній(або передній) поверхні елементу фотоелектричного потрібно використовувати антиблисківе покриття.

Також відблиски можливо зменшити і за допомогою використання особливої текстури поверхні елементу.

Фотоелектричну панель можна зробити й товще, аби збільшити поглинання, проте світло, котре поглинається більше за довжину дифузії від переходу, має ймовірність низьку, щодо збору та не сприятиме величині струму у режимі короткого замикання [4,7].

Показник довжини оптичного шляху у фотоелектричному елементі (рис. 1.2.) бути може збільшена шляхом комбінації зміни текстури поверхні і поглинання рівня сонячної інсоляції.

Віддзеркалення кремнієвої поверхні (без додаткових домішок) фотоелектричного елементу становить понад 25–30(%) завдяки високим показникам заломлення сонячних променів. Складаються антибликові покриття із тонкого шару діелектричного матеріалу, товщина якого спеціально підбирається, аби вплив інтерференції у покритті не спричиняв накладення хвилі (тобто резонансу), відбитої від передньої поверхні активівного покриття (рис. 1.2), із хвилею, котра відбита від поверхні напівпровідника. Поточні відхилення від фази хвилі заважають деструктивно одна одній, що призводить до нульової сумарної відбитої енергії. Також до антиблікових покриттів можна віднести ті, що застосовують ефекти інтерференції.

Так на рис. 1.3 продемонстровано конструктивне виконання антиблікових поверхонь фотоелектричних елементів та процес, які протікають ними [2,5].

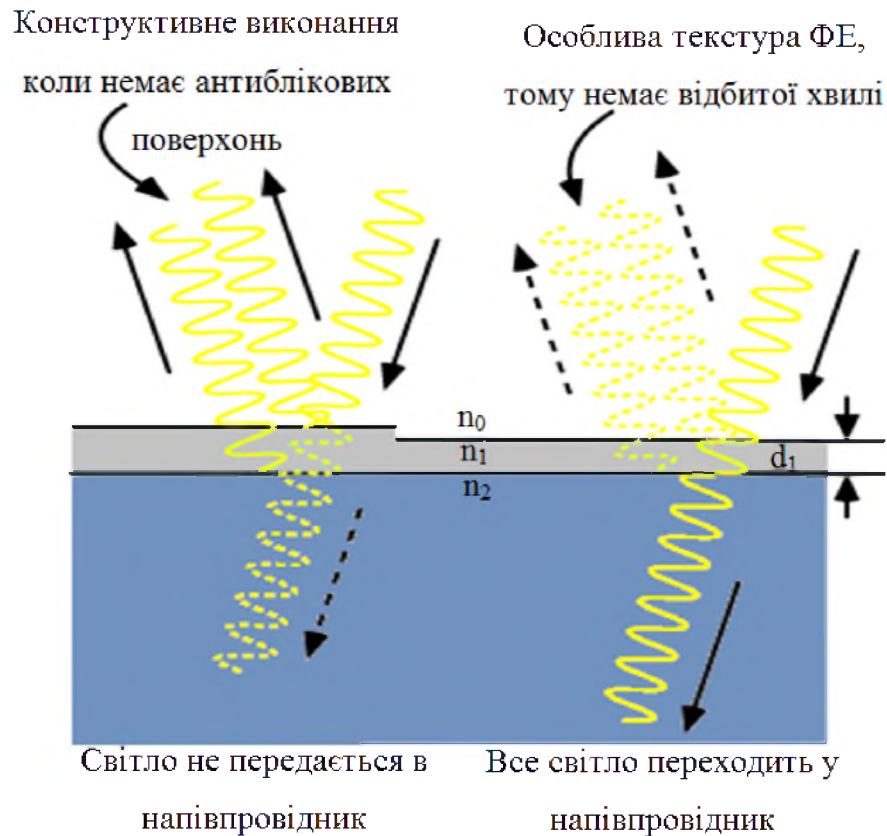


Рисунок 1.3 – Конструктивне виконання антиблікових поверхонь фотоелектричних елементів

Тож значення товщини антиблікового покриття обирають таким чином, аби значення довжини хвилі у самому діелектричному матеріалі становила 20-30% від довжини вхідної хвилі. Для антиблікового покриття фотоелектричного елемента на четверту частину довжини від хвилі із прозорого матеріалу із значенням коефіцієнту заломлення – n_1 та променями світла, які потрапляють на покриття із довжиною хвилі у вільному просторі – λ_0 , та значенням товщина d_1 , котра створює мінімальне відбиття та розраховується за виразом:

$$d' = \frac{\lambda_0}{4 \cdot n_1} \quad (1.1)$$

Відбивна здатність поміж двома матеріалами із різними показниками заломлення може бути визначена:

$$R = \left(\frac{n_0 - n_{Kp}}{n_0 + n_{Kp}} \right)^2, \quad (1.2)$$

де: – n_0 – показник заломлення променів, які потрапляють на поверхню фотоелектричного елементу;

– n_{Kp} – показник комплексний заломлення у кремнієвому фотоелектричному елементі.

Тоді для неінкапсульованого фотоелектричного елементу комірки значення $n_0 = 1$

А для інкапсульованої комірки – становить $n_0 = 1.5$

Показник заломлення кремнієвого фотоелектричного елементу змінюється разом із довжиною хвилі [7,9].

1.2 Способи з'єднання поміж собою фотоелектричних елементів та модулів.

Існує усього три види з'єднання фотоелектричних елементів, а відповідно й сонячних панелей поміж собою.

Першим видом, буде послідовне поєднання фотоелектричних пристроїв поміж собою. При такому з'єднанні вихідна напруга буде прямо пропорційна залежати від кількості елементів і в той же час буде мати постійне значення струму.

$$\begin{cases} U_{\text{с.Ф.Е.}} = n_{\text{Ф.Е.}} \cdot U_{\text{Ф.Е.}} \\ I_{\text{с.Ф.Е.}} = I_{\text{Ф.Е.}} \end{cases} \quad (1.3)$$

Приклад виконання схеми послідовного з'єднання фотоелектричних елементів та їх ВАХ продемонстровані на рис. 1.4

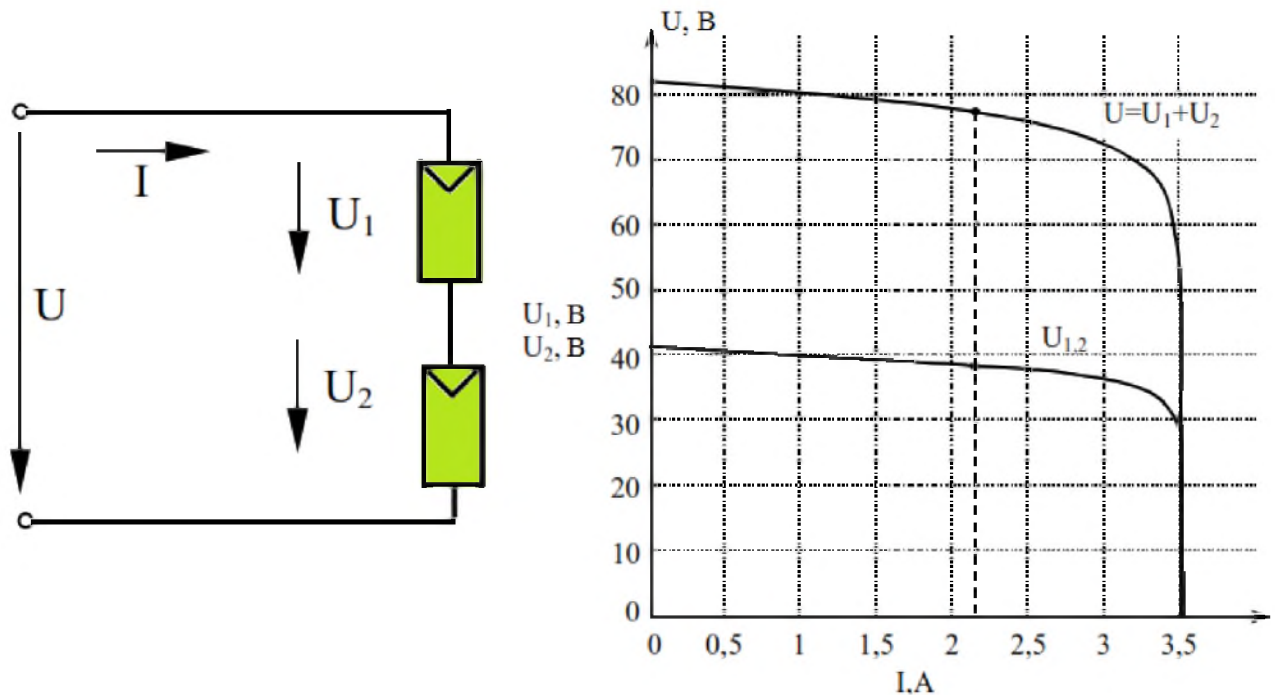


Рисунок 1.4 – Послідовне з'єднання кількох фотоелектричних панелей та ВАХ при такому з'єднанні

Другом видом, поєднання фотоелектричних елементів поміж собою виступає паралельний тип. Під час цього типу з'єднання, навпаки величина вихідного струму є прямо пропорційною до кількості елементів, при цьому буде мати постійне значення напруга.

$$\begin{cases} U_{\text{ф.Е.}} = U_{\text{ф.Е.}} \\ I_{\text{ф.Е.}} = n \cdot I_{\text{ф.Е.}} \end{cases} \quad (1.4)$$

На рис. 1.5 продемонстровані приклад застосування схеми паралельного з'єднання фотоелектричних елементів та їх ВАХ.

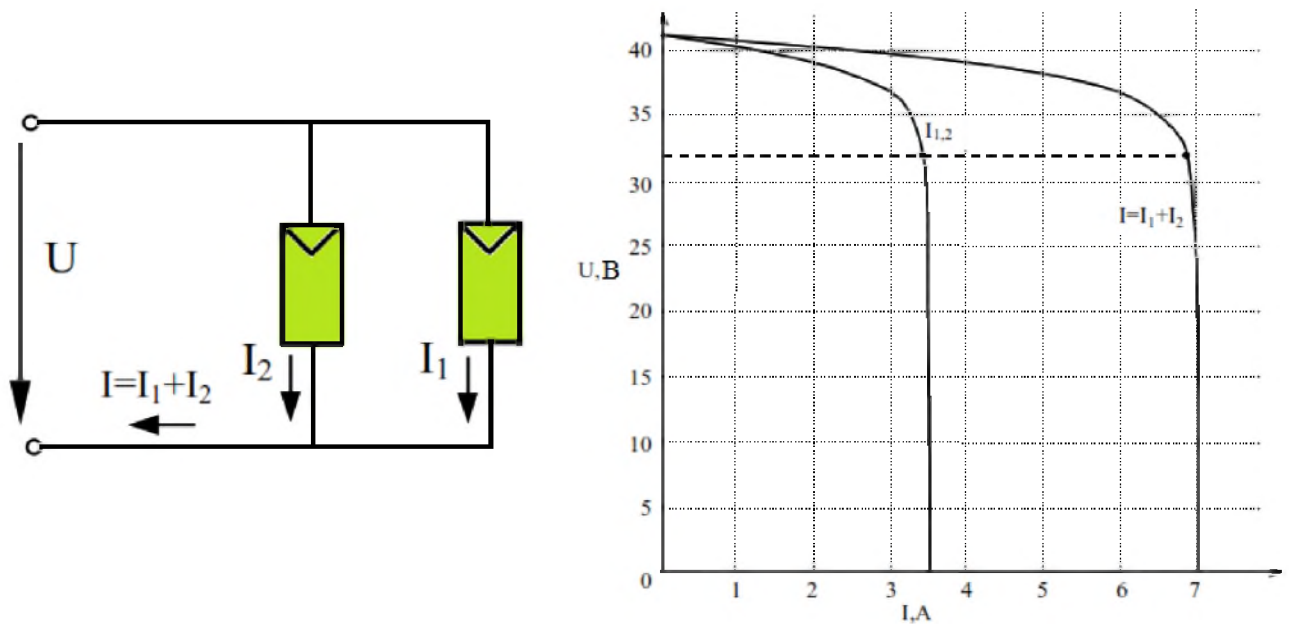


Рисунок 1.5 – Паралельне з'єднання кількох фотоелектричних панелей та їх ВАХ

Третім видом, поєднання фотоелектричних елементів поміж собою виступає, найбільш розповсюджений вид – змішаний. Адже струм та напруга панелей з'єднаних тільки паралельно чи послідовно не дають необхідного значення струму чи напруг відповідно. Тим паче, якщо це стосується окремих комірок із яких і складається сонячна панель.

При цьому типі з'єднання, величина й вихідного струму і напруги залежить прямо пропорційною від кількості з'єднаних елементів, перша величина від кількості послідовно, а друга від паралельно.

$$\begin{cases} U_{\text{с.ф.Е.}} = 4 \cdot U_{\text{ф.Е.}} \\ I_{\text{с.ф.Е.}} = 2 \cdot I_{\text{ф.Е.}} \end{cases} \quad (1.5)$$

На рис. 1.6 продемонстровані приклад застосування схеми змішаного з'єднання фотоелектричних елементів.

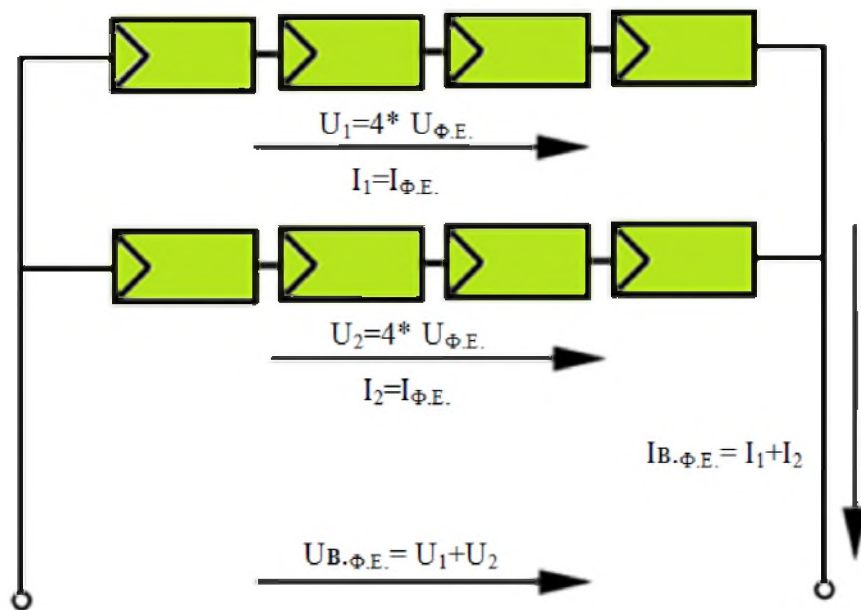


Рисунок 1.6 – Змішане з'єднання групи фотоелектричних елементів

1.3 Вплив додаткових факторів на роботу моделі фотоелектричного елемента.

Функція середньодобової сонячної інсоляція (рівня освітленості), як залежність від широти наведена на рис. 1.7. Тут показані три криві, де подані показник середнього рівня сонячною інсоляція протягом року, та максимальна можлива стаціонарна (без приладів для здійснення поворотом конструкції із сонячними модулями) генерації електрики фотоелектричних панелей, інша крива являє собою горизонтальну сонячну інсоляція (мінімальний варіант генерації), а третю пропонується визначити виходячи із конкретної задачі. Так маючи за мету дослідити роботу фотоелектричного елемента у Волинській області (а саме широти 50.42^0) та значення широти для цієї місцевості було і виконано дослідження (рис. 1.7) та отримано показник «кут нахилу модулів», котрий необхідно підтримувати, аби мати максимум генерації електрики на виході [4].

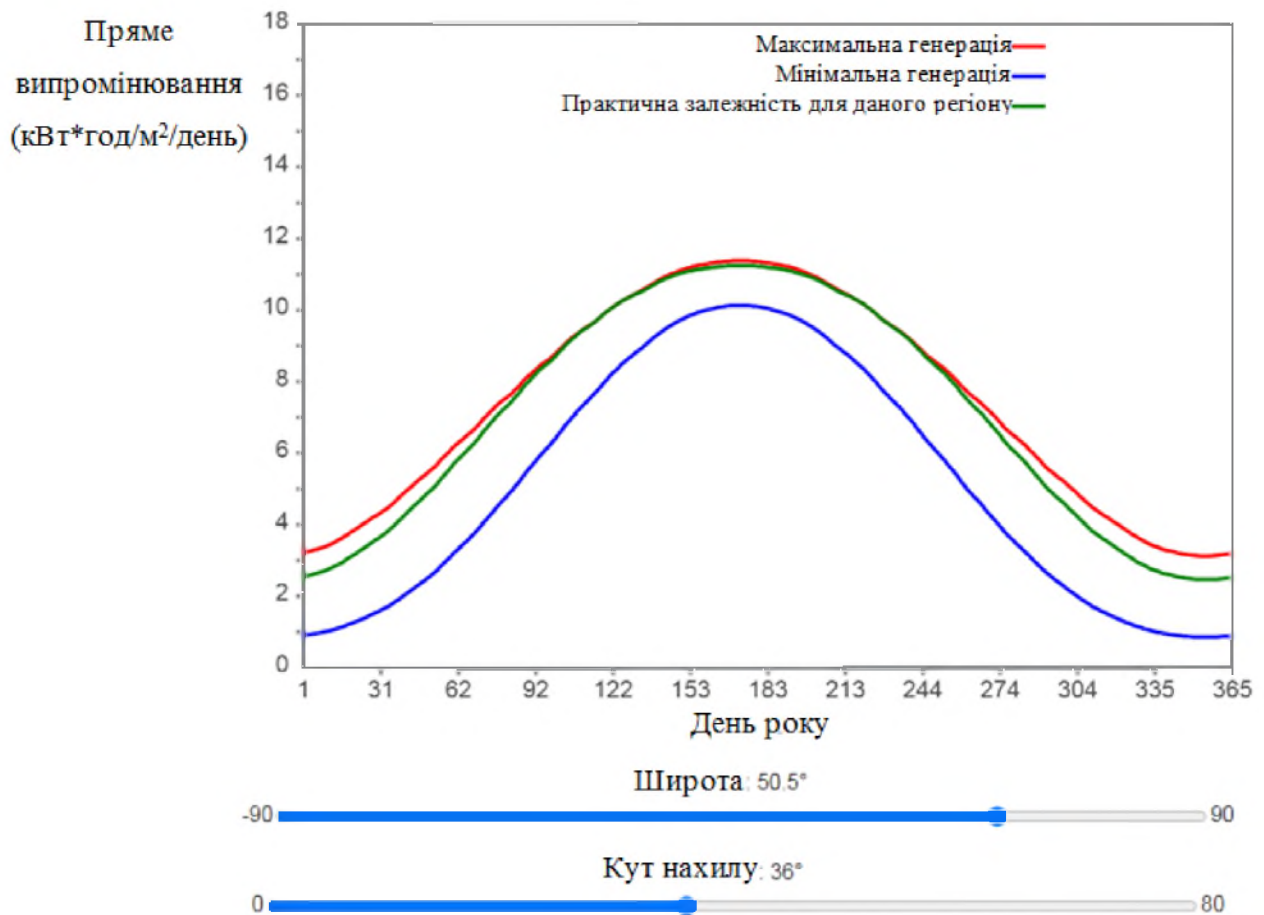


Рисунок 1.7 – Функція середньодобової рівня освітленості поверхні ФЕ, від географічної широти

Ще однією важливою характеристикою виступає функція (рис. 1.8), котра показує час роботи фотоелектричного елемента. Ця залежність стане у нагоді, коли необхідно мати прогноз, коли підключати резерв живлення у електричній мережі, тобто час, де фотоелектричний елемент вже не в змозі генерувати електрику. Також за характеристикою стає зрозумілим, що перед кінцем роботи та на початку фотоелектричного елемента (кінець та початок дня) кількість електрики вже не є достатнім, для передачі енергії до навантаження.

Особливість характеристик полягає в тому, що у середньому за рік сонячні промені потрапляють у середньому 12 годин на добу для розглянутої широти.

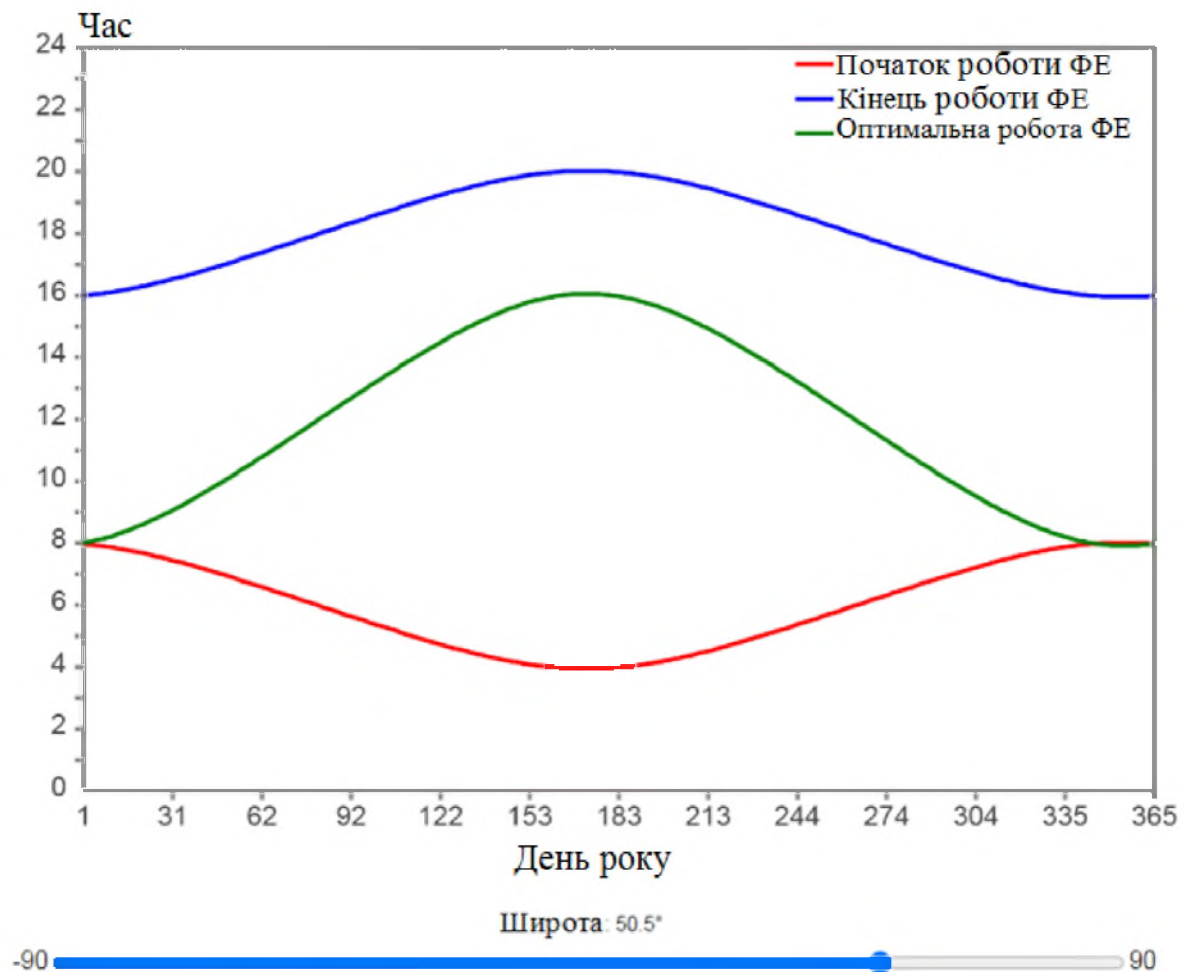


Рисунок 1.8 – Функція середньодобової рівня генерації потужності, від географічної широти

Як і інші всі напівпровідникові пристрої, фотоелектричні елементи є чутливими до зміни температури. Тож, підвищення температури знижує заборонену зону напівпровідника (поміж р-п шарами), а тим самим і впливає на більшість показників напівпровідникового матеріалу. Зменшення значення ширини зони забороненої напівпровідника із підвищенням температури можна розглядати, як підвищення енергії електронів у самому матеріалі. Тож і для розриву зв'язку (переходу через заборонену зону) тепер вже потрібна значна менша енергія. У самій моделі зв'язку напівпровідникової забороненої зони менше значення енергії зв'язку зменшує також і заборонену зону. Тому із підвищення температури зменшується ширину забороненої зони [3,5].

При цьому хоча значення ефективності фотоелектричних модулів зазвичай вказується у стандартних умовних випробуваннях (характеристика, що подається разом із паспортом приладу), їх робота у реальних польових умовах (на конкретній місцевості та відповідним суміжним обладнанням) має велике значення для отримання точного прогнозу їх коефіцієнту ефективності і вихідної потужності.

Тож на процес перетворення фотоелектрики, окрім миттєвого рівня освітленості поверхні, залежить ще також й від температури модулів. А на значення температури модуля у свою чергу впливають кліматичні умови, а також самі технічні характеристики фотоелектричних панелей [8].

У фотоелектричних елементах параметром, на котрий найбільше впливає процес підвищення температури, є напруга холостого ходу. Цей вплив було представлено на рис. 1.9 за допомогою мат. моделі, що буде більш детально досліджуватися вже у 2 розділі.

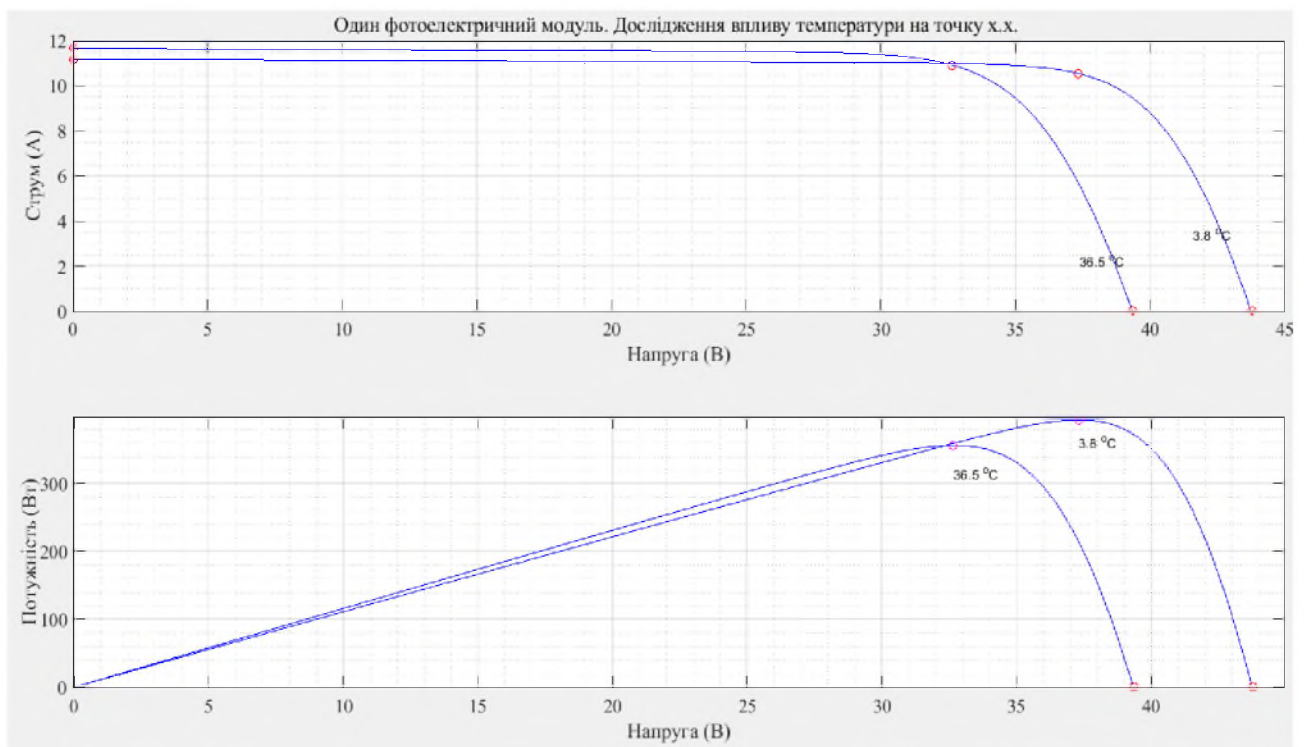


Рисунок 1.9 – Характеристика потужності та ВАХ від температури поверхні

Так порівняно було максимальної та мінімальної значення температури поверхні (36.5^0 та 3.8^0) і отримані цікаві результати. По-перше стає зрозуміло із рис. 1.9, що при менших температурах відбувається більші об'єми потужності, ніж при великих. Що ж стосується порівняння двох характеристик, то при:

$$-U_{x.x.(36.5)}=11.657(\text{В}).$$

$$-U_{x.x.(3.8)}=11.18(\text{В}).$$

Що доводить до висновку про вплив температури на режим Х.Х.

Напруга режиму холостого ходу елемента зменшується із температурою через залежність $I_{x.x}(n)$. Тоді вираз для визначення $I_{x.x}$ із одного шару р-n-переходу можна визначити як:

$$I_{x.x} = \frac{S \cdot q \cdot D \cdot n_i^2}{N \cdot l} \quad (1.6)$$

де: – q – електронний заряд;

– S — сумарна площа поверхонь фотоелектричних елементів;

– D – дифузійний коефіцієнт неосновного носія, який для кремнію наведений, як функція легування;

– l – значення дифузійної довжини неосновних носіїв;

– ND – коефіцієнт врахування домішок у склад фотоелектричних елементів;

– n_i – концентрація власних носіїв.

У приведеному вище виразі багато показників мають певну залежність від температури, проте найбільший значний ефект пов'язаний зі внутрішньою концентрацією носіїв, є величина (n_i). Значення концентрації власних носіїв залежить від величини енергії забороненої зони (із зменшенням забороненою зоною, котре передає вищу концентрацію власних носіїв), та від енергії, котру мають носії, під час високих температур, котрі дають вищу концентрацію власних носіїв. Рівняння для внутрішньої концентрації носіїв є:

$$n_i = \sqrt{BT^3 e^{\left(-\frac{E_{G0}}{T \cdot k}\right)}} \quad (1.7)$$

де: – T – діюче значення температури;

– E_{G0} – ширина забороненої зони, лінійно екстраполюється до абсолютного нуля;

B — константа, що по суті не залежить від температури

Тоді підставляючи значення із (1.7) назад у вираз для (1.6) та маючи припущення, що температурними залежностями інших параметрів можна знехтувати, то:

$$I_{x.x.} = B' T^{\lambda} \cdot e^{\left(-\frac{E_{G0}}{T \cdot k}\right)} \quad (1.7)$$

де: B' – показник температурно–незалежної константи.

Тоді для включення ймовірних температурних залежностей інших показників матеріалу замість возведення у кубу використовується λ константа. Для фотоелектричних елементів із кремнію, під час температури близької до номінального ($18-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) значення $I_{x.x.}$ приблизно подвоюється на кожні $10-15^{\circ}\text{C}$ із підвищенням температури.

1.4 Вплив байпасного діоду на роботу фотоелектричний елемент.

Як при випадку із послідовним підключенням, тут виникає питання, чи змінюється поведінка фотоелектричного елемента, коли деякі сонячні елементи затіняються. Вважаючи, що значення температура а, отже й напруга у режимі холостого ходу затіненої частини залишається постійною, крива характеристики потужності фотоелектричного елемента має тільки один максимум, а його положення залежить від ступеня затінення. Для захисту фотоелектричних панелей від перенапруги діод підключається послідовно у

кожну паралельну гілку(як це показано на рис. 1.10) в випадку паралельних ланцюгів фотоелектричних елементів.

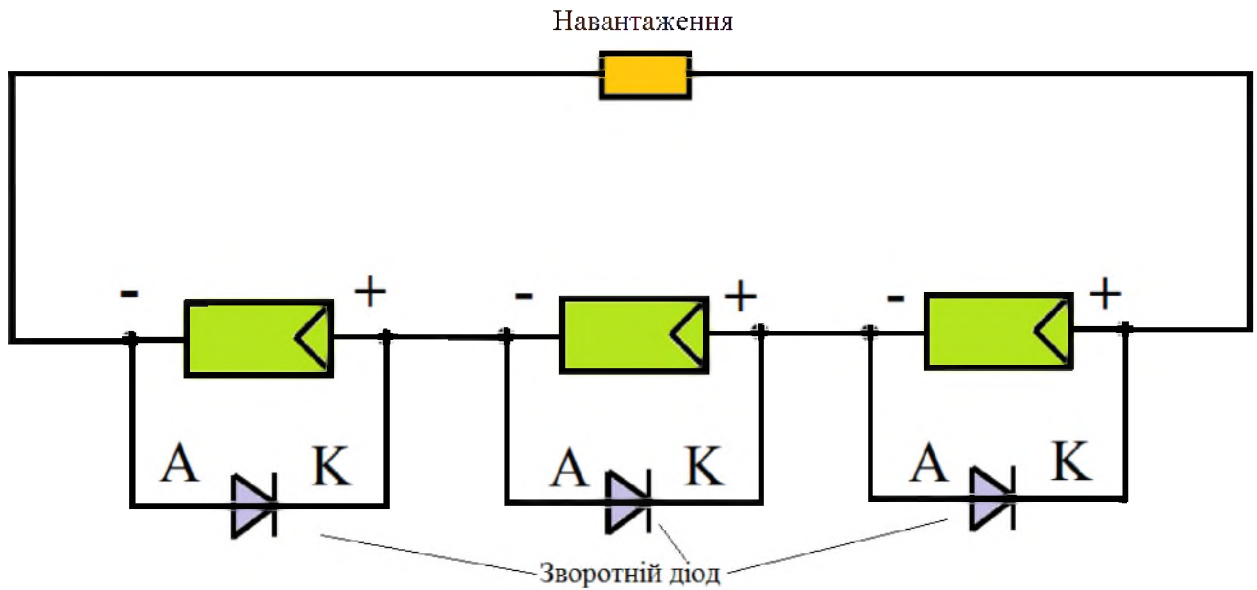


Рисунок 1.10 – Підключення байпасного діода у фотоелектричному елементі

2. ОБРАННЯ ФОТОЕЛЕКТРИЧНОГО ЕЛЕМЕНТУ У ФЕС ТА ДОПОМІЖНИХ ПРИСТРОЇВ. ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ФЕ.

2.1 Дослідження роботи моделі ФЕ.

На рис. 2.1 показана еквівалентна схема заміщення для виконання побудови математичної моделі.

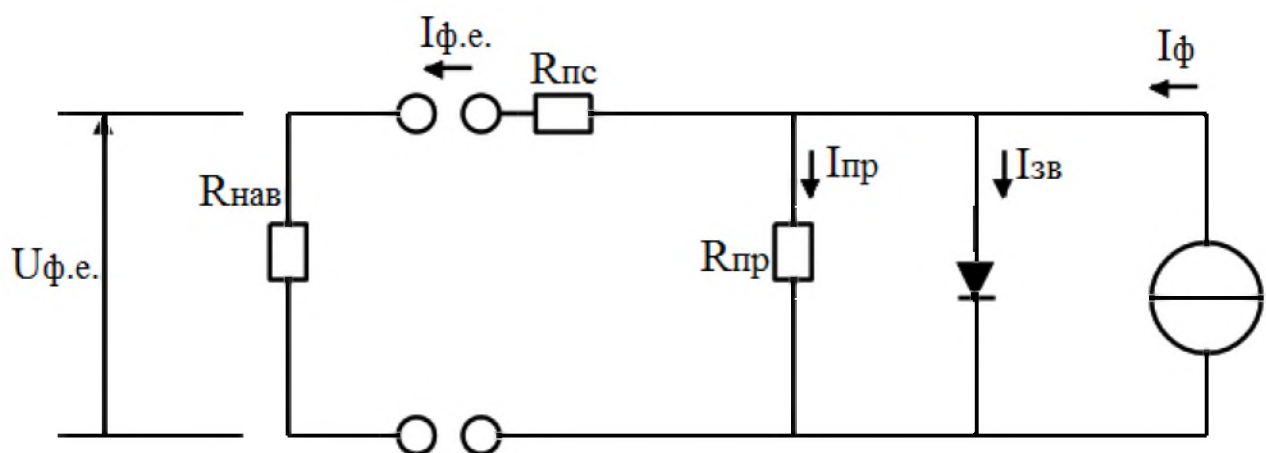


Рисунок 2.1 – Вигляд схеми заміщення фотоелектричного елементу

Опис схеми заміщення можливо завдяки застосування наступного математичного виразу:

$$I_{ф.е.} = I_{фс}(W) - I_{зв} \cdot e^{\left(\frac{U_{ф.е.} \cdot q}{T \cdot k} - 1\right)} \quad (2.1)$$

$$U_{ф.е.} = \frac{T \cdot k}{q} \cdot \ln\left(1 + \frac{I_{фс}(W) - I_{ф.е.}}{I_{зв}}\right),$$

де: $-I_{ф.е.}$ – показник струму на виході фотоелектричного елементу, який протікає зовнішнім навантаженням;

– T – абсолютне значення температури поверхні ФЕ;

– $q = 1.6 \cdot 10^{-19} (Кл)$ – значення заряду електрону;

– $U_{\phi.e.}$ – вихідне значення напруги фотоелектричного елементу, що буде вхідною напругою для навантаження;

– $k = 1.38 \cdot 10^{-23} \left(\frac{Дж}{К} \right)$ – значення постійної Больцмана;

– $I_{зв}$ – показник зворотного струму насичення фотоелектричного елементу (на рис 2.1), котрий визначається:

$$I_{зв} = I_{\phi c} \cdot e^{\left(\frac{(U_{\phi.e.} + I_{np} \cdot R_{np}) \cdot q}{T \cdot \gamma \cdot k} - 1 \right)}, \quad (2.2)$$

– $I_{\phi c}$ – показник фотоелектричного струму носіїв неосновних сонячних елементів.

Вплив рівня освітленості поверхні фотоелектричних елементів на показник $U_{\phi.e.}$ можливо відзначати за виразом:

$$I_{\phi c} = I_{\phi c}' \cdot W_{\partial}, \quad (2.3)$$

де: W_{∂} – показник рівня освітленості поверхні елементу.

Послідовний опір (позначення – R_{nc}), представляє також собою суму із різних витрат усередині фотоелектричного елементу, тобто вагомий внесок виконують:

- опір послідовного з'єднання;
- опір контактний, передньої та задньої поверхонь ФЕ;
- контактний опір поміж металевими контактами та напівпровідниковим матеріалом.

Шунтуючий резистор враховує усі витрати через к струми витоку всередині фотоелектричного елементу.

$$I_{fc} = (I_{f.e.} - I_{ze} - I_{np}), \quad (2.4)$$

де: $-I_{np}$ – значення струму на паралельному опорі, котрий представлений на рис. 2.3

$$I_{np} = \frac{U_{f.e.} + I_{np} \cdot R_{np}}{R_{np}} \quad (2.5)$$

Таблиця 2.1 – Параметри фотоелектричних панелей

Назва параметру	Значення та одиниця виміру
Номінальна потужність	370 (Вт)
Тип кристалу	Монокристал
Напруга при максимальній потужності	34.3 (В)
Напруга холостого ходу	40.9 (В)
Струм при максимальній потужності	10.79 (А)
Струм короткого замикання	11.49 (А)
Кількість елементів у панелі	120 (шт.)
Розміри сонячної батареї (мм)	1776x1052x35 (мм)
Рама	Анодований алюміній
Вага	20 (кг)

Отже дослідження роботи фотоелектричного елементу відбувалось, через обмеженість, не на фізичному об'єкті, а у програмному середовищі Matlab. Так, у першу чергу, було створено власне модель досліджуємої сонячної панелі. Для цього були використані параметрами із табл. 2.1 і за підсумками у блоці моделі (рис.) були додані параметри, а також була обрана

кількість та спосіб їх з'єднання поміж собою [2].

PV array (mask) (link)

Implements a PV array built of strings of PV modules connected in parallel. Each string consists of modules connected in series. Allows modeling of a variety of preset PV modules available from NREL System Advisor Model (Jan. 2014) as well as user-defined PV module.

Input 1 = Sun irradiance, in W/m2, and input 2 = Cell temperature, in deg.C.

Parameters **Advanced**

Array data

Parallel strings

Series-connected modules per string

Module data

Module: **User-defined**

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 @ 1000 W/m2 & specified temperatures

T_cell (deg. C)

Plot

Model parameters

Light-generated current IL (A)

Diode saturation current I0 (A)

Diode ideality factor

Shunt resistance Rsh (ohms)

Series resistance Rs (ohms)

Рисунок 2.2– Електричні параметри математичної моделі фотоелектричних елементів, їх спосіб з'єднання

На рис. 2.3 продемонстровано внутрішню структуру мат. моделі ФЕ.

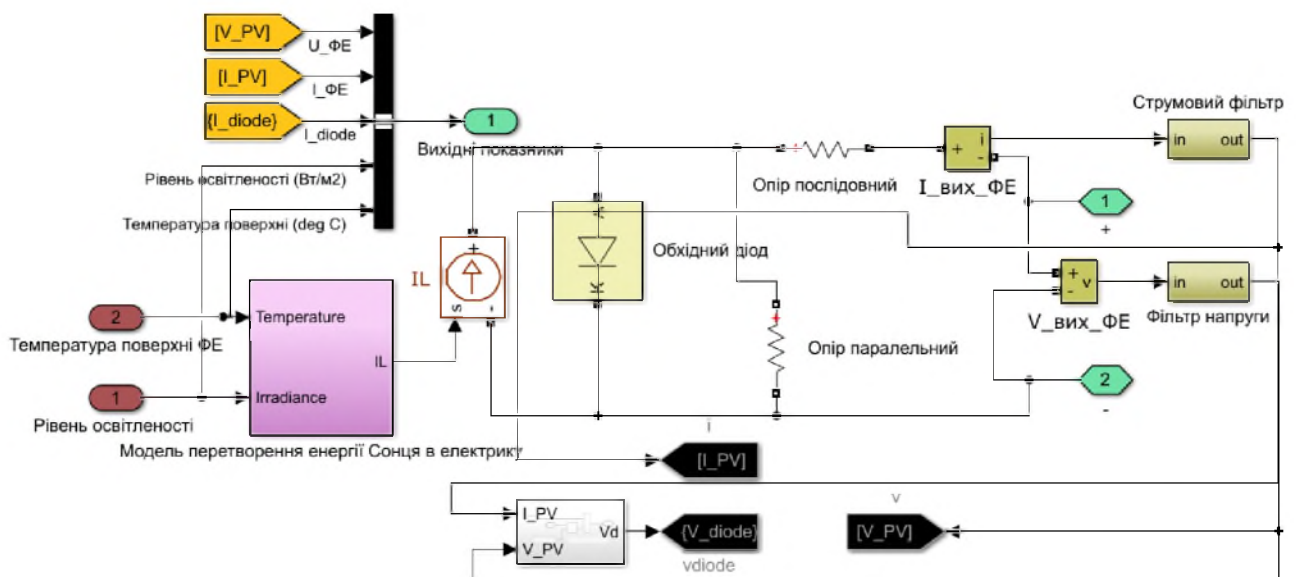


Рисунок 2.3 – Модель фотоелектричного елементу

Ця модель стала одним із етапів дослідження роботи фотоелектричного елемента, так завдяки ній вже були отримані ВАХ та характеристики потужності у першому розділі роботи. Тепер вже більш детально розглядається залежність вихідної потужності фотоелектричного елемента, струму, напруги від температури робочої поверхні (рис. 2.4) [3].

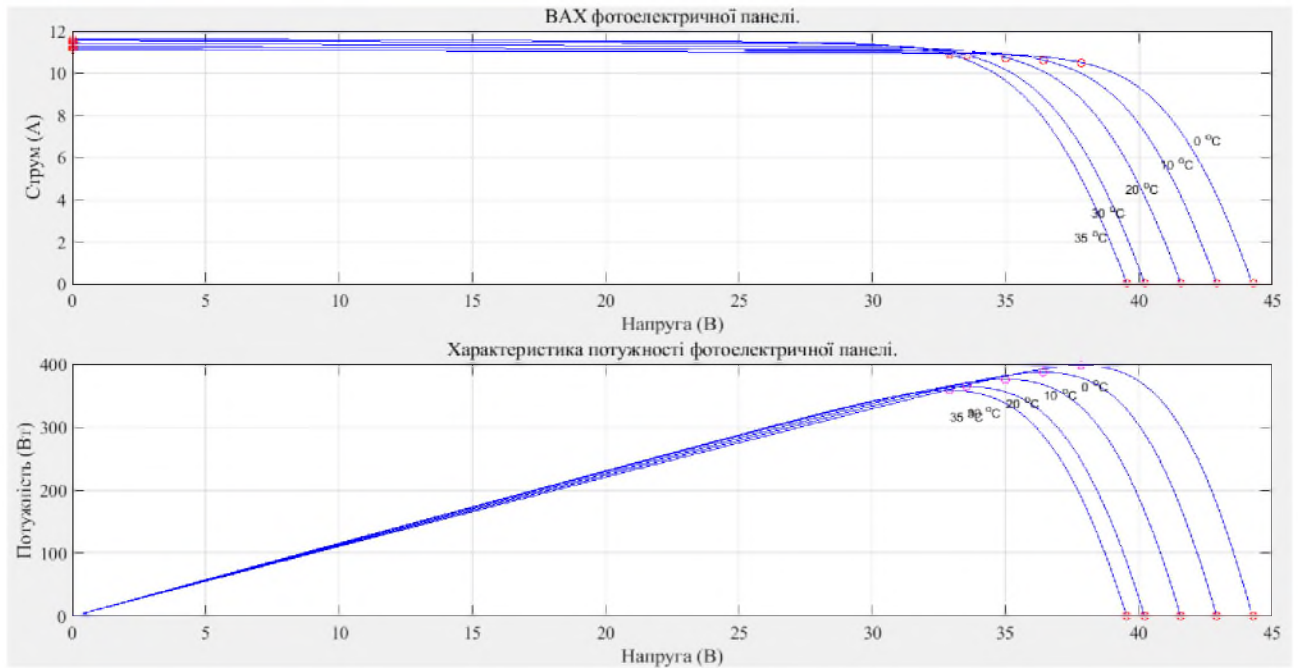


Рисунок 2.4 – ВАХ та функція потужності фотоелектричної панелі функції температури робочої поверхні

Окрім цього дослідження та аналіз було здійснено, щодо роботи фотоелектричного елемента під час змінення значення освітленості поверхні модулі. Так згідно із раніше розглянутою теорією значення генерованого струму ФЕ прямо пропорційно до рівня інсоляції, що доводить рис. 2.5-2.6.

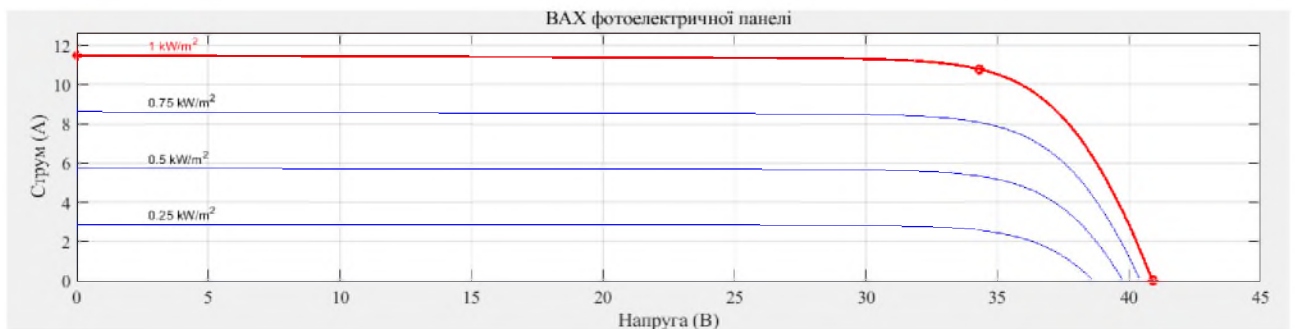


Рисунок 2.5 – ВАХ функції освітленості робочої поверхні фотоелектричного елемента

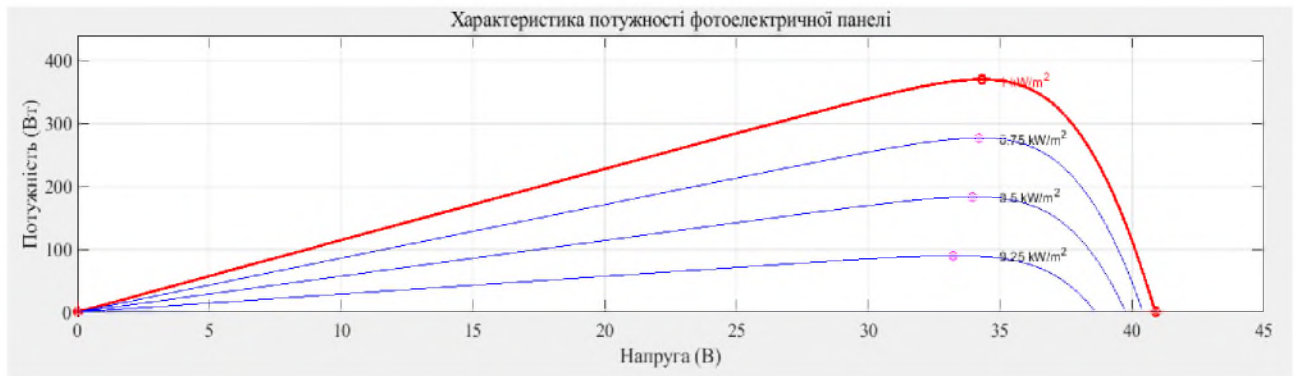


Рисунок 2.6– Функція потужності фотоелектричного елемента залежності освітленості робочої поверхні

2.2 Розрахунок системи із фотоелектричними елементами та моделювання її роботи.

Для здійснення визначення показників системи із фотоелектричними елементами варто провести такі основні етапи:

1) розрахувати навантаження (використовуючи для його дані паспортні, а також про його тип) та показник споживаної ним електричної енергії;

2) Враховуючи вхідне завдання здійснити розрахунок необхідних параметрів конвертора, а також батареї для акумуляції енергії;

3) Встановити потрібну кількість елементів, для задовільної роботи, та характер їх поєднання поміж собою, приймаючи у тому числі, й географічне розташування електромережі.

Тоді, згідно із першим етапом визначення загальна середньодобова ($P_{с.доб}$) енергія у споживанні розраховується

$$P_{с.доб} = \frac{E_m \cdot 10}{T_m} = \frac{212000}{168} \approx 1240 \text{ (Вт)} \quad (2.6)$$

де: $-E_m$ – показник кількості електричної енергії протягом тижня;

- T_m – кількість годин, коли необхідна енергії протягом тижня (обираємо максимальне значення).

Потрібну кількість електроенергії фотоелектричних елементів на виході можна визначити за (2.7)

$$E'_m = k_{кн} \cdot E_m = 1.2 \cdot 17700 = 21200 \left(\frac{Вт \cdot год}{тиж} \right) \quad (2.7)$$

де: $k_{кн} = 1.2$ – значення коефіцієнту, котрий буде враховувати витрати у конверторі.

Потрібну потужність конвертора, котрий буде інтегрований у електромережу для здійснення стабільної вихідної напруги фотоелектричних елементів під час нестабільних вхідних значень, розрахуємо за (2.8.).

Нестабільність розглянутої роботи викликані тим, що генерація енергії від сонячних модулів дуже сильно залежить від зовнішніх умов (погодних).

$$P_{кн} = P_{с.доб} \cdot k_{зан} \cdot k_{кн} = 1240 \cdot 2 \cdot 1.2 = 2976 \text{ (Вт)} = 2.98 \text{ (кВт)} \quad (2.8)$$

де: $k_{зан}$ – показник значення запасу, який враховує ймовірність одночасного застосування навантаження.

Також можливо визначити добову ємність акумуляторних батарей:

$$E_{А.Б.с} = \frac{E'_m \cdot k_з}{7 \cdot U_{кн.вх}} = \frac{21200}{7 \cdot 24} = 126.14 \left(\frac{А \cdot год}{доб} \right) \quad (2.9)$$

Переходячи до другого етапу розрахунку варто визначити тип акумуляторної батареї, котру необхідно застосовувати. Також варто прийняти до уваги й властивості акумуляторної батареї, це також відобразиться на розрахунку. Так, наприклад, для батарей типу свинцево-кислотного значення

глибини розряду становить $k_{pz} = 0.7$, в той же час для літій-іонних цей показник зменшується до $k_{pz} = 0.3 - 0.4$.

У сучасних системах із фотоелектричними елементами все більше можна зустріти батареї саме другого типу, хоч вони й дорожче, проте простіші у експлуатації та мають кращі показники і за рахунок цього їх кількість можливо зменшити [3].

$$E_{A.B.\Sigma} = \frac{E_{A.B.} \cdot k_{t.kf} \cdot N_{max.\delta b}}{K_{pz}} \quad (2.9)$$

$$E_{A.B.\Sigma} = \frac{126.14 \cdot 1.3 \cdot 0.549}{0.4} = 225.06 \text{ (A} \cdot \text{год)}$$

де: $-k_{t.kf} = 1.3$ – значення температурного коефіцієнту ФЕ;

$N_{max.\delta b} = 0.549$ – параметр коефіцієнту, котрий враховує максимально можливий відсоток кількості години на добу, коли немає вихідної потужності у ФЕ (внаслідок відсутності вхідної сонячної енергії).

Тож кількість батарей, котрі поєднанні будуть паралельно поміж собою становить:

$$N_{пр.аб} = \frac{E_{a.b.\Sigma}}{E_{a.b.ном}} = \frac{225.06}{120} \approx 2 \text{ (шт)} \quad (2.10)$$

Як було приведено ще на рис. 1.8 тривалість часу, коли можлива генерація електрики від фотоелектричних елементів залужить від пори роки, також тут різні показники й рівня сонцевої інсоляції. Для розрахунку необхідно першочергове мати дані максимум та мінімуми, а це можливо за даними за червень і грудень. Так для розглянутої Волинської області (за рис. 1.7–1.8) із

широтою $III = 50.42^0$ ці показники становитимуть у червні – $h_u = 6.44 \left(\frac{\kappa Bm \cdot год}{м^2 \cdot доб} \right)$ і у грудні – $h_{ep} = 0.845 \left(\frac{\kappa Bm \cdot год}{м^2 \cdot доб} \right)$.

Тоді із рис. 1.8 встановимо значення часу тривалості протягом якого працюють ФЕ у системі, так для червня це значення складає – $n_u = 15.48$ (год) , тоді для грудня – $n_{ep} = 8.24$ (годин). Для цього було переведено також хвилин у дольове значення.

Розраховуємо, разом із цим, й втрати енергії у акумуляторі під час заряду та розряду батареї (як правило, приймається = 15%):

$$E_{AB.зр} = E_{AB\Sigma} \cdot k_{з.р.вт} = 225.06 \cdot 1.15 = 258.77 \text{ (A} \cdot \text{год)} \quad (2.11)$$

Тоді параметр струму, котрий буде генерувати група модулів фотоелектричних елементів становить:

$$I_{\Phi C.зр} = \frac{E_{AB.зр}}{n_{n2}} = \frac{258.77}{11.54} = 22.42 \text{ (A)} \quad (2.12)$$

$$n_{n2} = k_z \cdot n_u = 0.745 \cdot 15.48 = 11.54 \text{ (год)}$$

Тоді й кількість поєднаних паралельно модулів становить:

$$N_{np.m} = \frac{I_{\Phi C.зр}}{I_{к.з}} = \frac{22.42}{11.49} \approx 2 \text{ (шт.)} \quad (2.13)$$

Окрім цього за виконаним раніше розрахунком було промодельована робота і група з'єднаних поміж собою фотоелектричних елементів. Так 4 модулі із двох масивів були з'єднанні поміж собою послідовно, а поміж собою

самі масиви були паралельними. І знову було встановлено із рис. 2.7 вихідна потужність ФЕ в залежності від температури поверхні.

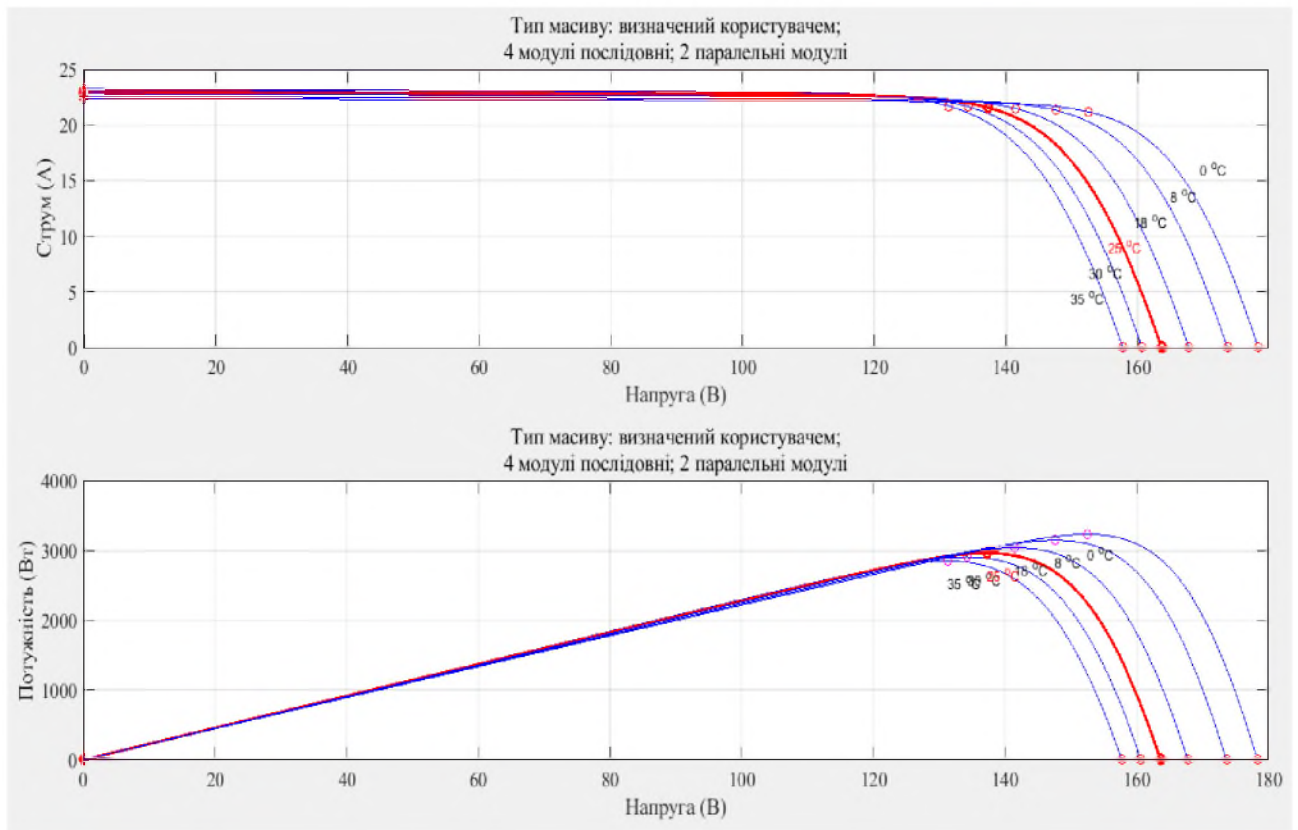


Рисунок 2.7– Функція потужності та ВАХ групи фотоелектричних елементів в залежності від температури робочої поверхні

А на рис. 2.8 – 2.9 було встановлена вихідна потужність ФЕ залежності від рівня освітленості. Отримані результати цього етапу дослідження ставили перед собою мету, в отриманні початкових даних для тренування штучних неймереж.

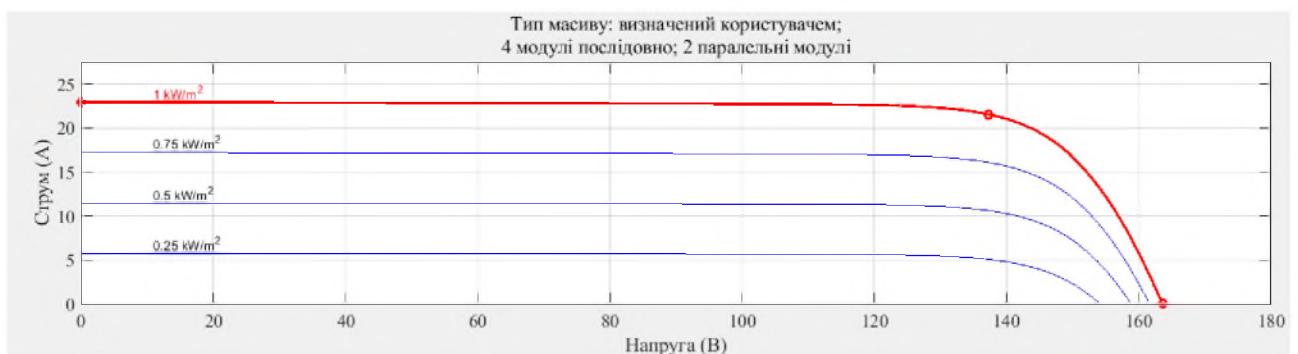


Рисунок 2.8–ВАХ групи ФЕ елементів в залежності від освітленості робочої поверхні

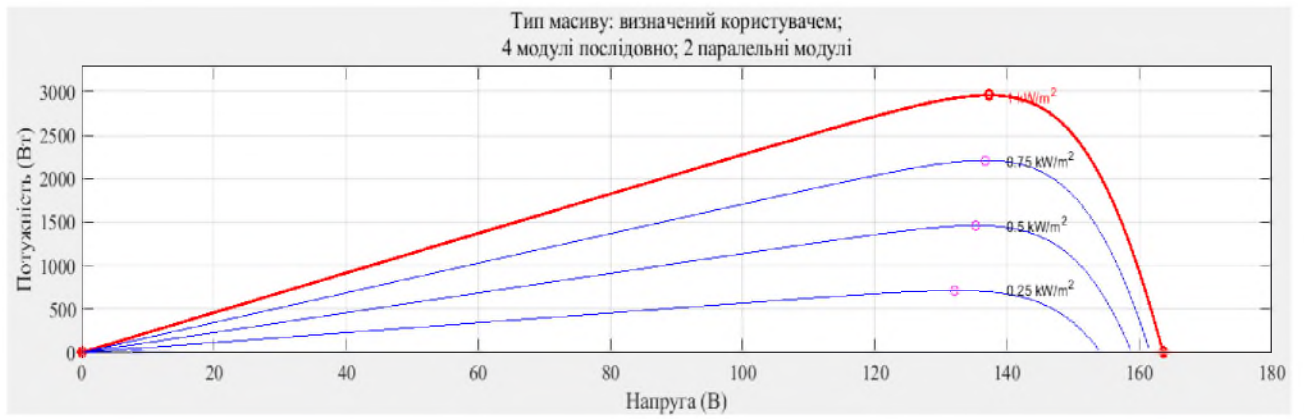


Рисунок 2.9– Функція потужності групи ФЕ в залежності від рівня освітленості
робочої поверхні

3. СТВОРЕННЯ, ТРЕНУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ШТУЧНОЇ НЕЙРОМЕРЕЖІ.

3.1 Вхідні дані для виконання тренування із розробленою штучною нейромережою.

Для того, аби розпочати процес тренування проектованої штучної нейромережі необхідно мати початкові дані для тренування. Добре, коли ШНМ ставиться вже до готової сонячної станції, яка вже тривалий час працює і яка вже має власні бази даних про параметри входу та виходу. Проте є багато ситуацій, коли параметри можуть бути заздалегідь не встановлені, або частіше за все, їх кількість не є достатньою для надійного тренування ШНМ, таким випадками можуть бути наступними:

- Нова (модернізована) фотоелектрична станція, коли взагалі немає ще вимірів значень.
- Зміна географічного положення об'єкта генерації, коли станція фотоелектрична була переміщена.
- Зміна типу сонячних панелей або елементів мережі, наприклад, інверторів чи акумуляторних батарей у станції. Також сюди можна віднести із міну характеру навантаження [3].

Тоді виникає проблемна ситуація, адже і штучна нейромережа і математична модель сонячної панелі не може дати точну картину із генерування потужності, якщо не буде мати реальних даних із безпосередньої місцевості, де вже реальні (фізичні) сонячні панелі будуть встановлені.

На допомогу у такому випадку може прийти програмне забезпечення, котре буде передавати до мат. моделі реальні дані із географічної місцевості та прогнозовану кількість потужності.

Проаналізувавши деякі із цих програмних компонентів було вирішено у дипломній роботі застосовувати ПЗ із назвою PVsyst версії 7.2.

Тож розглянемо детально роботу із цією програмою та виконаємо аналіз фотоелектричних елементів та приймемо до уваги, що згідно із завданням необхідно розрахувати вихідні дані саме для Волинської області. Так на рис. 3.1 зображений початковий інтерфейс (вікно програми) PVsyst ..

Тут можна створити як новий проект, так і продовжувати роботу у старому; розрахувати усю мережу, а можливо й окремо акумуляторну станцію із фотоелементами та навантаження; є можливість пошуку погодних даних за минулі роки у вибраній місцевості [7].

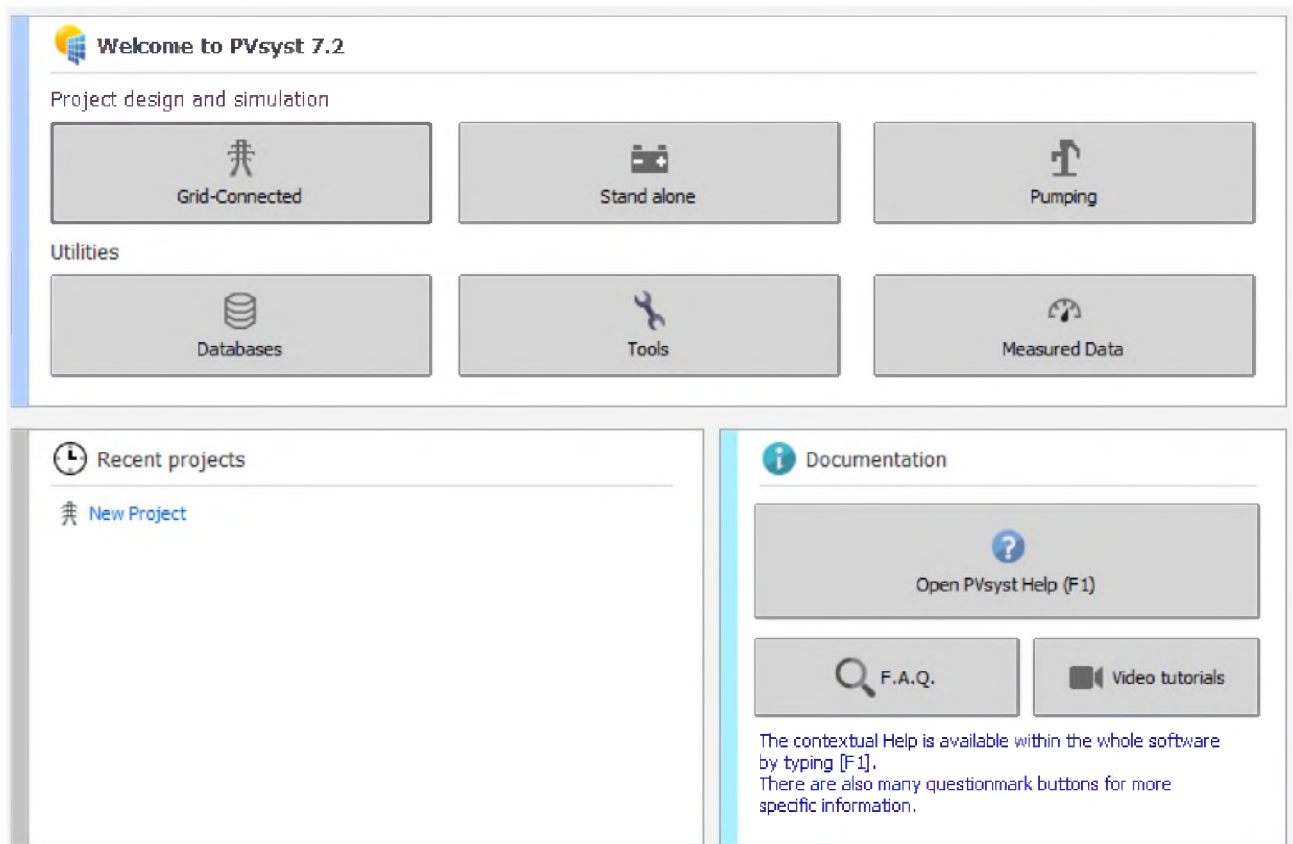


Рисунок 3.1 – Вікно проекту PVsyst

Звичайно під час первинної роботи із проектом необхідно створити віртуальну модель досліджуваної станції та вказати параметри приладів та інших даних. Так, наприклад, на рис. 3.2 обирається тип розташування фотоелектричних елементів. Обрати можна, як статичні так і панелі із обертанням, тобто із трекерами.

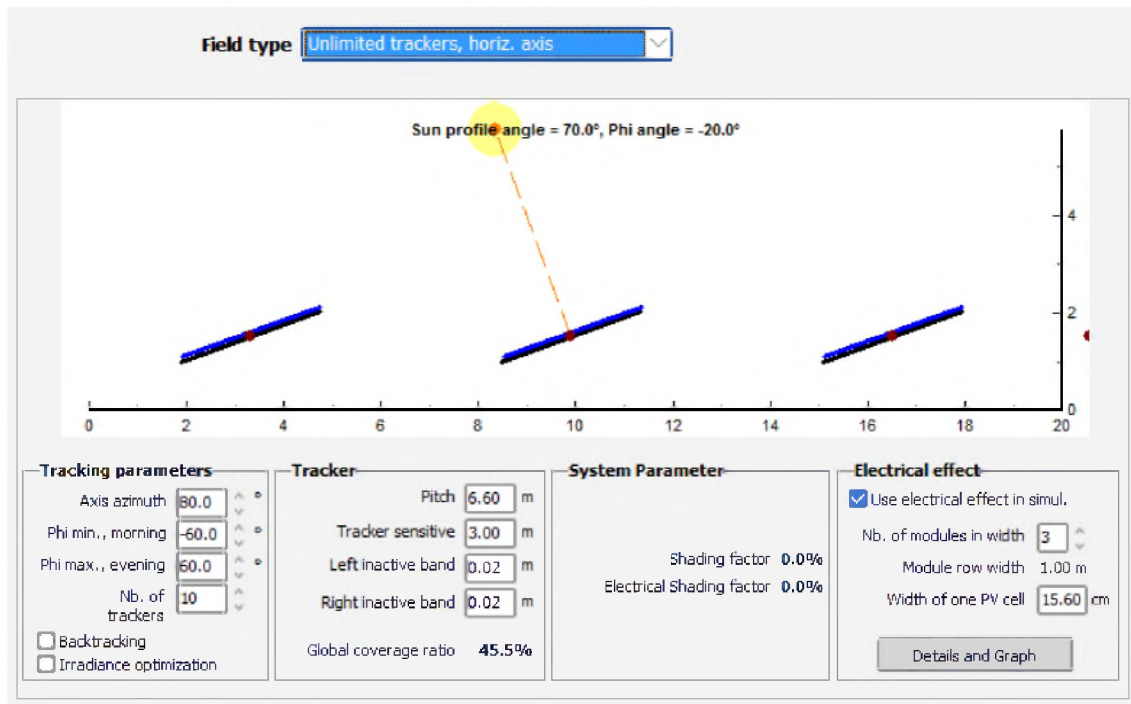


Рисунок 3.2 – Обрання розташування фотоелектричних панелей у просторі та методів від слідкування потужності генерації

Йдемо далі за проектом побудови фотоелектричної станції, і тепер необхідно вказати тип фотоелектричної панелі і тут можна піти декількома шляхами в залежності від типу самого обладнання:

- вибрати із каталогу даних свою фотоелектричну панель (каталог даних містить понад існуючих 5000 типів ФЕ);

- створити панель із власними характеристиками, цей метод підходить, особливо у випадках, коли панель була зібрана із набірних елементів і тому, звичайно певні показники у ній відрізняються від заводських, або якщо панель була із каталогу(за першим пунктом), проте вона сама має вже певну зношеність, яка викликана тривалим використанням панелі чи не належними умовами експлуатації.

Процес обрання електричного обладнання показний на рис. 3.3. Як бачимо, за бажанням оператора, тут можна створити й невелику станцію обравши ще й інвертор – його параметри та , Також, нижче за меню, можна обрати й кількість паралельних та послідовно з'єднаних фотоелектричних

елементів. Окрім цього треба звертати на поради самої програма, котра відразу аналізує роботу усієї станції та дає поради, щодо нераціонального застосування потужного інвертора, чи навпаки із недостатньою потужністю

Sub-array ?

Sub-array name and Orientation

Name

Orient. **Unlimited trackers, horiz. axis**

Pre-sizing Help

☒ No sizing Enter planned power kWp ?

... or available area(modules) m²

Select the PV module

Available Now Filter

☐ Use optimizer

Sizing voltages : Vmpp (60°C) **34.0 V**

Voc (-10°C) **54.2 V**

Select the inverter

Prod. from 2018 Output voltage 240 V Mono 60Hz ☒ 50 Hz ☒ 60 Hz

Nb of MPPT inputs ☒ Operating voltage: **90-580 V** Inverter power used **3.8 kWac**

Input maximum voltage: **600 V** **inverter with 2 Unbalanced MPPT**

☒ Main input ☐ Secondary

Design the array

Number of modules and strings

Mod. in series ☐ between 3 and 11 ?

Nb. strings

Overload loss **0.0 %** ?

Pnom ratio **0.78**

Nb. modules 8 Area 16 m²

Operating conditions

Vmpp (60°C)	136 V
Vmpp (20°C)	161 V
Voc (-10°C)	217 V

Plane irradiance **1000 W/m²**

Imp (STC) 18.9 A

Isc (STC) 20.0 A

Isc (at STC) 20.0 A

The inverter power is slightly oversized.

☐ Max. in data ☒ STC

Max. operating power (at 1000 W/m² and 50°C) **2.7 kW**

Array nom. Power (STC) 3.0 kWp

Рисунок 3.3 – Вибір типу фотоелектричних елементів, інвертора, вибір методології управління генерацією електрики

Якщо обрані елементи системи, сумісні один з одним, то система дасть змогу активувати меню перегляду ВАХ характеристики, а також енергетичних характеристик всієї станції, що представлено на рис. 3.4.

ВАХ фотоелектричного елемента

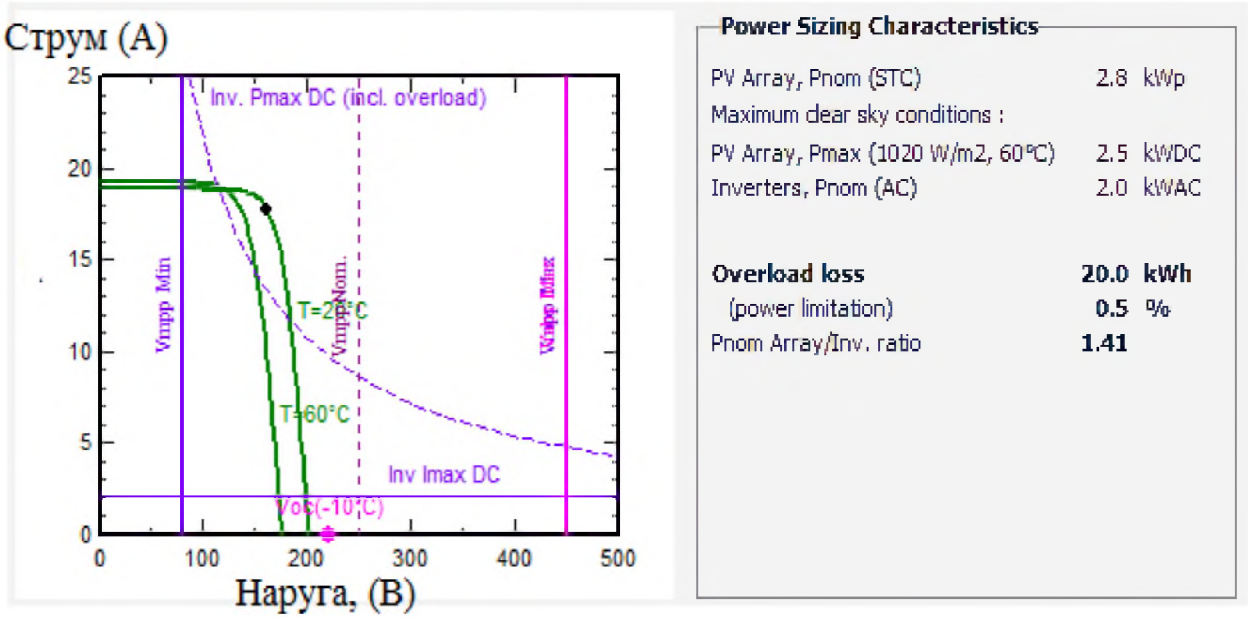


Рисунок 3.4 – Моделювання програмою обраної станції

На рис. 3.5–3.6, в свою чергу подані енергетичні характеристики фотоелектричного елемента, так на рис. 3.5 зображений розподіл опромінювання, при віддаленості для розглянутою місцевості.

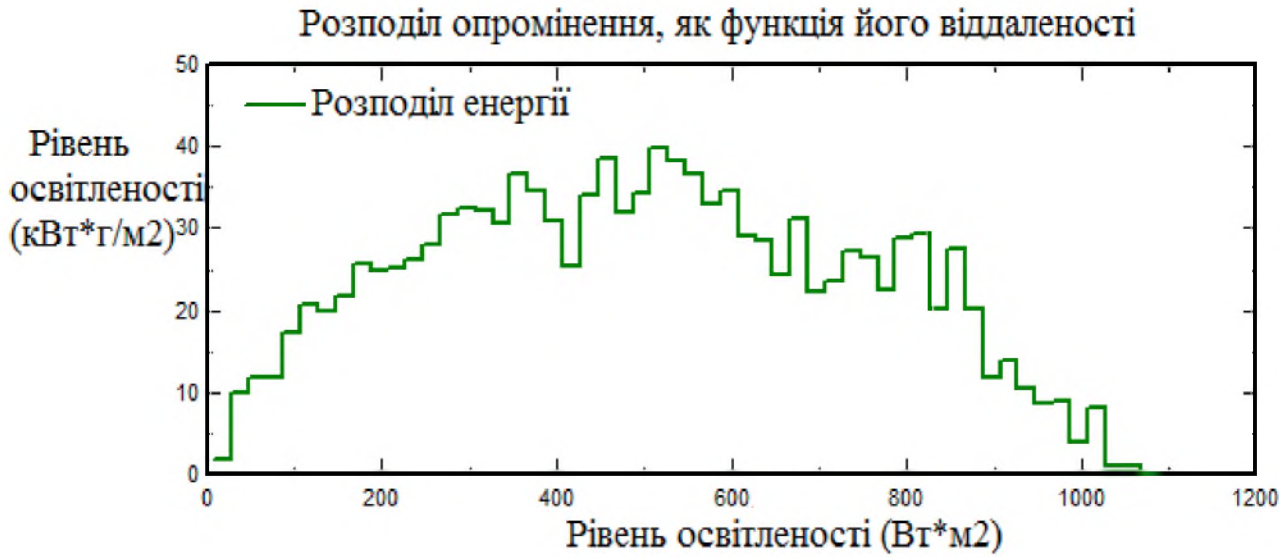


Рисунок 3.5 – Розподіл рівня опромінювання ФЕ, як функцій його віддаленості

В той же час, на рис. 4.6 представлений Погодинний розподіл рівня опромінювання фотоелектричних елементів, що може характеризувати середній

рівень освітленості протягом певного часу, наприклад, місяця чи сезону (до прикладу, зимнього періоду). Тобто цей розподіл включає і неробочі години для фотоелектричних панелей, за бажанням можна висвітлити будь-які проміжки часу.

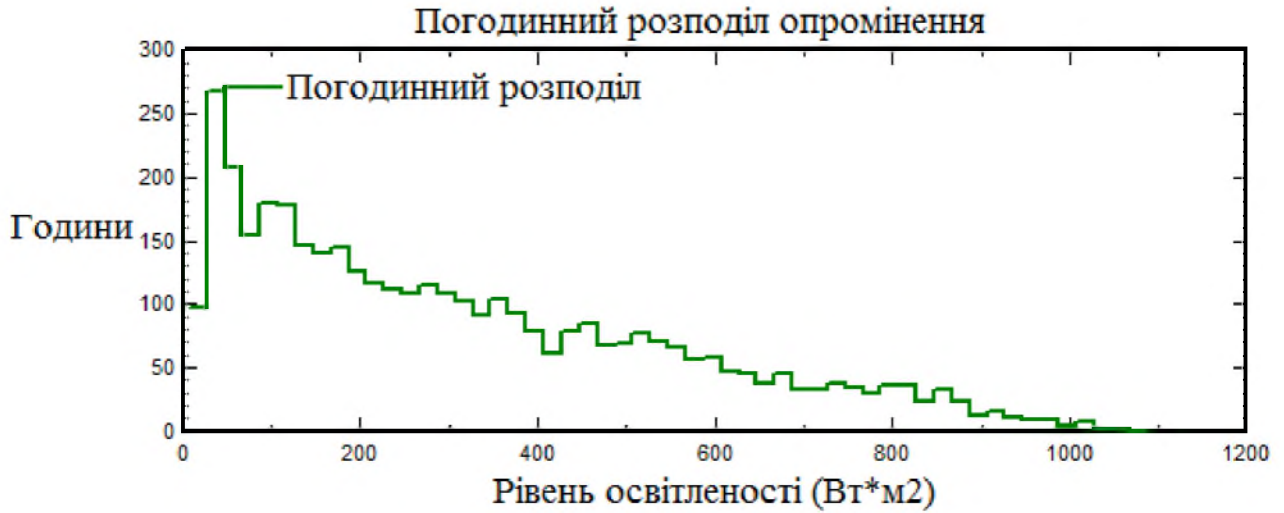


Рисунок 3.6 – Погодинний розподіл рівня опромінювання ФЕ

Як вже зазначено вище було, після того, як виконані етапи із вибору системи можна сформувати автоматичний «скетч» передачі електрики від фотоелектричних елементів до споживача (чи навантаження).

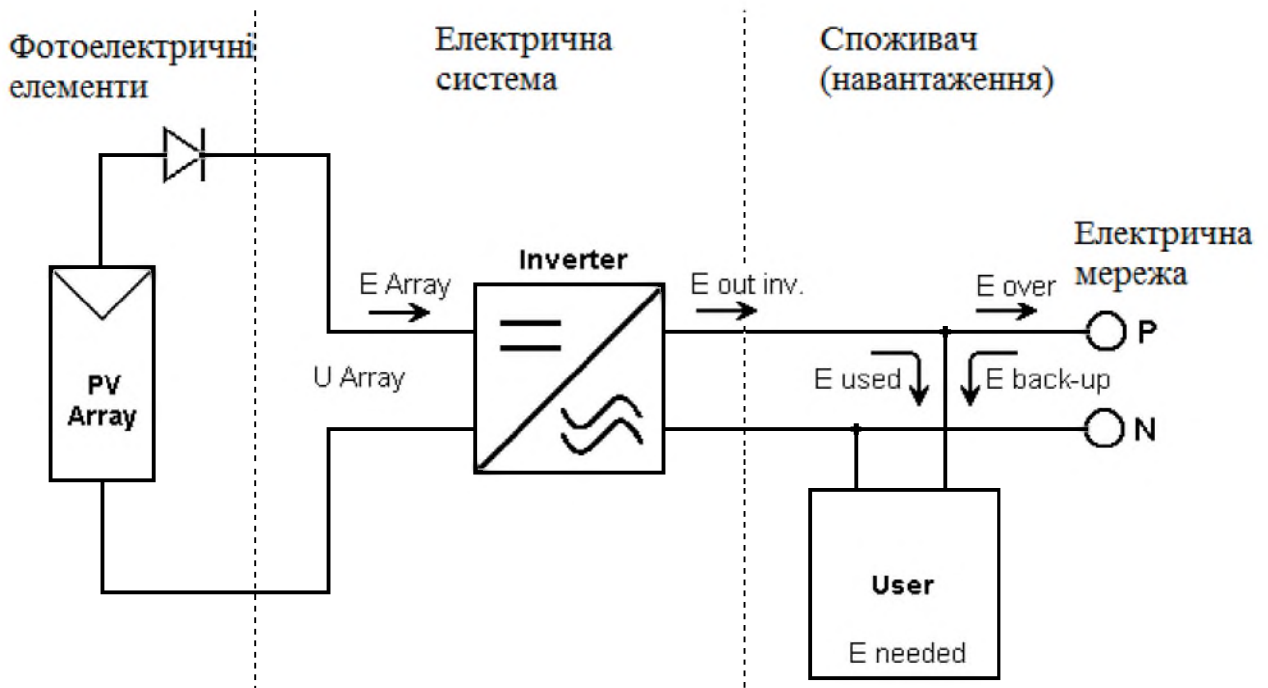


Рисунок 3.7 – Скетч роботи передачі електрики у PVsyst

Окрім цього для Волинської області, а саме для міста Луцька за допомогою використання програмного забезпечення було розроблено мапу переміщення Сонця протягом року, а це в свою чергу, дозволить змінюючи (7 разів на рік, дати, коли необхідно змінювати подані з правого боку на рис. 3.8) досягнути стаціонарним сонячним елементам (закріпленим) досягати максимальної продуктивності.

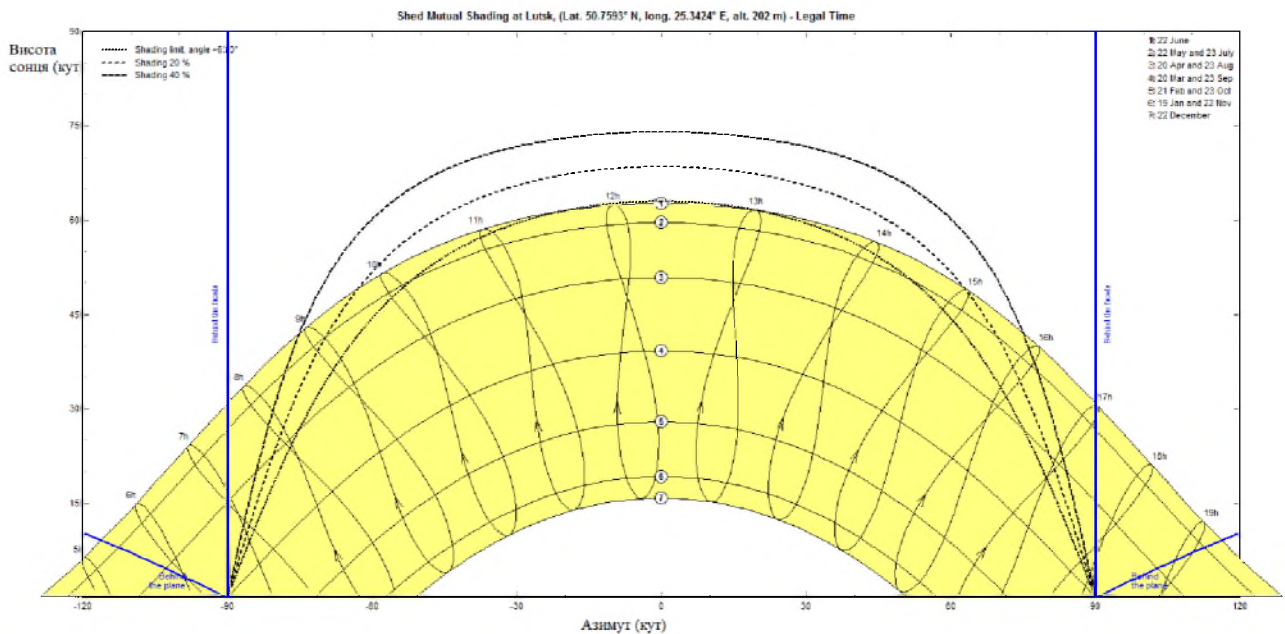


Рисунок 3.8 – Побудована мапа зміни кута нахилу фотоелектричних елементів для забезпечення максимальної продуктивності

Взагалі, у розглянутому програмному забезпеченні можна дослідити ще багато зовнішніх факторів, на роботу, однак варто слідкувати за тим, аби вони не були взаємно виключними, бо тоді моделювання процесу взагалі може не відбутися або із суттєвою помилкою, якщо все підібрано вірно, то головне вікно повинно активувати функцію симуляції (як на рис. 3.9)

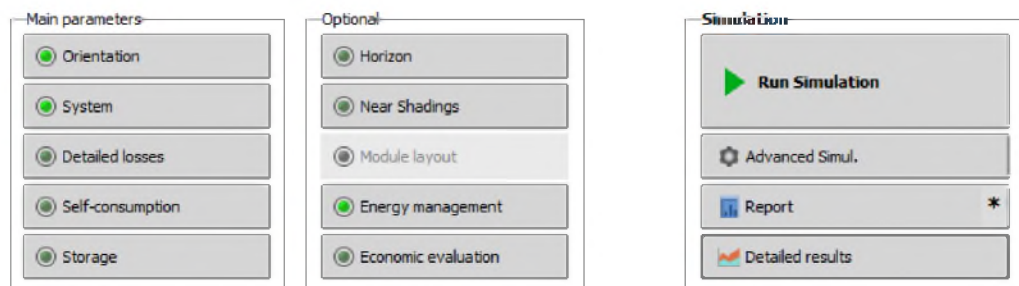


Рисунок 3.9 – Вікно симуляції процесу

Однією із суттєвих переваг від застосування PVsyst є можливість промодельовати вироблення електроенергії фотоелектричних панелей, за умов реальної місцевості, де вони будуть встановлені. Тут мається вже на увазі не географічне положення, а головним чином врахування перекриття сонячних елементів іншими об'єктами оточуючи середи, наприклад, сусіднім спорудами. Врахуванням висоти розташування станції сонячної та розташування самих панелей по одинці. Тобто існує можливість змодельовати роботи станції, яка, наприклад розділена на декілька секцій і вони встановлені у різних місцях місцевості. Проте за вхідним завданням цього не вимагалось, тож було вирішено зупинитися саме на розташуванні панелей стаціонарно, під кутом, який було отримано з рис. 4.8. на площадці, яка трохи виступає (рис. 3.10).

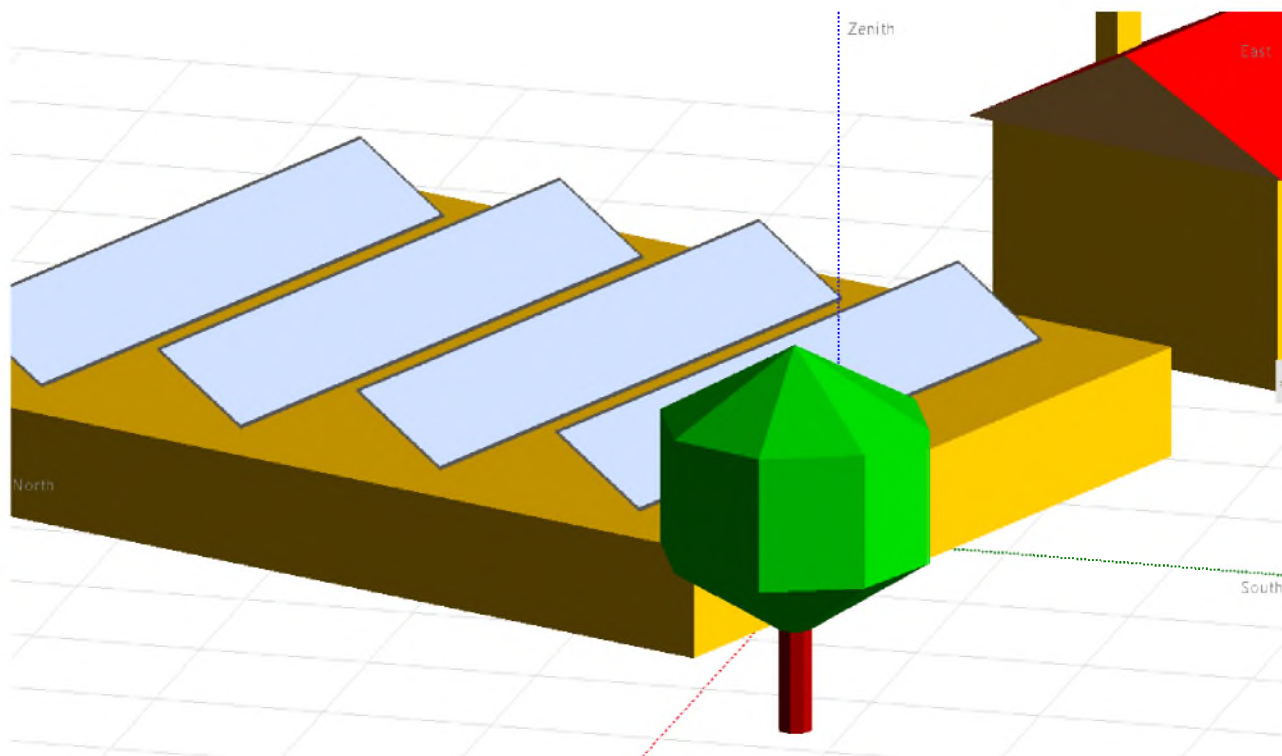


Рисунок 3.10 – Побудована 3D модель розташування фотоелектричних елементів

Виконавши процес моделювання, було отримано енергетичні, температурні та електричні характеристики сонячної станції.

Так на рис. 3.11 вказані графік нормованого коефіцієнту виробництва електрики та її втрат, на протязі одного року в обраній місцевості (м. Луцьк).

Варто додати, що на графіку зображуються три стовпчики: втрати потужності на вході фотоелектричних елементів, втрати у лінії (у тому числі і на інверторі, при зарядці батарей, втрати, котрі викликані опором лінії та інше). Як бачимо із діаграми менші втрати маємо у зимній час, проте слід звернути увагу, що це не говорить про кількість цієї енергії, адже коефіцієнт виробництва вимірюється у (в.о.). Інакше кажучи, енергосистема втрачає менше енергії взимку, тому що уся енергія йде на зарядку, а ось влітку є надлишок енергії (і якщо не передбачити передачу частини енергії у центральну мережу, можуть бути істотні втрати).

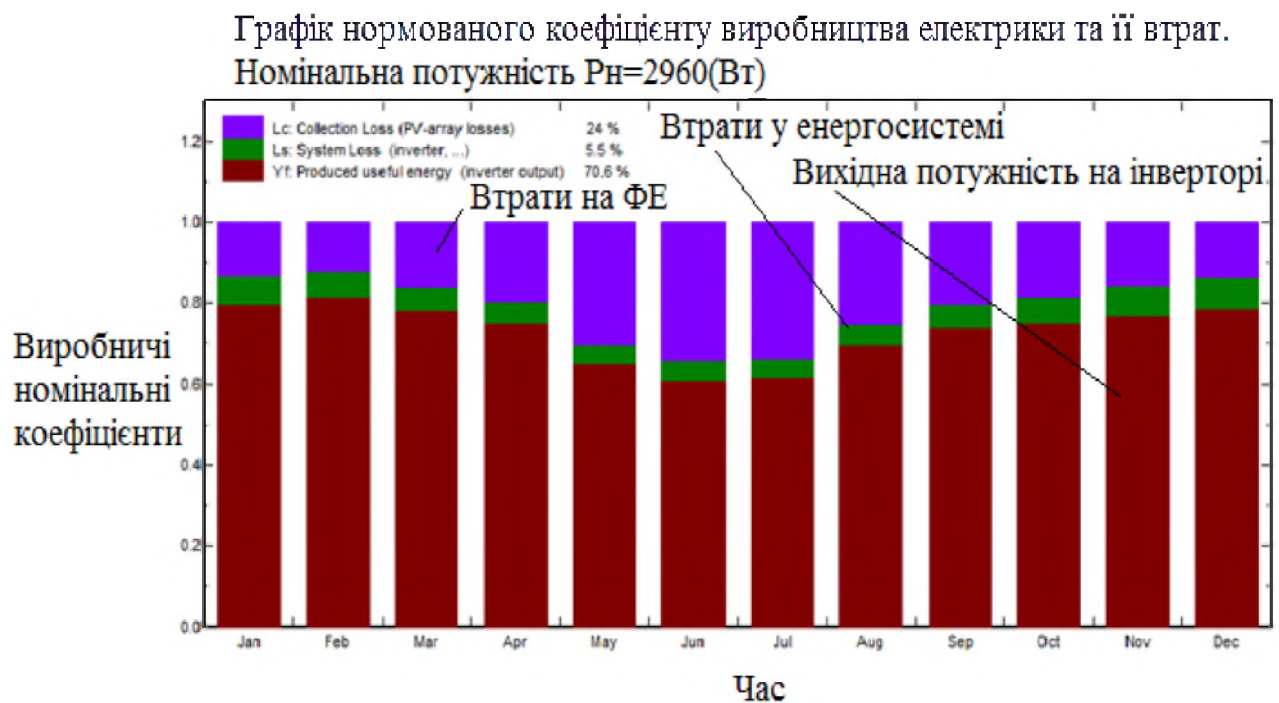


Рисунок 3.11 – Графік нормованого коефіцієнту виробництва електрики та її втрат, на протязі одного року

За результатами проведеного дослідження із втрат енергії, варто зазначити, що:

- 1) Відносне значення середньорічної втрати енергії на фотоелектричному елементі становить $\sigma_{\text{ф.е.}}=24$ (%).
- 2) Відносне значення середньорічної втрати енергії під час передачі енергії до споживача $\sigma_{\text{е.е.}}=5.4$ (%).

3) Відносне значення потужності генерації $\sigma_P=70.6$ (%).

В той же час, рис. 4.12 дає повну картину із долі виробленої потужності фотоелектричної мережі. Тепер вже стає зрозумілим, що травень та серпень є найбільш продуктивними місяцями для генерації електрики за допомогою розробленої ФЕС.

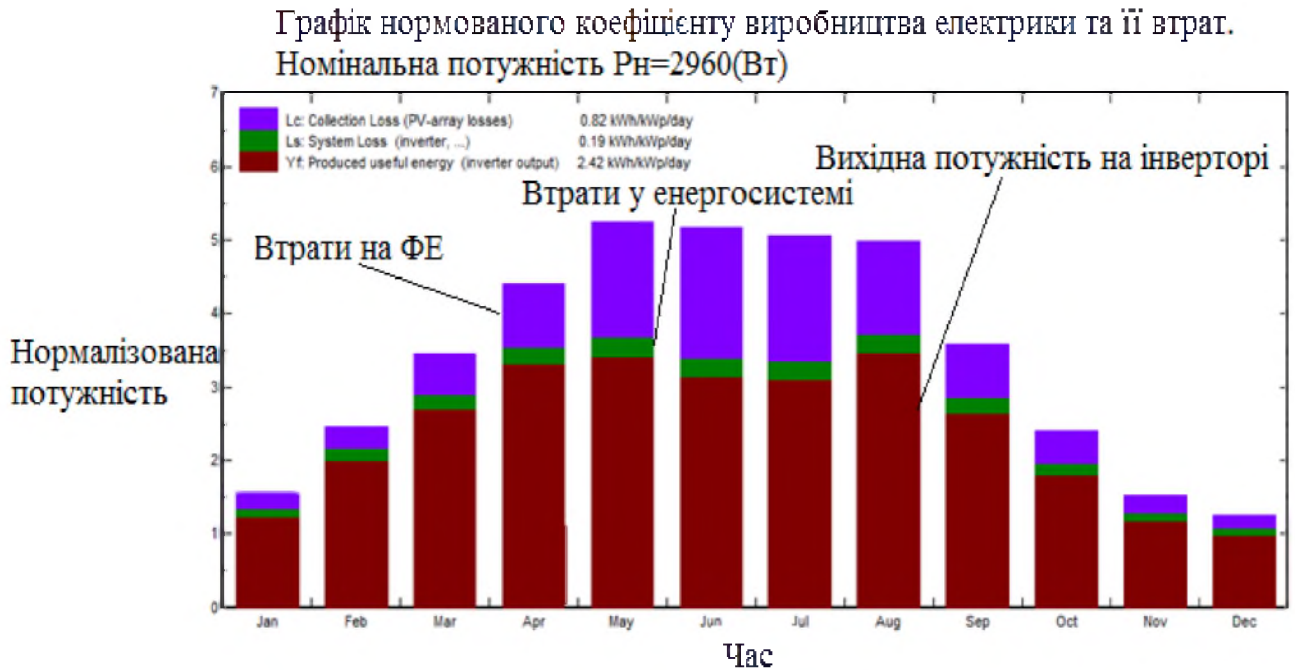


Рисунок 3.12 – Графік нормованого виробництва електрики, на протязі одного року роботи

Тож, за рис. 3.12 можна визначити наступні дані досліджуваної електричної мережі:

1) Значення середніх втрат енергії у день на фотоелектричному елементі становить $\Delta P_{ф.е.}=0.082$ (кВт*год./день).

2) Значення середніх втрат енергії під час передачі енергії до споживача у день $\Delta P_{е.с.}=0.019$ (кВт*год./день).

3) Відносне значення середньої потужності генерації становить $P_{ф.}=2.42$ (кВт*год./день).

Що ж стосується дійсного значення добової потужності у (кВт*год/день), то із цим прогнозом допоможе впоратися рис 4.13. Тут можна відстежити будь-яке добове значення протягом одного року. Також слід додати,

що дані із цього та інших побудованих під час роботи моделі можна представити у вигляді таблиці, де, в свою чергу, у вигляді стовпчиків таблиці будуть подані вектори часу та якоїсь електричної величини на вибір – струму, потужності чи напруги.

І саме одна із таких таблиць і повинна стати вхідним масивом даних для початкового тренування ШНМ.



Рисунок 3.13 – Графік генерації добової енергії ФЕ

На рис. 3.14 наведена функція добових середніх температур робочої поверхні ФЕ, протягом року від ефективного опромінення (або дійсного рівня освітленості) поверхні ФЕ.



Рисунок 3.14 – Графік функції річної температури від випромінювання

На рис. 3.15 за аналогією до 3.14 побудована функції річної потужності від випромінювання.



Рисунок 3.15 – Графік функції річної температури від випромінювання

Також програмне середовище дає змогу створити і енергетичну діаграму досліджуваної установки, яка представлена на рис. 3.16. Розглядалась спрощена електрична мережа, адже в дипломній роботі досліджується більшою мірою

робота саме фотоелектричного елемента, а не споживача. Проте при моделюванні можна врахувати й втрати після інвертора, під час передачі за лінією та трансформаторі збоку навантаження.

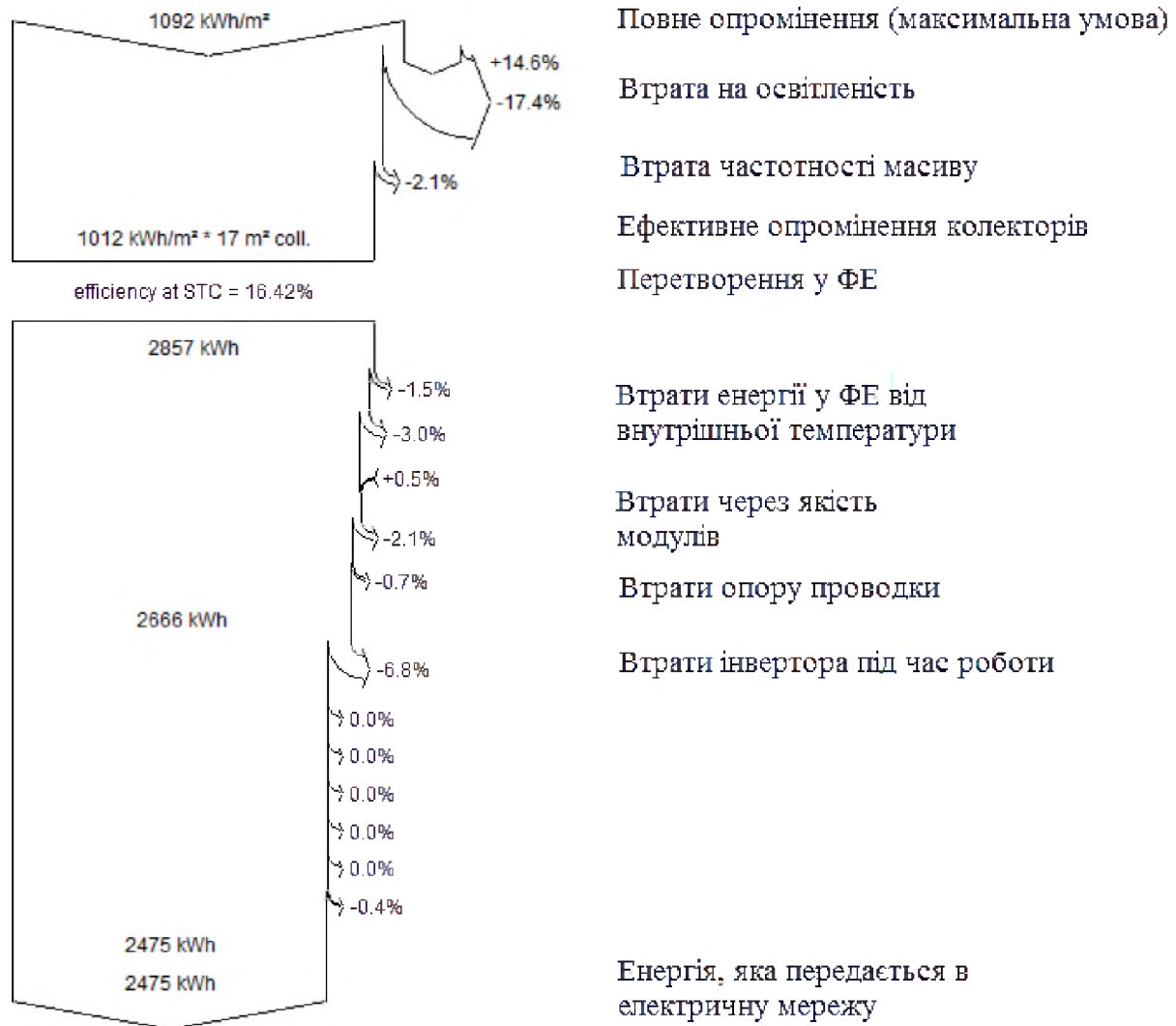


Рисунок 3.16 – Енергетична діаграма спрощеної мережі із ФЕ

Тоді сумарна втрата потужності складається із наступних величин:

$$P_{вт.повн} = P_{вт.кнтр} + P_{вт.кнт} + P_{вт.пер} + P_{вт.зат} + P_{вт.шин} \quad (3.1)$$

де: $-P_{вт.повн}$ – показник повних втрат фотоелектричних елементів;

$-P_{вт.кнтр}$ – показник втрат потужності у контакторах;

- $P_{вт.кит}$ – значення втрат потужності у контактах самих елементів;
- $P_{вт.зат}$ – значення витрат потужності у наслідок затінення фотоелектричного елемента;
- $P_{вт.шин}$ – показник втрат потужності у шинопроводі;

Усі розглянуті витрати мають резистивні характер елементів, окрім втрат на затінення. Існують дещо інші способи вираження втрат потужності у передній контактній сітці це можуть бути, як вираз втрат потужності, чи як послідовний опір та обидва методи будуть зводитися до загального. Результати будуть еквівалентні, проте формули дещо відрізняються.

3.2 Тренування штучної нейромережі.

Виконавши практичне моделювання роботи розробленої фотоелектричної станції для Волинської області, з'явилась можливість тепер мати достатню кількість початкових даних для розробки та виконання тренування штучних нейромереж, які будуть мати властивості фотоелектричних мереж. А звідси, штучний інтелект і буде визначати через прогнозування майбутні процеси у реальних фотоелектричних модулях.

Так у табл. 3.1 зведені практичні виміри при різних рівнях освітленості та температури електричних одиниць. Тут показано приклад передачі практичних даних для максимальних та мінімальних температурних значеннях Волинської області. Самі ж дані тренування, які були отримані із програмного забезпечення PVsyst є дуже об'ємними, адже у таблиці наведений лише випадок під час постійної температури та рівня сонячної інсоляції, що на практиці неможливо. Тому дана таблиця містить тисячі прикладів у форматі (txt), що можна легко передати через Matlab до ШНМ. Саме такою простотою обміном інформації поміж програмними середовищами й обумовлено їх вибір, а також і вибір ШНМ, адже не усі мікропроцесори здатні впоратися із опрацюванням такої кількості інформації.

Таблиця 3.1 – Приклад передачі даних для тренування

G_d [Вт/м ²]	$T_{\text{п}}$ [C°]	$P_{\text{Ф.Е.}}$ [Вт]	$U_{\text{Ф.Е.}}$ [В]	$I_{\text{Ф.Е.}}$ [А]
1053	31.52	0	0	22.98
1053	31.52	392.43	16.58	22.975
1053	31.52	889.28	32.98	22.97
1053	31.52	1255.35	49.38	22.96
1053	31.52	1696.68	65.78	22.945
1053	31.52	2062.04	82.18	22.905
1053	31.52	2384.14	114.98	22.87
1053	31.52	2658.76	131.38	22.85
1053	31.52	2934.31	147.78	19.48
1053	31.52	0	164.2	0
897	-4.78	0	0	23.01
897	-4.78	202.1	16.38	23.01
897	-4.78	517.37	33.47	23.005
897	-4.78	908.22	50.205	22.992
897	-4.78	1307.37	66.94	22.981
897	-4.78	1704.52	83.675	22.965
897	-4.78	2103.14	100.41	22.943
897	-4.78	2421.26	117.145	22.91
897	-4.78	2722.63	133.88	22.862
897	-4.78	3085.52	150.615	19.54
897	-4.78	0	167.35	0

На рис 3.17. представлено зміну значення помилки за часом при тренуванні побудованої штучної нейромережі, яка являє собою фотоелектричний елемент.

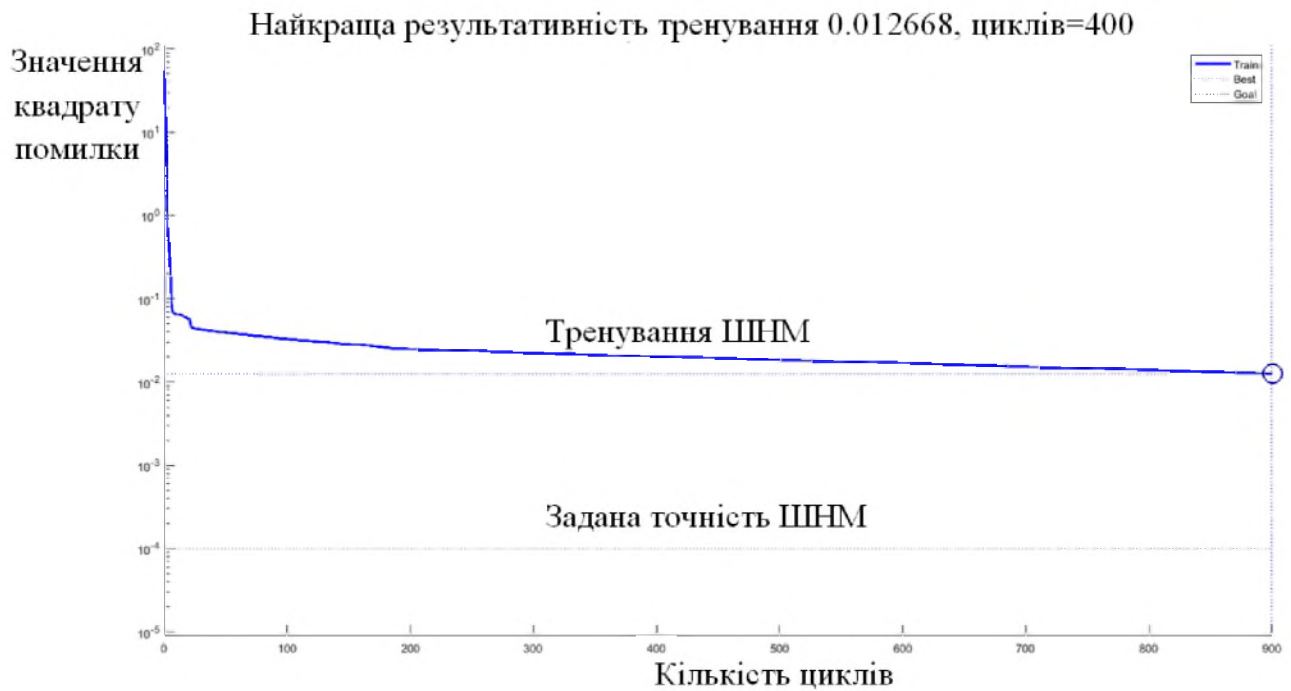


Рисунок 3.17 – Зміна значення вихідної помилки за часом при першому тренуванні побудованої штучної нейромережі.

На рис. 3.18 представлена панель для виконання тренування штучної нейромережі, а також для збору інформації користувачем після виконання першого тренування ШНМ чи перетренування. Зокрема з цієї панелі можна дізнатися про:

- зміну значення квадрату помилки відгуку ШНМ;
- час та методологія тренування нейромереж;
- оптимальної кількості циклів для раціональної роботи проектованої нейромереж;
- структурі розробленої нейромережі, та можливість її зміни
- метод зменшення помилки (напрямок та шлях спуску за градієнтом помилки).

На початку роботи до штучної нейромережі були подані усі доступні вхідні дані, як можна побачити із рис. 3.18 за цей час $t_{\text{нав}} = 216(\text{с})$, система не тільки пройшла 900 циклів, а ще й створила базу даних під зберігання

теперішніх та майбутніх (при перенавчанні) результатів, орала оптимальну топологію, а під цим розуміється:

- 1) Уточнення методу оптимальної побудови штучної мережі для конкретної задачі (при роботі із поточними вхідними даними).
- 2) Оптимізація кількості шарів, із огляду на кількість вхідних даних (це стосується багатшарових ШНМ, які і досліджуються у дипломній роботі, для одношарової цей етап пропускається).
- 3) необхідну або оптимальну кількість нейронів у кожному шарі штучної нейромережі (знову таки при її багатшаровості).
- 4) Уточнення, щодо методу тренування та необхідної точності навчання.

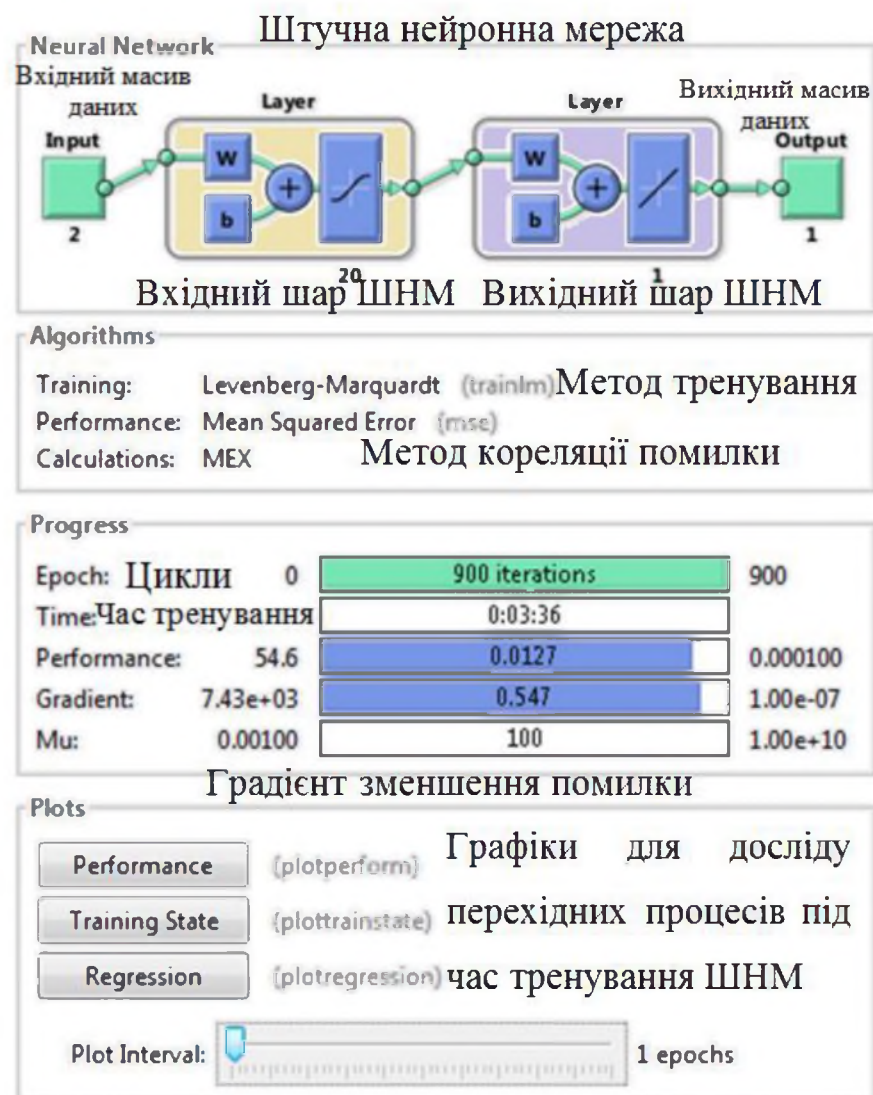


Рисунок 3.18 – Панель для виконання тренування та подальшого перетренування штучної нейромережі.

Тоді процес оптимізації, обрання градієнт зменшення помилки, параметри адаптації штучної нейромережі, що наведено на рис. 3.19.

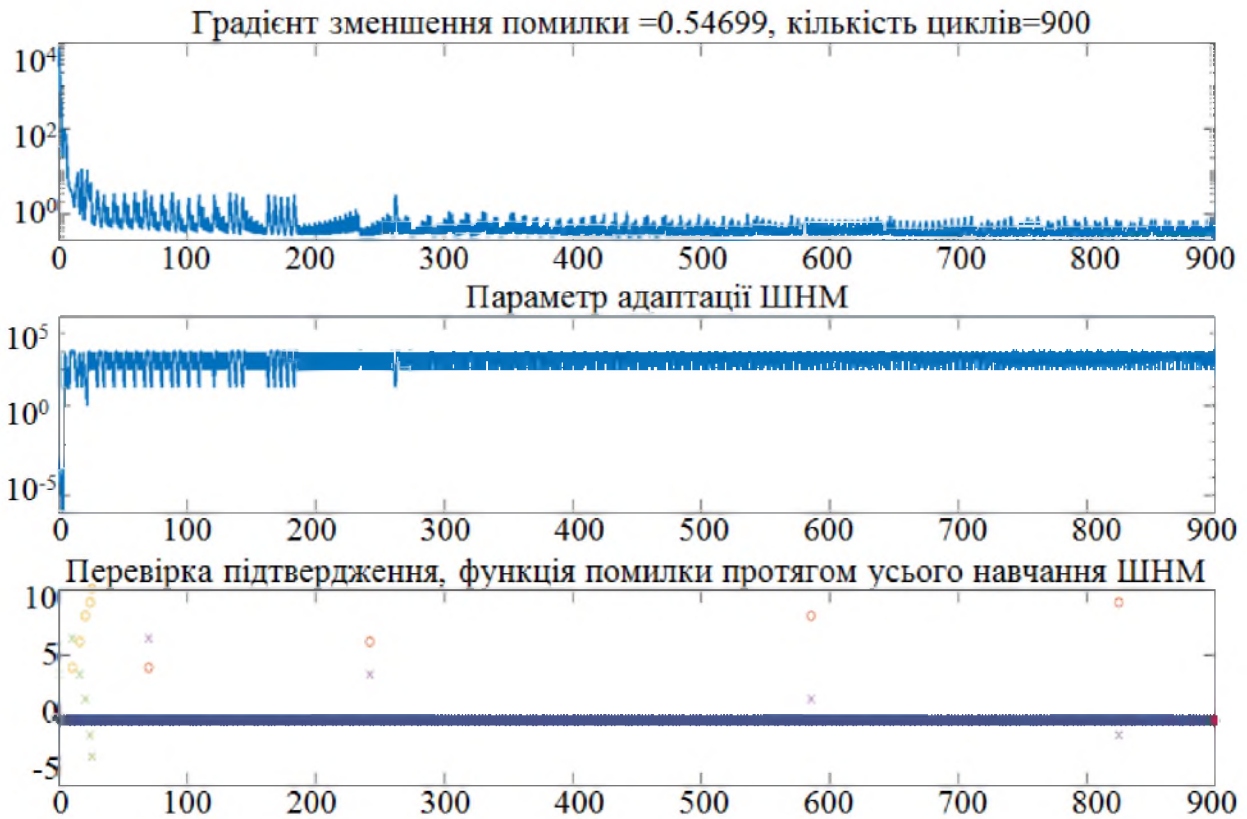


Рисунок 3.19 – Градієнт зменшення помилки ШНМ

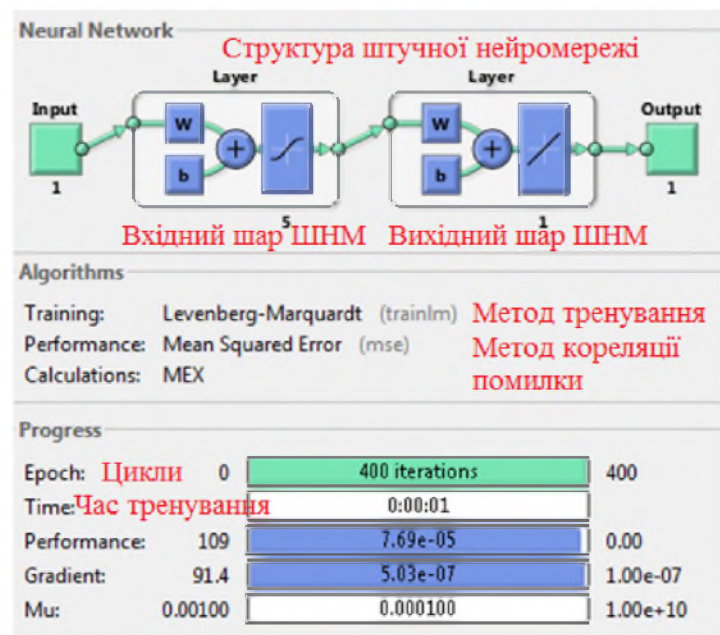


Рисунок 3.20 – Результати перетренування ШНМ

Як можна побачити, із рис. 3.17 задана точність ще не є досягнутою, також час відгуку штучної нейромережі, на заданий вхідний масив, знаходиться далеко від оптимального. Тому із метою покращення роботи ШНМ і було виконано перетренування у декілька етапів, до того моменту, поки помилка не увійшла у задовільний діапазон точності.

Так результати перетренування – структура штучної нейромережі, кількість циклів проходження інформації, метод, щодо кореляції помилки, а також час перенавчання. Тепер можна побачити, що $t_{\text{перенав}} = 1.2$ (с), що вже задовольняє і поставлені вимоги за часом до ШНМ. Тоді на рис. 3.21 показано зміну значення помилки ШНМ із часом при здійсненні у мережі перетренування.

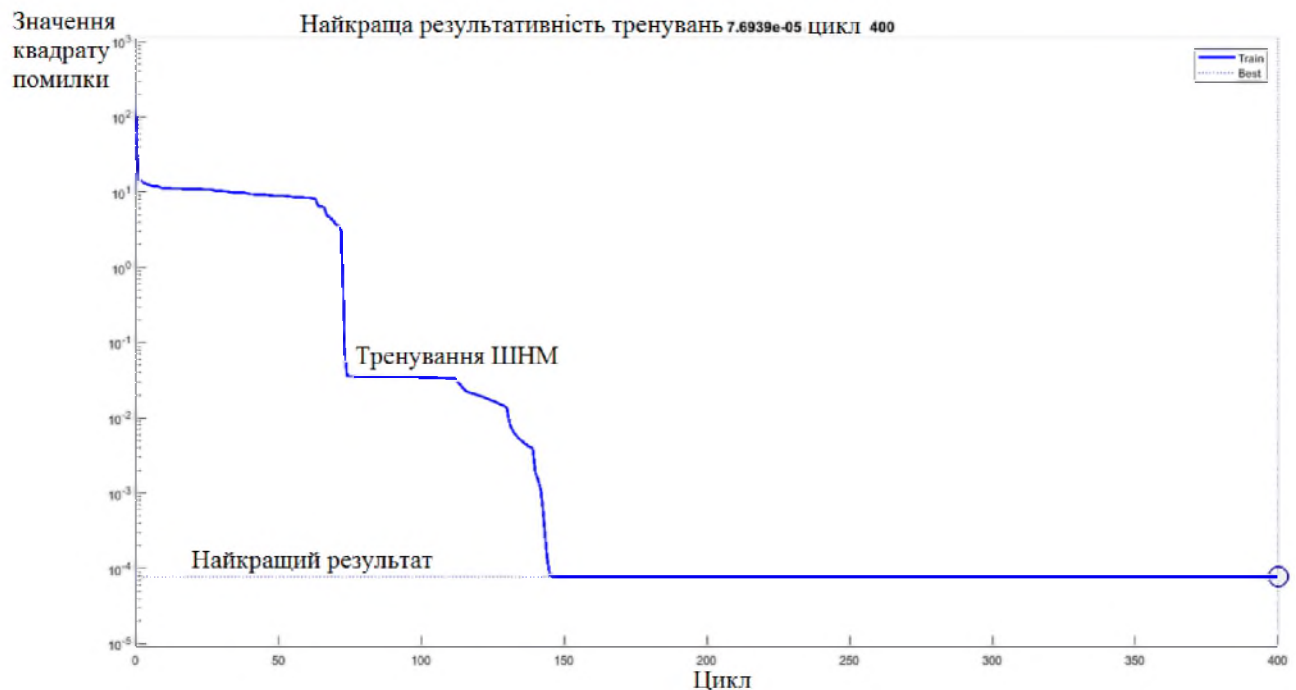


Рисунок 3.21 – Зміна значення вихідної помилки із часом при перетренуванні побудованої ШНМ

Також із рис 3.21 стає зрозумілим, що при перетренуванні й кількість циклів зменшилася у 2.5 разів, а кількість циклів за якими досягається необхідне значення досягає 55.

При цьому необхідно зазначити, що показник точності у навчанні ШНМ через виконання оптимізації не погіршилася, що доведено практичним шляхом на рис. 3.22.

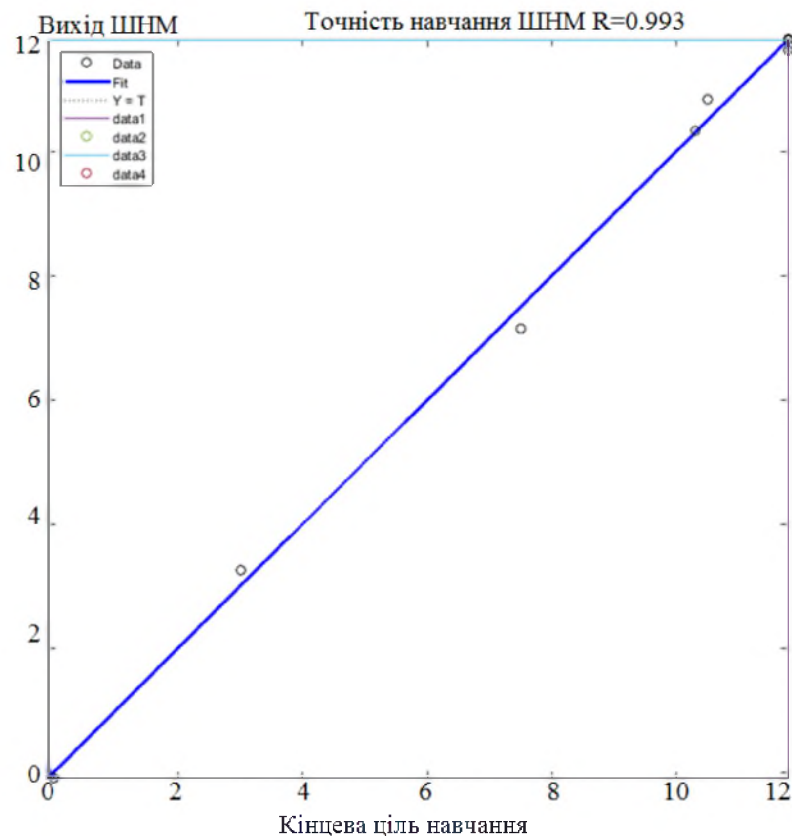


Рисунок 3.22 – Графік відображення точності навчання ШНМ

Тоді знову пройшовши процес перетренування ШНМ, обрання градієнту зі зменшення помилки та параметри адаптації штучної нейромережі, які наведені на рис. 3.23-3.24.



Рисунок 3.23 – Градієнт зменшення помилки при перетренуванні ШНМ

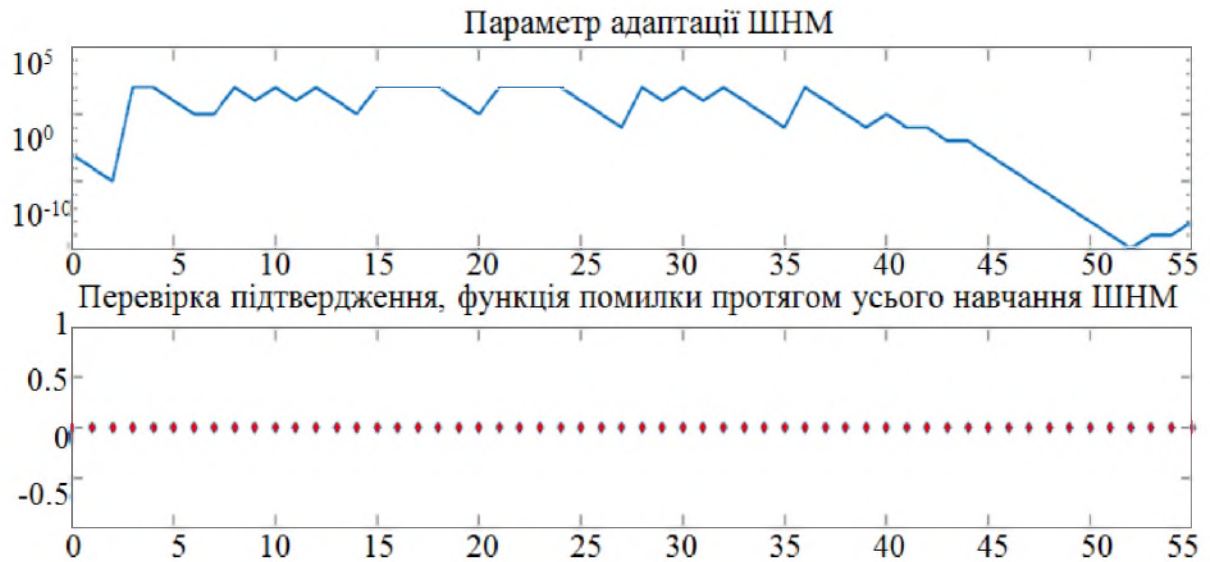


Рисунок 3.24 – Зміна адаптаційного параметру ШНМ

Остаточна, оптимізована структурну моделі штучної нейромережі фотоелектричних елементів.

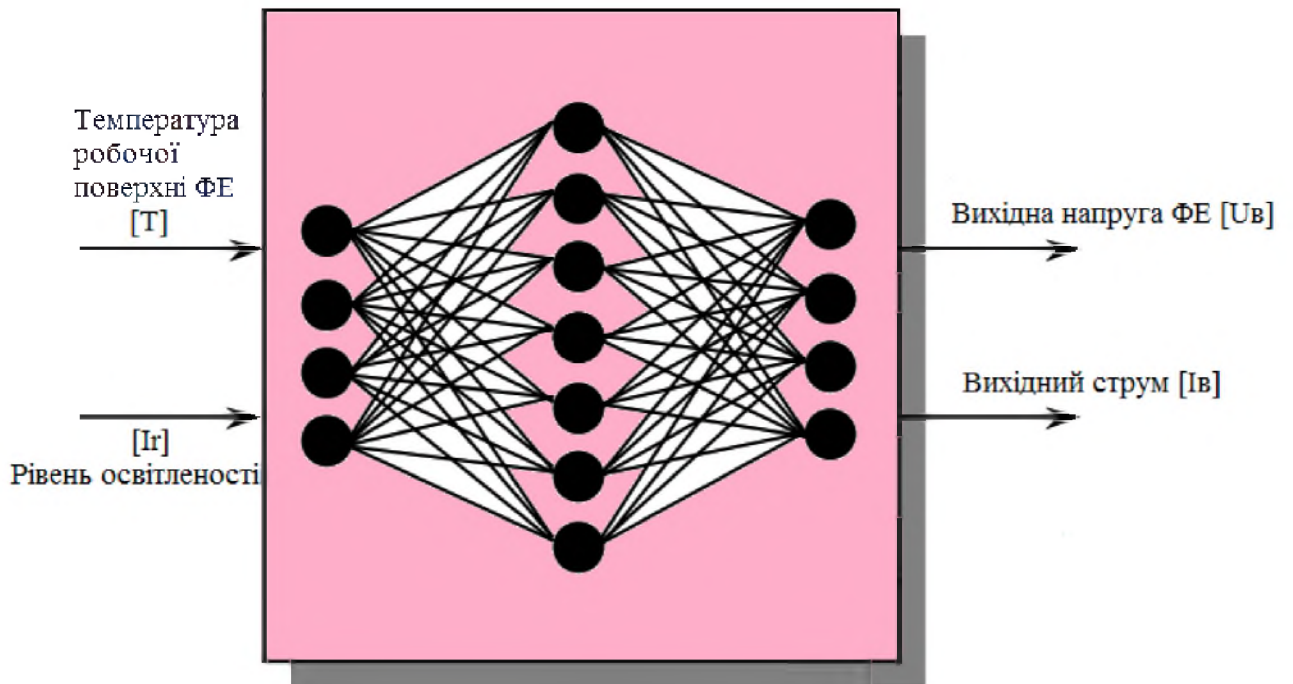


Рисунок 3.25– Структурна модель штучної нейромережі фотоелектричних елементів

4. РОБОТА ФОТОЕЛЕКТРИЧНОЇ СТАНЦІЇ, ЯКА ВКЛЮЧАЄ РЕАЛЬНІ ФЕ ТА ШНМ.

4.1 Створення моделі штучної нейромережі, яка модулює роботу фотоелектричного елемента.

Як було визначено у роботі буде досліджуватися суміжну дію групи реального фотоелектричних елементів з'єднаних поміж собою (який моделює схема досліджена у розділі 2) та штучної нейронної мережі. Схема такої роботи представлена на рис. 4.1

Основна ж мета такої паралельної роботи це прогноз дії реального об'єкту за допомогою штучного інтелекту, де останній має переваги за часом, адже у розділі 3 було доведено, що перетренування у проєктованій та оптимізованій ШНМ може досягати усього $t_{\text{нав}}=1-2(\text{с})$, у той час, як відпрацювання реального ФЕ, через внутрішні процеси та внутрішній опір має свою інертність та час відпрацювання вхідної дії $t_{\text{відпр}}=6-10(\text{с})$.

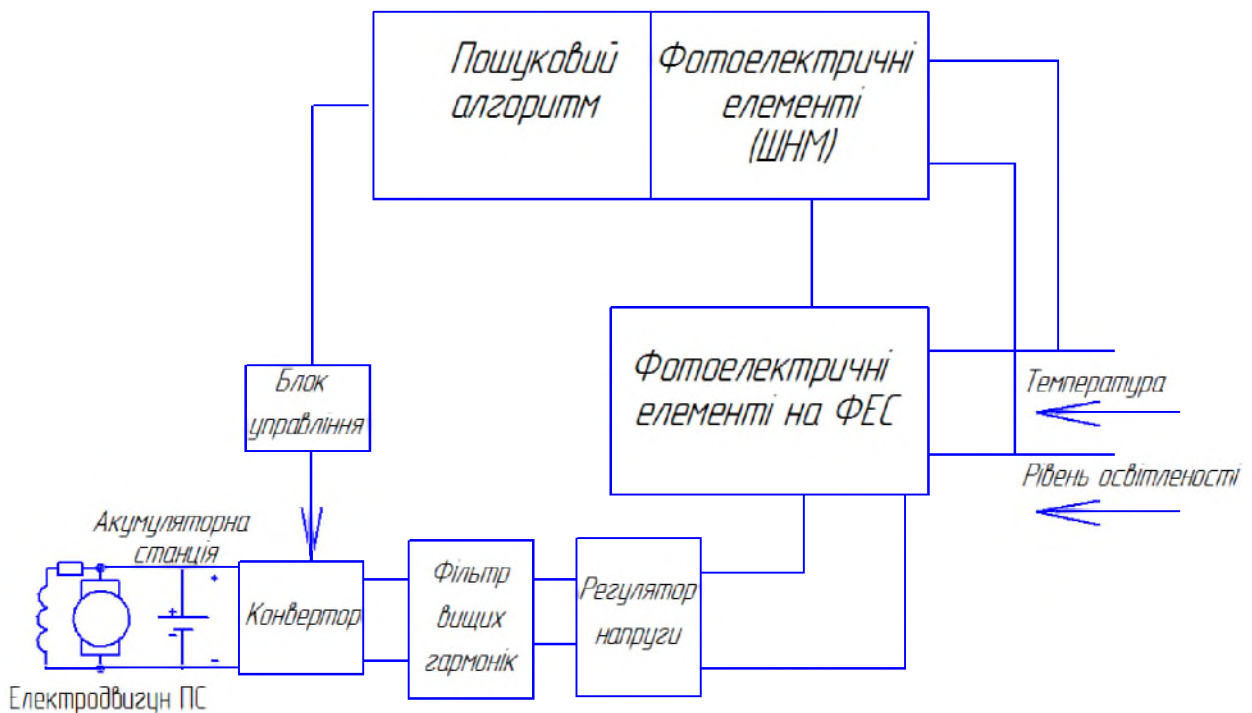


Рисунок 4.1 – Фотоелектрична станція із паралельною роботою зі ШНМ під час роботи на навантаження постійного струму

В той же час у розділі 3 вже було надано увагу параметрами побудованої ШНМ та її характеристиками, проте не подавалась сама модель, внутрішня частина котрої наведена у «додатку Д», а повна модель зображена на рис. 4.2

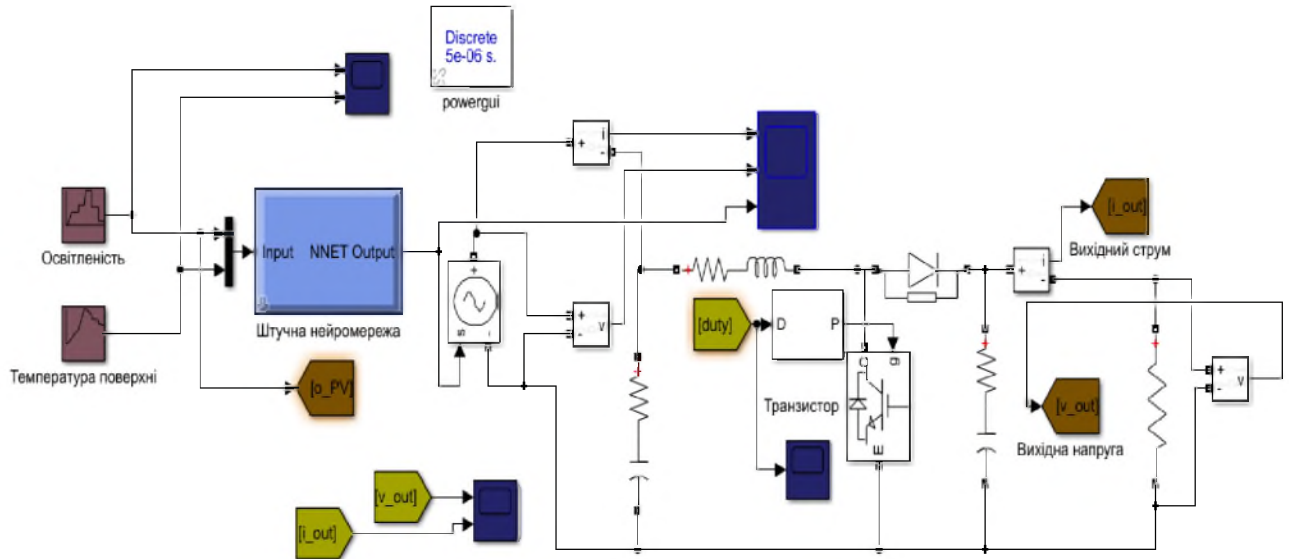


Рисунок 4.2 – Модель штучної нейромережі фотоелектричного елемента

Тоді вхідне завдання, котре надходить до обох моделей має вигляд представлений на рис. 4.3

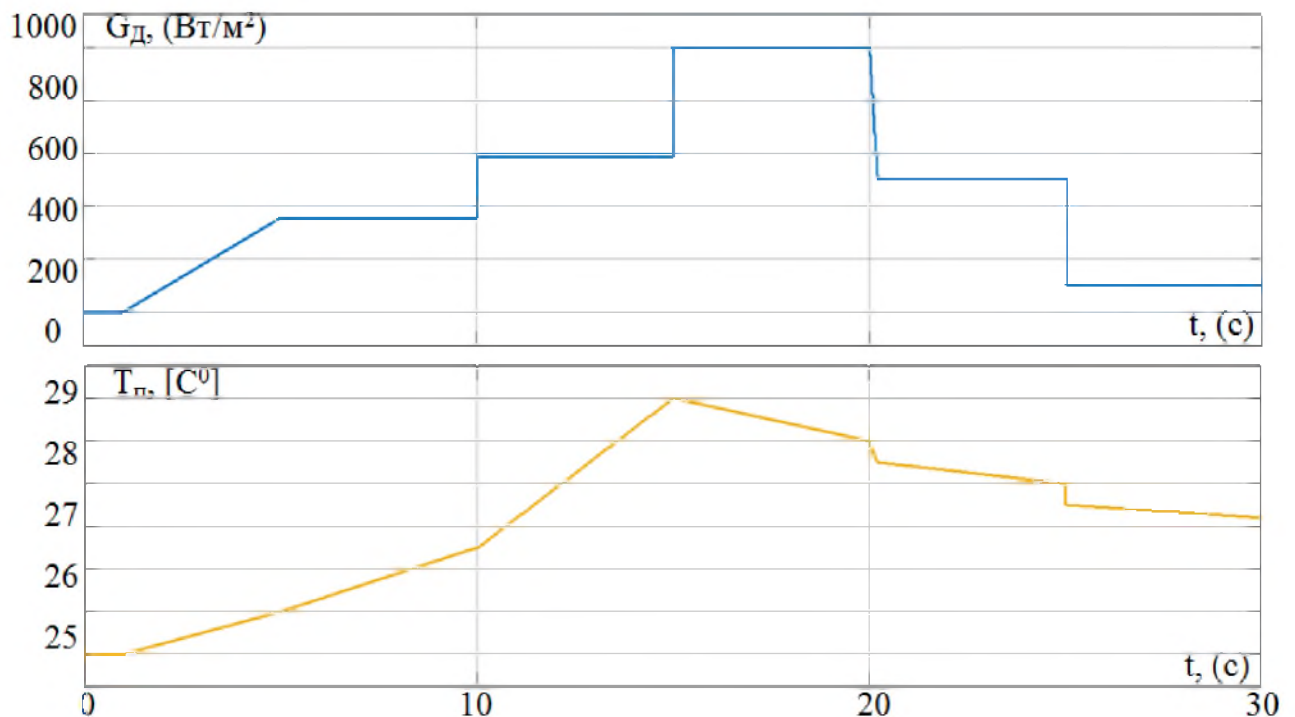


Рисунок 4.3 – Осцилограма вхідних параметрів для ШНМ та моделі ФЕ

Також були отримані результати роботи цієї моделі, так на рис. 4.4–4.5 наведено один із прикладів, коли за вхідними поточними даними ШНМ моделює майбутню поведінку групи з'єднаних ФЕ.

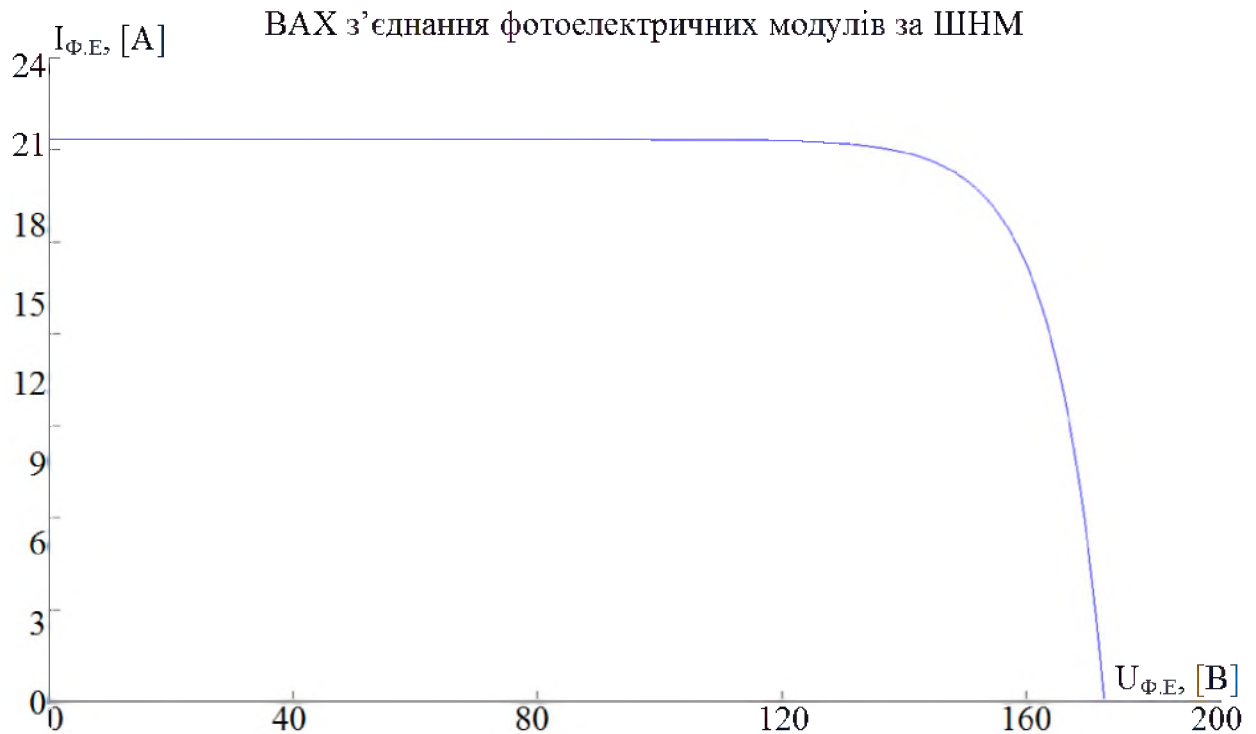


Рисунок 4.4 – ВАХ з'єднання фотоелектричних модулів за штучними нейронними мережами

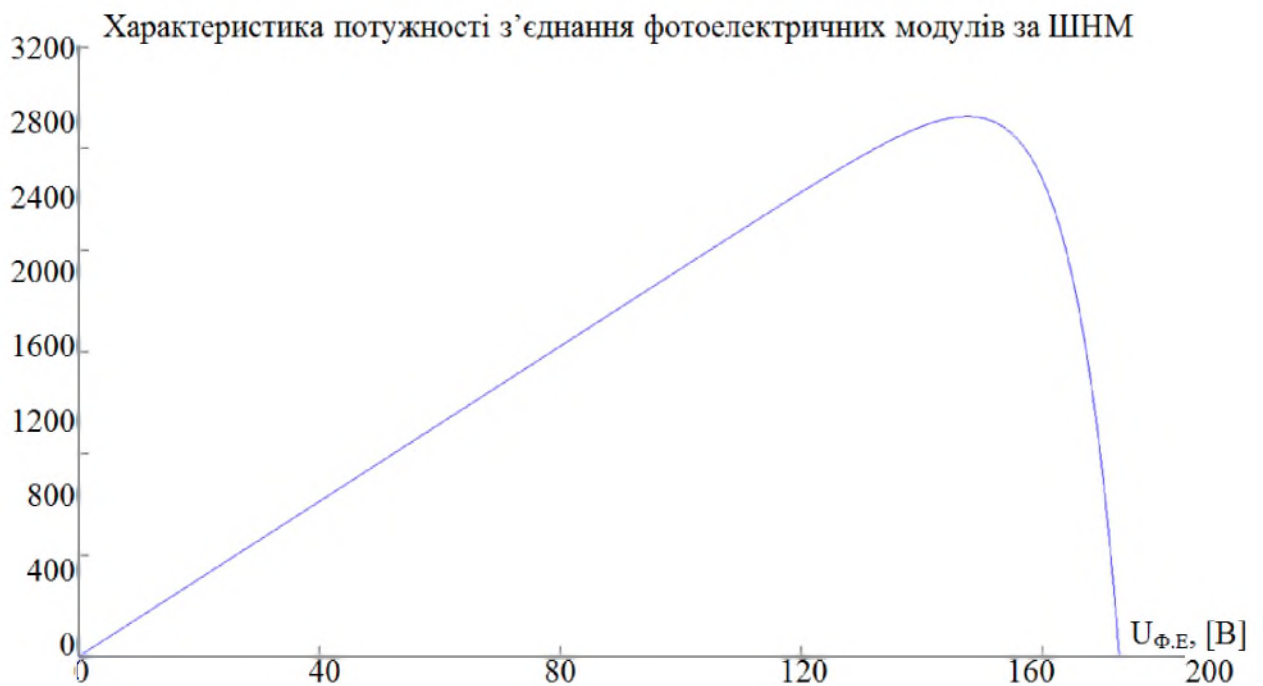


Рисунок 4.5 – Характеристика потужності з'єднання фотоелектричних модулів за штучними нейронними мережами

А на рисунку 4.6 надається результат роботи за усім спектром рівня інсоляції на поверхні ФЕ. Такий же результат можна отримати і для ВАХ, однак, зазвичай у цьому немає потреби, адже маючи потужність та напругу вихідні фотоелектричного модуля, можливо швидко встановити й вихідний струм.

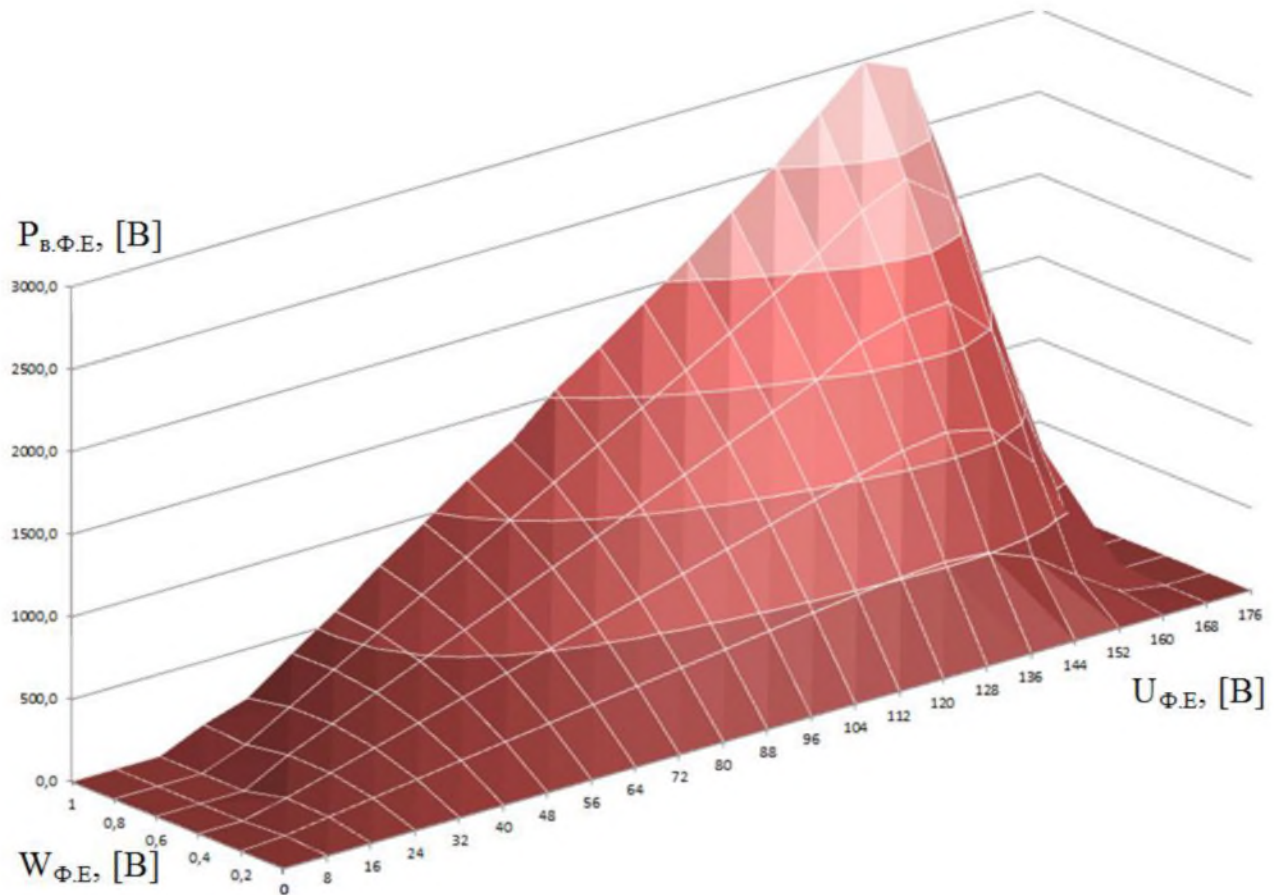


Рисунок 4.6 – Результати відпрацюванню вхідних сигналів побудованою штучною неймережою

4.2 Дослідження паралельної роботи на навантаження.

Тож на початку паралельної роботи необхідно перенести у одну середовищі ШНМ та модель ФЕ, далі необхідно створити блоки для моделювання процесів у фотоелектричній мережі – це й акумуляторна батарея, втрати в лінії конвертор, ДПС.

Розділимо модель на дві складові – робота ФЕС із зарядженням акумуляторної батареї, друга від АБ до споживача через конвертор.

Тоді доповнена модель ФЕС із реальними ФЕ має вигляд, як на рис. 4.7.

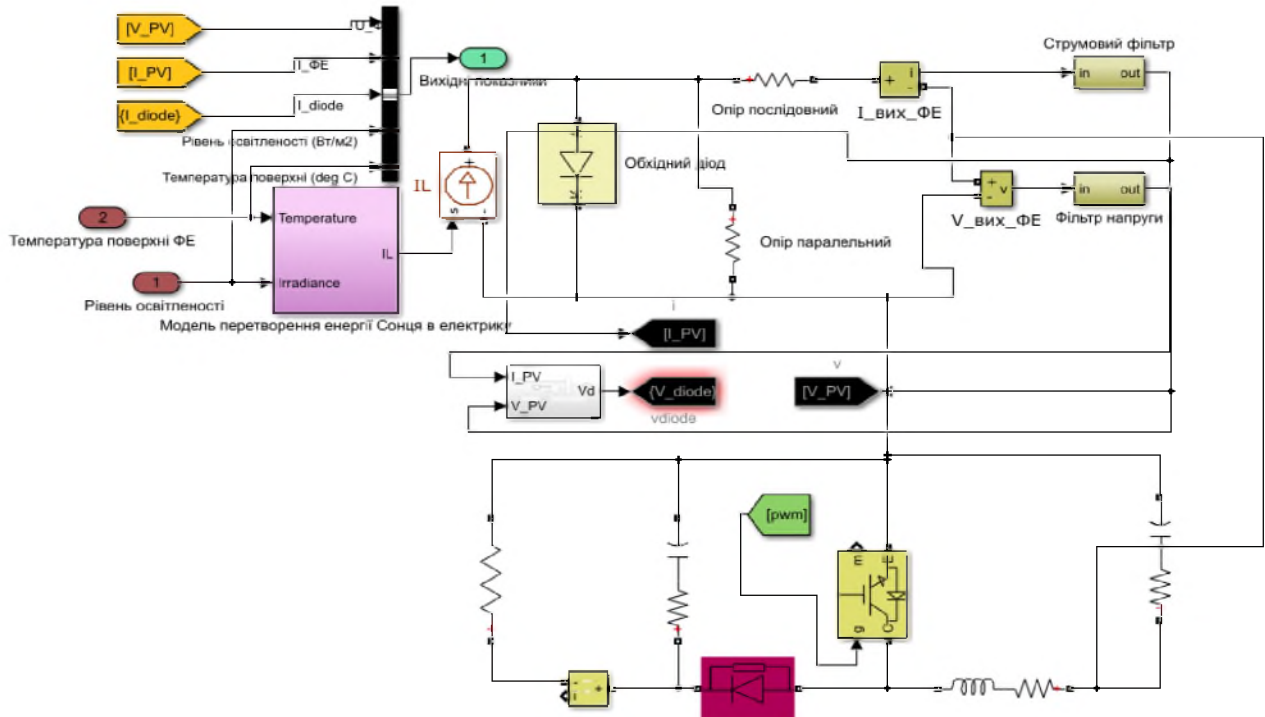


Рисунок 4.7 – Доповнена модель фотоелектричного елементу у ФЕС

А тоді доповнена модель ШНМ у ФЕС набуває вигляд, як на рис. 4.8.

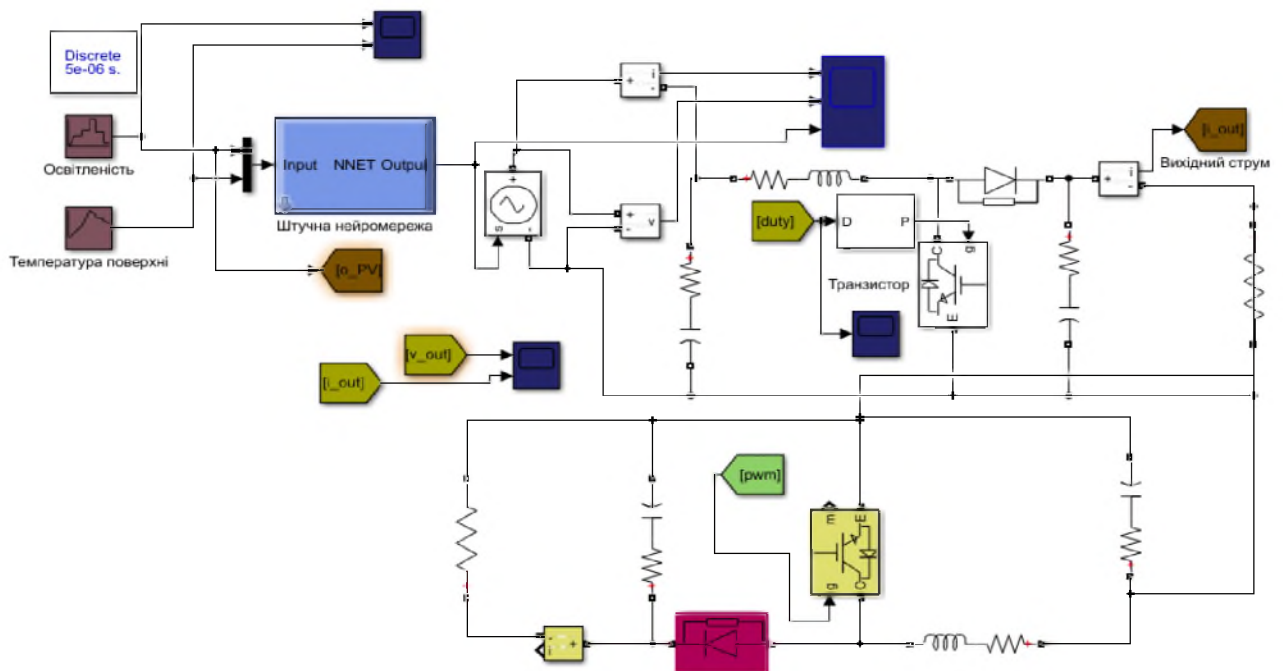


Рисунок 4.8 – Доповнена модель ШНМ фотоелектричного елементу

Далі можна згорнути ці дві моделі та залишити контакти виводів і з'єднати їх зі споживачем у вигляді ДПС, який було обрано ще у 2 розділі. Тоді модель ФЕС на базі реальних фотоелектричних елементів наведена на рис. 4.9.

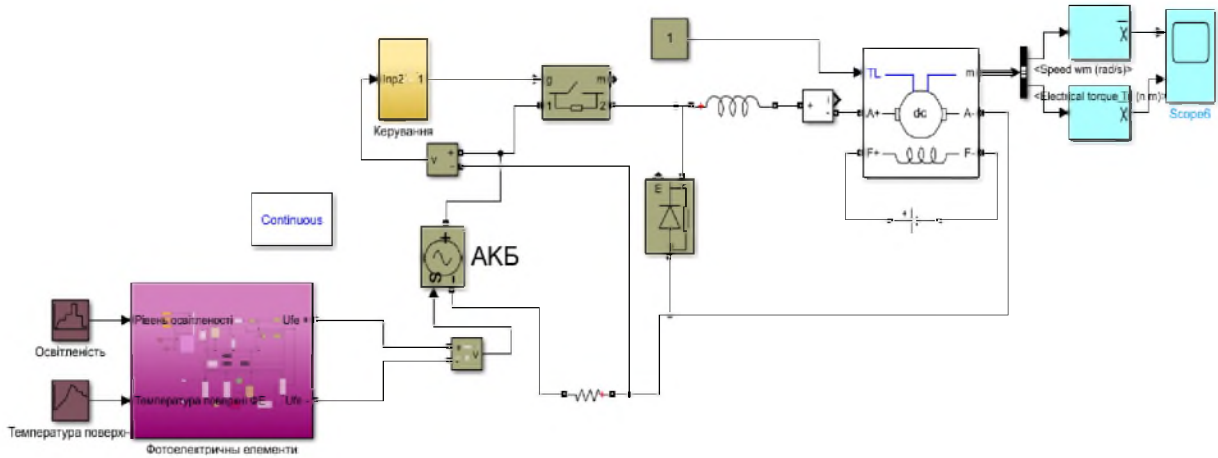


Рисунок 4.9 – Модель ФЕС на базі реальних фотоелектричних елементів

Тоді на рис. 4.10 представлені моделі ФЕС на базі штучних нейронних мереж. Нижче можна побачити зроблену підсистему, що виконує вимірювання в електромережі.

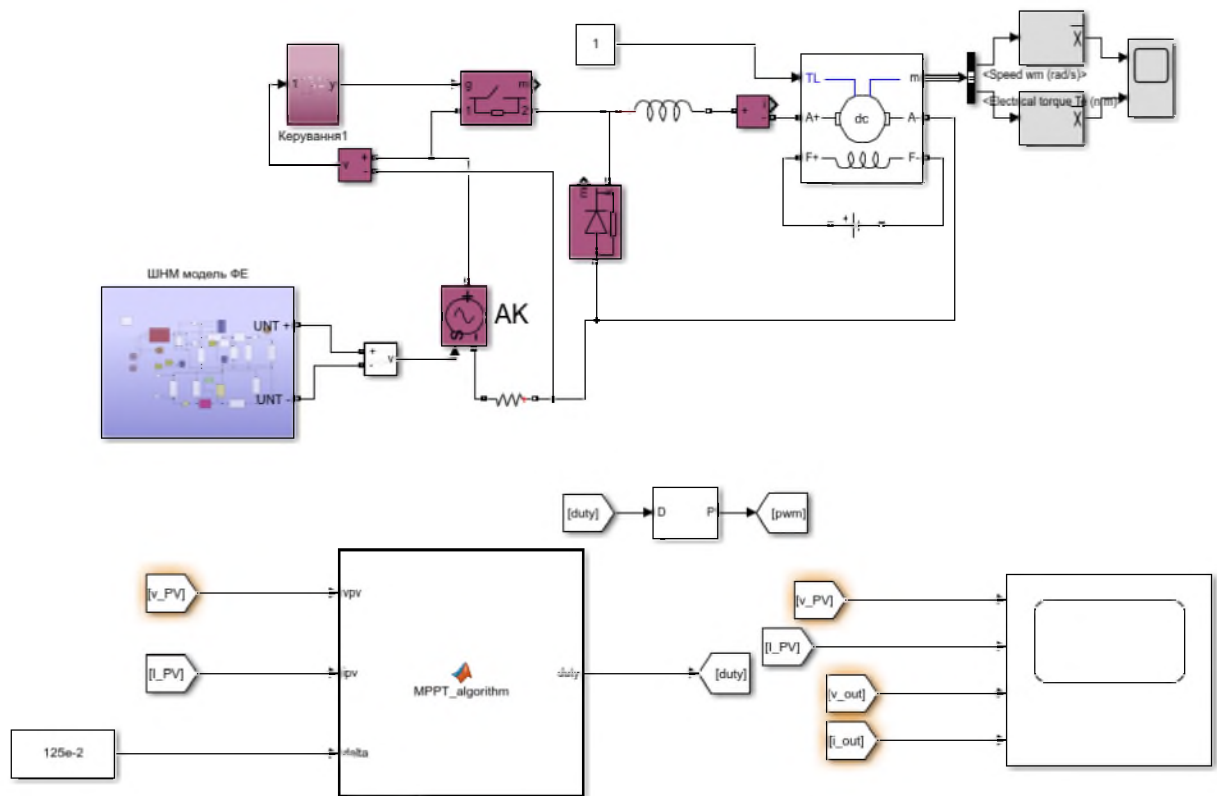


Рисунок 4.10 – Модель ФЕС на базі штучної нейронної мережі

ВИСНОВКИ

Протягом виконання кваліфікаційній дипломній роботі виконувалось дослідження роботи фотоелектричного елементу, а також його представлення у вигляді штучної нейромережі. Так вивчалась робота ФЕ за всією ВАХ, тобто від режиму холостого ходу, проходячи максимум генерації і до короткого замикання.

Для досягнення поставленої перед дослідженням мети, у першому розділі відбувався аналіз роботи фотоелектричних елементів, синтез процесів генерація електрики у них, а також детально розглядалися способи з'єднання модулів поміж собою.

На цьому етапі дослідів відбулося визначення ролі параметрів, котрі суттєво впливають на роботу фотоелектричного елементу, а саме на його вихідну потужність. Так було зазначено, що окрім сталих температури та освітленості поверхні ФЕ, впливає ще й кут нахилу самого елементу, цей параметр виявився суттєвим для стаціонарних ФЕ.

У наступному розділі відбулося вивчення роботи фотоелектричних елементів досліджуваного типу. Бала обрана та детальна розглянута схема заміщення фотоелектричного елементу для майбутньої побудови її математичної модулі.

За виконаним розрахунком необхідної кількості у роботі фотоелектричних елементів, була промодельована робота й групи поєднаних поміж собою модулів. Так 4 модулі із двох масивів були з'єднанні послідовно, а власне масиви були, поміж собою, паралельними. За результатами були досліджені електричні характеристики та підтверджено теорії про залежність вихідної потужності ФЕ у залежності від температури, рівня освітленості, кута поверхні.

Здійснивши практичне моделювання роботи розробленої фотоелектричної станції для Волинської області, з'явилась можливість мати достатню кількість початкових даних для розробки та виконання подальшого

тренування штучних нейромереж, котрі будуть мати властивості аналогічні до фотоелектричних мереж. А звідси, штучний інтелект і буде визначати через прогнозування майбутні процеси у реальних фотоелектричних модулях.

Розглянута паралельна робота ШНМ та моделі ФЕ передбачає створення прогноз дії реального об'єкту через використання штучного інтелекту. ШНМ мають перевагу за часом – показником швидкодії відпрацювання сигналу, довів представлений у розділі 3.2 аналіз часу тренування та перетренування проектованої ШНМ, після оптимізації. Тут час може досягати усього $t_{\text{нав}}=1-2$ (с), при тому, що відпрацювання вхідного завдання реальним ФЕ, через внутрішні процеси та внутрішній опір має свою інертність та час відпрацювання вхідної дії є значно вищим за штучний інтелект – $t_{\text{відпр}}=6-10$ (с).

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1) Р. Holmes , S. Mohile, «Сонячна енергія для початківців: як спроектувати та встановити найкращу сонячну енергетику для вашого дому» : Мова: англійська, Видавець: Незалежно опубліковано, ISBN-13 : 979-8642013625, 2021 р. — 170 с.

2) «Посібник для навчання електриків, монтажників та операторів сонячних фоелектричних систем» Доступно: [Режим доступу]. https://www.bbw-international.com/fileadmin/user_upload/Projekte/Ostafrika_KVP/Trainer_Guide.pdf Дата звернення: 14.05.22

3) «Конструкція сонячних панелей, орієнтація та їх використання.» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.solar4rschools.org/sites/default/files/solar-panel-construction.pdf> Дата звернення: 17.05.22

4) «Що таке сонячна батарея. Будівництво сонячної батареї. Принцип роботи сонячної батареї. Застосування сонячних батарей» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://electricalgang.com/solar-cell-construction-and-working/> Дата звернення: 20.05.22

5) «Фотоелектричні системи: використовувані матеріали та як можна підвищити їх ефективність і вартість» електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://matmatch.com/resources/blog/solar-panels-materials-efficiency-cost/> Дата звернення: 20.05.22

6) Т. Аннаре, «Сонячна енергія: Посібник для початківців із сонячних електричних систем, для автономних сонячних систем та для енергетичної незалежності вашого будинку» : Мова: англійська, Видавець: Незалежно опубліковано, ISBN-13 : 979-8633966961, 2020 р. — 188 с.

7) «З чого виготовляють сонячні панелі? Пояснення типів елементів і частин сонячної панелі» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://news.energysage.com/what-are-solar-panels-made-of-list-of-solar-pv-materials/> Дата звернення: 23.05.22

8) Л. Джонсон, «Налаштування сонячної енергетичної системи для початківців: повний посібник про те, як спроектувати та встановити найкращу сонячну енергетичну систему для вашого будинку» : Мова: англійська, Видавець: Незалежно опубліковано (07.03.2021), ISBN-13 : 979-8718329254, 2021 р. — 54 с.

9) «Посібник із сонячної енергії для електриків. Офіс технологій сонячної енергії» – електронний ресурс. Доступно: [Режим доступу]. <https://www.energy.gov/eere/solar/solar-energy-guide-homebuilders> Дата звернення: 25.05.22

ДОДАТОК А.
«ПЕРЕЛІК ЗАУВАЖЕНЬ НОРМОКОНТРОЛЕРА ДО
ДИПЛОМНОГО ПРОЕКТУ»

Студента М. Лях, групи ЕЛК – 18

Призначення документа	Документ	Умовні позначення	Зміст зауваження

Дата _____

Підпис _____

(ПБ)

ДОДАТОК Б

«Привила та особливості експлуатації сонячних батарей»

Відповідно до статті 11 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» [1] експлуатація альтернативних джерел енергії на об'єктах альтернативної енергетики провадиться за умов:

1. безпечного проведення робіт, здійснення державного нагляду за режимами споживання енергії;
2. енергетичної безпеки, що гарантує технічне та економічне задоволення періодичних, поточних і перспективних потреб споживачів енергії;
3. виконання технологічних вимог щодо виробництва, акумулювання, передачі, постачання та споживання енергії;
4. додержання єдиних державних норм, правил і стандартів усіма суб'єктами відносин;
5. додержання правил експлуатації об'єктів альтернативної енергетики, що регламентуються нормативно-правовими актами, обов'язковими для виконання всіма суб'єктами підприємницької діяльності.

Відповідно до статті 12 Закону України «Про альтернативні джерела енергії» протиаварійний захист та забезпечення екологічної безпеки при використанні альтернативних джерел енергії здійснюються шляхом:

1. запобігання аварійним ситуаціям і ліквідації їх наслідків на об'єктах альтернативної енергетики за рахунок додержання вимог та правил, встановлених відповідно до державних стандартів;
2. створення умов для розвитку, підвищення технічного рівня, безпечної експлуатації та охорони об'єктів альтернативної енергетики згідно із законодавством;
3. підтримки необхідного балансу потужності та якості енергії, виробленої з альтернативних джерел, для забезпечення надійного і безаварійного функціонування з об'єднаною енергетичною системою України;

4. здійснення нагляду за впровадженням нових систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики, а також засобів зв'язку і диспетчерського управління з енергетичними мережами України;

5. здійснення нагляду за експлуатацією систем протиаварійної автоматики та захисту об'єктів альтернативної енергетики від несанкціонованого втручання.

Державний нагляд у сфері альтернативних джерел енергії здійснює спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади у відповідній сфері та інші органи у порядку, встановленому Кабінетом Міністрів України.

Щодо сонячних батарей, то для того щоб система з сонячних батарей працювала і подавала енергію у мережу, потрібно встановити ряд додаткових електроприладів, зокрема: інвертор, що перетворює постійний струм у змінний; акумуляторну батарею, яка повинна накопичувати енергію; контролер заряду акумулятора.

Оскільки працездатність системи безумовно залежить від ступеня зарядженості свинцевокислотних батарей, необхідно ознайомитись з «Інструкцією з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей».

Так як до системи з сонячних батарей входять електроприлади (інвертор, контролер), то слід дотримуватись системи засобів і заходів безпечної експлуатації електроустановок.

Ізоляція струмовідних частин забезпечується шляхом покриття їх шаром діелектрика для захисту людини від випадкового доторкання до частин електроустановок, через які проходить струм.

Електрозахисними засобами називаються вироби, що переносяться та перевозяться і слугують для захисту людей, які працюють з електроустановками, від ураження електричним струмом, від дії електричної дуги та електромагнітного поля.

Розрізняють основні й додаткові ізолювальні електрозахисні засоби. До основних належать такі електрозахисні засоби, ізоляція яких протягом

тривалого часу витримує робочу напругу електроустановки до 1000 В – діелектричні рукавички, ізолювальні штанги, інструменти з ізольованими ручками, електровимірювальні кліщі, ізолювальні кліщі, покажчики напруги; а при роботі в електроустановках напругою понад 1000 В – ізолювальні штанги, струмовимірювальні та ізолювальні кліщі, покажчики напруги для фазування.

Додаткові ізолювальні захисні засоби мають недостатні ізолювальні властивості, тому призначені лише для підсилення захисної дії основних засобів, разом з якими вони і застосовуються. До них належать: при роботах в електроустановках з напругою до 1000 В – діелектричні калоші, килимки, ізолювальні підставки; при роботах в електроустановках з напругою понад 1000 В – діелектричні рукавички, боти, килимки, ізолювальні підставки.

Огороджувальні електрозахисні засоби (щити, ширми, екрани, плакати електробезпеки) призначені для захисту працівників, котрі проводять роботи в електроустановках, від випадкового доторкання чи наближення на небезпечну відстань до струмовідних частин, що знаходяться під напругою.

Отже, за правила охорони праці при використанні сонячних батарей можемо використати такі нормативно-правові документи: Закон України «Про використання альтернативних джерел енергії», «Інструкція з охорони праці при експлуатації стаціонарних свинцево - кислотних акумуляторних батарей» та основи охорони праці при експлуатації електроустановок.

Встановлення панелей, що генерують електрику з сонячного світла, повинно проводитися з урахуванням цілого ряду чинників, які як окремо, так і в сукупності вплинуть на їх продуктивність:

- Доступність робочого ресурсу. Якщо ділянка з сонячними батареями занадто часто опиняється в тіні, варто бути готовими й до зниженого рівня виробництва енергії. Немає сенсу проводити монтаж панелей у тих місцях, де затінення відбувається регулярно через різні причини, включаючи особливості клімату, розташування статичних об'єктів на кшталт рослинності і споруд.

– Дуже важливу роль у продуктивності світлових електростанцій грає кут нахилу і повороту, під якими вони розташовуються. Ці значення можуть різнитися залежно від вашого географічного положення.

– Вид сонячної електростанції. Залежно від конструкції панелей і матеріалів, що лежать в їх основі, значно змінюються не тільки технічні параметри пристроїв, але також рекомендації щодо умов розміщення. Монокристалічні батареї, як відомо, надзвичайно чутливі до бруду і тіні, які негативно впливають на продуктивність пристроїв. Виходячи з цього, якщо ваша ділянка часто страждає від цих чинників, слід зробити вибір на користь полікристалічних панелей, куди більш стійких до «м'якої тіні» (слабке затінення, що виникло від природних факторів, на зразок хмарності, або від незначної перешкоди на шляху сонячних променів).

Зручність обслуговування пристроїв. Якщо поверхня панелей з фотоелементами накопичить на собі занадто великий шар пилу і бруду, її продуктивність почне падати до нуля. З огляду на це, в залежності від погодних умов і пори року, їм потрібен регулярний догляд і чищення, що може бути ускладнено якщо ви вирішите розмістити батареї на похилому даху будинку.

– Захист від механічного впливу і навколишнього середовища. Чимало домовласників в силу різних причин вважають за краще розміщувати сонячні джерела живлення на землі, поруч з будинком. Таке рішення значно полегшує догляд за ними, однак робить пристрої куди більш уразливими для таких явищ, як пил, різні опади і сміття, які вітер нерідко піднімає в повітря.

ДОДАТОК В

«Зовнішній вигляд досліджуваної сонячної панелі»

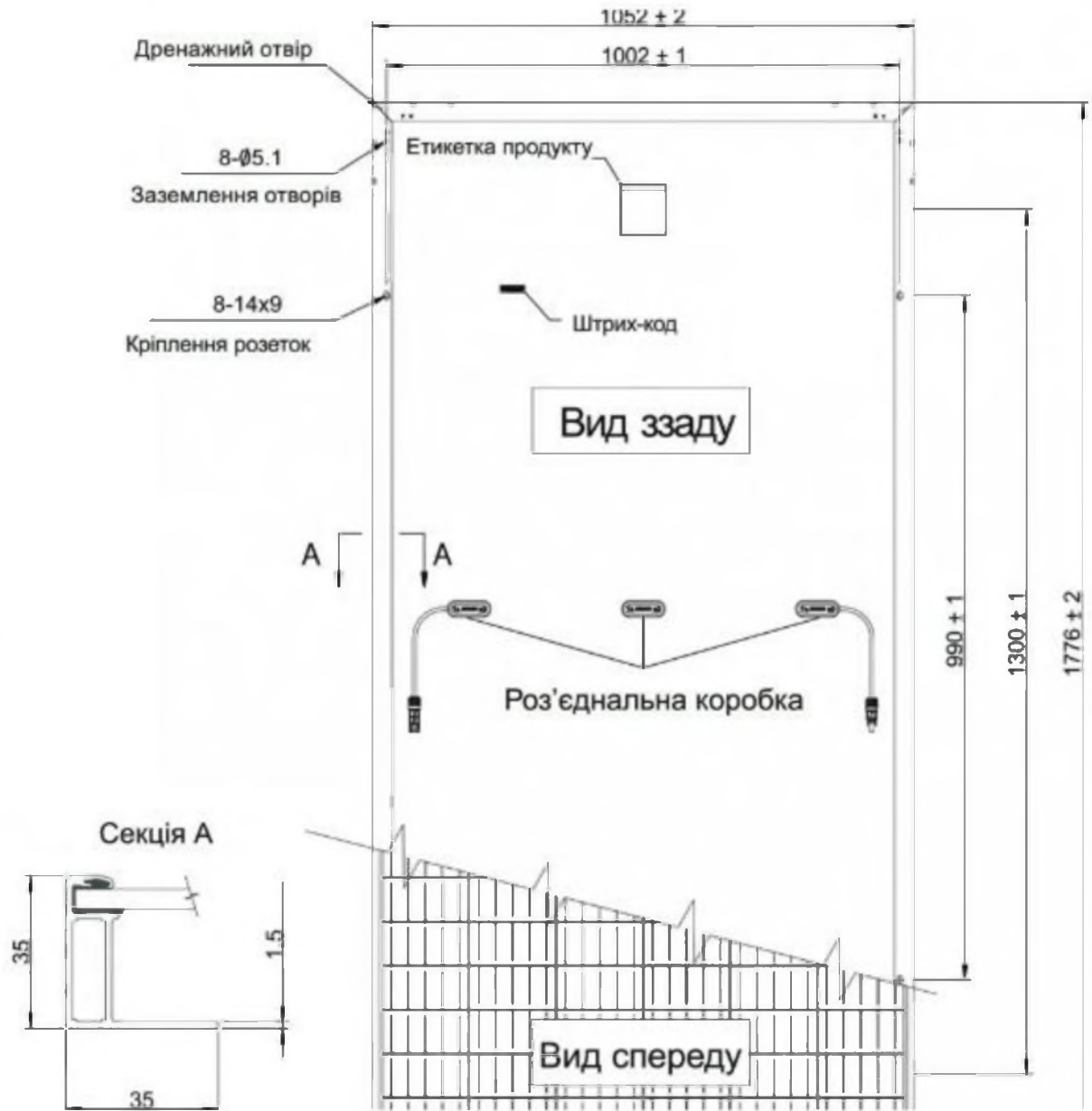


Рисунок – Зовнішній вигляд досліджуваної сонячної панелі

Додаток Г

«Передача даних для тренування ШНМ»

G_д [Вт/м²]	T_п, [C⁰]	P_{ф.е.}, [Вт]	U_{ф.е.}, [В]	I_{ф.е.}, [А]
1041	26,26	0	0	23,4396
1041	26,26	400,2786	16,9116	23,4345
1041	26,26	907,0656	33,6396	23,4294
1041	26,26	1280,457	50,3676	23,4192
1041	26,26	1730,614	67,0956	23,4039
1041	26,26	2103,281	83,8236	23,3631
1041	26,26	2431,823	117,2796	23,3274
1041	26,26	2711,935	134,0076	23,307
1041	26,26	2992,996	150,7356	19,8696
1041	26,26	0	167,484	0
983	6,26	0,000	0,000	23,141
983	6,26	395,177	16,696	23,136
983	6,26	895,505	33,211	23,131
983	6,26	1264,137	49,726	23,121
983	6,26	1708,557	66,240	23,106
983	6,26	2076,474	82,755	23,065
983	6,26	2400,829	115,785	23,030
983	6,26	2677,371	132,300	23,010
983	6,26	2954,850	148,814	19,616
983	6,26	0,000	165,349	0,000
1027	23,78	0,000	0,000	23,325
1027	23,78	398,316	16,829	23,320
1027	23,78	902,619	33,475	23,315
1027	23,78	1274,180	50,121	23,304

G_d [Вт/м ²]	T_n , [C°]	$P_{\Phi.E.}$, [Вт]	$U_{\Phi.E.}$, [В]	$I_{\Phi.E.}$, [А]
1027	23,78	1722,130	66,767	23,289
1027	23,78	2092,971	83,413	23,249
1027	23,78	2419,902	116,705	23,213
1027	23,78	2698,641	133,351	23,193
1027	23,78	2978,325	149,997	19,772
1027	23,78	0,000	166,663	0,000
1015	17,85	0,000	0,000	23,049
1015	17,85	393,607	16,630	23,044
1015	17,85	891,948	33,079	23,039
1015	17,85	1259,116	49,528	23,029
1015	17,85	1701,770	65,977	23,014
1015	17,85	2068,226	82,427	22,974
1015	17,85	2391,292	115,325	22,939
1015	17,85	2666,736	131,774	22,919
1015	17,85	2943,113	148,223	19,538
1015	17,85	0,000	164,693	0,000
1015	17,85	0,000	0,000	23,049
0	0	0	0	0
0	5	0	0	0
0	10	0	0	0
0	15	0	0	0
0	20	0	0	0
0	25	0	0	0
0	30	0	0	0
992	11,52	0,000	0,000	23,095
992	11,52	394,392	16,663	23,090
992	11,52	893,726	33,145	23,085

G_d [Вт/м ²]	T_n , [C°]	$P_{\Phi.E.}$, [Вт]	$U_{\Phi.E.}$, [В]	$I_{\Phi.E.}$, [А]
992	11,52	1261,627	49,627	23,075
992	11,52	1705,163	66,109	23,060
992	11,52	2072,350	82,591	23,020
992	11,52	2396,061	115,555	22,984
992	11,52	2672,054	132,037	22,964
992	11,52	2948,982	148,519	19,577
992	11,52	0,000	165,021	0,000
897	-4.78	0	0	23.01
897	-4.78	202.1	16.38	23.01
897	-4.78	517.37	33.47	23.005
897	-4.78	908.22	50.205	22.992
897	-4.78	1307.37	66.94	22.981
897	-4.78	1704.52	83.675	22.965
897	-4.78	2103.14	100.41	22.943
897	-4.78	2421.26	117.145	22.91
897	-4.78	2722.63	133.88	22.862
897	-4.78	3085.52	150.615	19.54
897	-4.78	0	167.35	0
1053	31.52	0	0	22.98
1053	31.52	392.43	16.58	22.975
1053	31.52	889.28	32.98	22.97
1053	31.52	1255.35	49.38	22.96
1053	31.52	1696.68	65.78	22.945
1053	31.52	2062.04	82.18	22.905
1053	31.52	2384.14	114.98	22.87
1053	31.52	2658.76	131.38	22.85
1053	31.52	2934.31	147.78	19.48

G_d [Вт/м ²]	T_n , [C°]	$P_{\Phi.E.}$, [Вт]	$U_{\Phi.E.}$, [В]	$I_{\Phi.E.}$, [А]
1053	31.52	0	164.2	0
944	1,07	0	0	23,6694
944	1,07	404,202	17,077	23,66
944	1,07	915,958	33,969	23,65
944	1,07	1293,01	50,861	23,64
944	1,07	1747,58	67,753	23,63
944	1,07	2123,90	84,646	23,59
944	1,07	2455,66	118,429	23,55
944	1,07	2738,52	135,321	23,53
944	1,07	3022,34	152,213	20,06
944	1,07	0	169,126	0

Додаток Д

«Скрипт створеної штучної нейронної мережі.»

```
% Solve an Input-Output Fitting problem with a Neural Network
% Script generated by Neural Fitting app
% Created Thu May 26 18:35:32 FET 2022
%
% This script assumes these variables are defined:
%
% Input neuro - input data.
% Output neuro - target data.

x = Input neuro';
t = Output neuro';

% Choose a Training Function
% For a list of all training functions type: help nntrain
% 'trainlm' is usually fastest.
% 'trainbr' takes longer but may be better for challenging problems.
% 'trainscg' uses less memory. NFTOOL falls back to this in low memory situations.
trainFcn = 'trainbr'; % Bayesian Regularization

% Create a Fitting Network
hiddenLayerSize = 20;
net = fitnet(hiddenLayerSize,trainFcn);

% Setup Division of Data for Training, Validation, Testing
net.divideParam.trainRatio = 60/100;
net.divideParam.valRatio = 15/100;
net.divideParam.testRatio = 25/100;

% Train the Network
[net,tr] = train(net,x,t);

% Test the Network
y = net(x);
e = gsubtract(t,y);
performance = perform(net,t,y)

% View the Network
view(net)
```

```
% Plots
% Uncomment these lines to enable various plots.
%figure, plotperform(tr)
%figure, plottrainstate(tr)
%figure, plotfit(net,x,t)
%figure, plotregression(t,y)
%figure, ploterrhist(e)
```