

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Класичний фаховий коледж

(повна назва інституту/факультету)

Циклова комісія «Бакалаврат інженерних спеціальностей»

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Мілена САЙФУЛЛІНА

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

17 травня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(бакалавр / магістр)

зі спеціальності 171 Електроніка ,

(код та назва)

освітньо-професійної програми 171.00.09 Електронні інформаційні системи

(освітньо-професійної / освітньо-науко

(назва програми)

на тему: Вимірювання сонячної радіації на фотоелектричних станціях

Здобувачи групи ЕІз-01к Сайфулліної Мілени Радіківни

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Мілена САЙФУЛЛІНА

(підпис)

(Ім'я та ПРІЗВИЩЕ здобувача)

Керівник викладач, к.ф.м.н. Тетяна ГРИЧАНОВСЬКА

(посада, науковий ступінь, вчене звання, Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Консультант¹⁾ _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання Ім'я та ПРІЗВИЩЕ) (підпис)

Конотоп – 2024

АНОТАЦІЯ

Впровадження відновлюваної енергетики дозволить вирішити проблеми енергоефективності та енергозбереження сучасного суспільного розвитку. Проектуючи фотоелектричні станції, необхідно враховувати змінний режим надходження енергії, який залежить від погодних умов. Тому постійно є потреба у вдосконаленні методів вимірювання сонячної радіації для підвищення ефективності фотоелектричних станцій.

Мета дослідження полягає у всебічному і достовірному вивченні способів визначення і вимірювання сонячної радіації та будови і характеристик відповідних вимірювальних приладів.

Відповідно до мети, вирішувалися такі задачі:

- з'ясувати ступінь важливості вимірів сонячної радіації для успішного і безперебійного функціонування фотоелектричних станцій та класифікувати існуючі способи вимірювання;
- вивчити сучасні прилади для наземного вимірювання сонячної радіації, принцип їх дії і встановити які з них найкраще підходять в залежності від умов вимірювання;
- з'ясувати чи розробляються альтернативні до традиційних прилади вимірювання сонячної радіації в наземних умовах і чи придатні для цього датчики освітленості;
- розглянути фактори які впливають на якість вимірів і запропонувати власні пропозиції по вдосконаленню як приладів так і способів вимірювання сонячної радіації на фотоелектричних станціях.

При виконанні роботи використовувалися наукові методи аналізу і синтезу теоретичного матеріалу.

У результаті проведених досліджень встановлено, що системи моніторингу сонячних електростанцій та системне визначення рівня сонячної радіації сучасними приладами сприяє підвищенню ефективності та надійності електростанції. може дати використання датчиків освітленості.

Об'єктом дослідження кваліфікаційної роботи є способи і прилади вимірювання сонячної радіації на фотоелектричних станціях.

Предметом досліджень є напрямки зниження вартості і підвищення швидкодії при вимірюванні сонячної радіації.

Робота може бути корисною при проектуванні і експлуатації сонячних панелей і окремих сонячних станцій.

Робота викладена на 35 сторінках, у тому числі включає 15 рисунків, 7 таблиць, список цитованої літератури із 25 джерел.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ВИМІРЮВАННЯ, ЕНЕРГОЕФЕКТИВНІСТЬ, СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ

ЗМІСТ

ВСТУП	C.
РОЗДІЛ 1 МОНІТОРІНГ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ	5
1.1. Сонячна радіація.....	6
1.2. Система моніторингу.....	6
РОЗДІЛ 2 ПРИЛАДИ І ПРИСТРОЇ	9
2.1 Піргеліометри.....	17
2.2 Піранометри.....	17
2.3 Піррадіометри.....	19
РОЗДІЛ 3 ДАТЧИКИ ОСВІТЛЕННОСТІ	20
3.1 Типи датчиків і їх характеристики.....	26
3.2 Датчик як індикатор сонячної радіації.....	26
ВИСНОВКИ	29
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	32
	33

ВСТУП

Сонячна радіація є одним із найважливіших факторів, що визначають стан і розвиток «зеленої» енергетики. Наукова думка почала активно розвиватися з моменту збільшення інтересу до використання сонячної енергії. Початкові роботи в цій області були спрямовані на створення базових моделей сонячних електростанцій та їх моніторингових систем. Основними завданнями були виявлення потенційних проблем, аналіз ефективності та прогнозування виробництва енергії [1-5].

У подальшому розвитку наукової думки було вдосконалено теоретичні моделі функціонування сонячних електростанцій. Було розроблено складніші математичні алгоритми для аналізу отриманих даних, враховуючи різноманітні фактори, що впливають на роботу станцій [6,7].

За останні десятиліття було проведено численні експериментальні дослідження на реальних сонячних електростанціях з метою перевірки теоретичних моделей та методів моніторингу. Результати цих досліджень дозволили підтвердити ефективність розроблених систем моніторингу та внести корективи у вже існуючі методи [8-10].

На сьогоднішній день спостерігається зростання зацікавленості у використанні штучного інтелекту та машинного навчання для оптимізації систем моніторингу сонячних електростанцій. Прогрес у цих технологіях відкриває нові можливості для автоматизації та підвищення ефективності моніторингових процесів.

Загальний аналіз цих етапів розвитку наукової думки про моніторинг сонячних електростанцій свідчить про постійний прогрес у цій області, спрямований на підвищення ефективності та надійності сонячної енергетики.

Отже, метою роботи стало всебічне і достовірне вивчення способів визначення і вимірювання сонячної радіації та будови і характеристик відповідних вимірювальних приладів.

РОЗДІЛ 1

МОНІТОРІНГ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

1.1. Сонячна радіація

Сонячна радіація - це електромагнітне випромінювання, що походить від Сонця і досягає поверхні Землі. Для забезпечення оптимального варіанту при проектуванні енергоефективних сонячних електростанцій, необхідно точно і системно вимірювати рівень сонячного опромінення на конкретній ділянці. Паралельно потрібно також вимірювати вироблену електричну енергію, щоб розуміти наскільки високий вихід енергії забезпечує сонячна станція. Для отримання відповідної інформації про опромінення, можна використовувати глобальні мережі моніторингу сонячної радіації або ж застосовувати спеціальні вимірювальні прилади.

Сонячне випромінювання на поверхні Землі поєднує в собі два варіанти:

- пряме нормальне опромінення (DNI);
- дифузне горизонтальне опромінення (DHI).

Глобальне горизонтальне опромінення (GHI) визначають як суму за формулою:

$$GHI = DHI + DNI \cdot \cos \theta, \quad (1.1)$$

де θ – зенітний кут Сонця.

Наприклад, якщо у сонячний день, інсоляцію, тобто глобальне горизонтальне опромінення (GHI) прийняти за 100%, то 20% в ньому становитиме дифузне горизонтальне опромінення (DHI) і 80% пряме нормальне опромінення (DNI) помножене на $\cos \theta$.

Розглянемо, яким чином можна виміряти різні типи опромінення. Зрозуміло, що для різних типів опромінення потрібні відповідні вимірювальні прилади. Кожен з названих вище типів опромінення, можна зобразити схематично на рисунку 1.1. На схемах зображено джерело світла (1), потік випромінювання (2), атмосфера

Землі (3), центри розсіювання випромінювання у атмосфері (4), опромінювана поверхня (5) і рівень поверхні Землі (6).

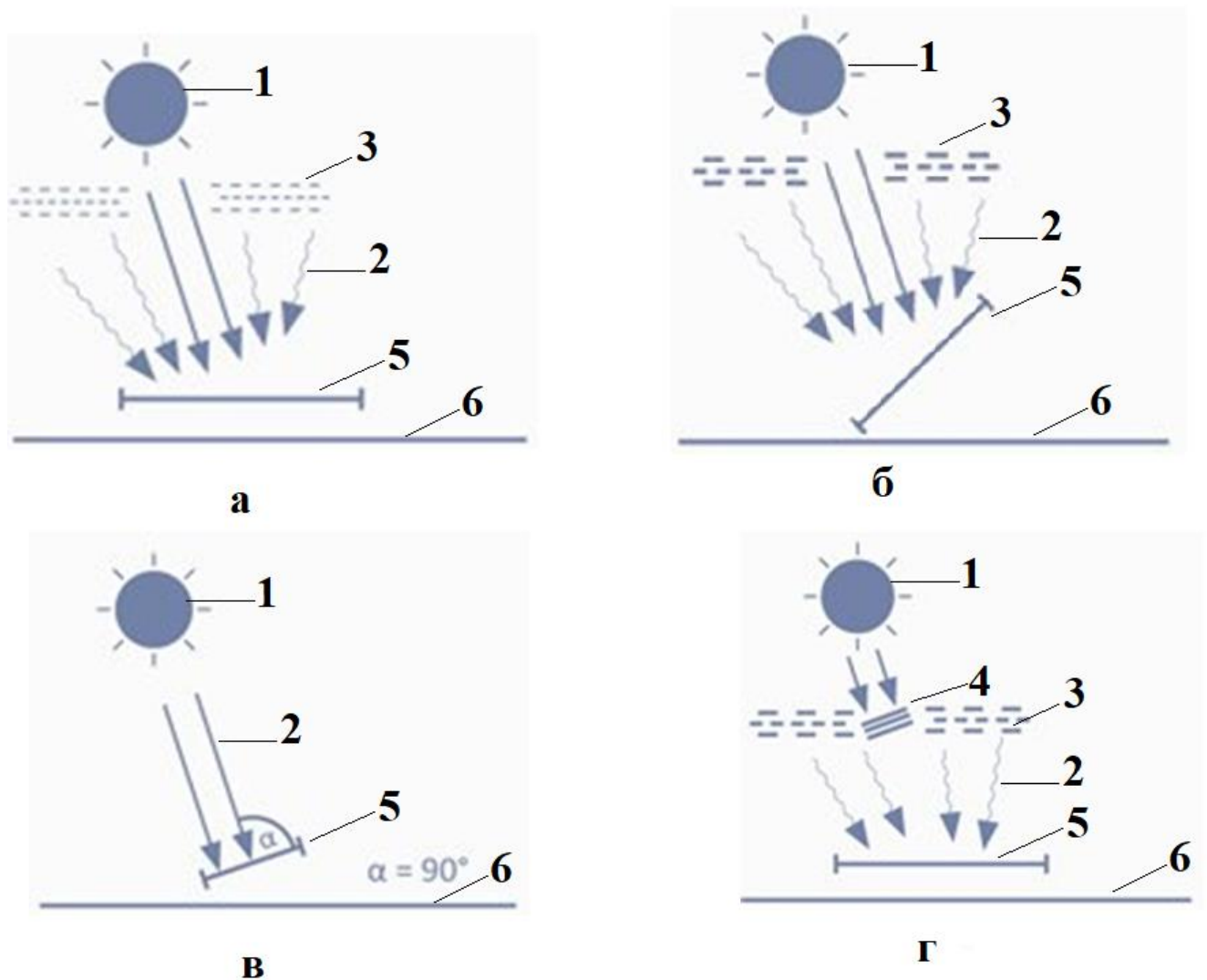


Рис.1.1. Схематичне зображення різних типів опромінення: а – глобальне горизонтальне (GHI); б – глобальне нахилене (GTI); в – пряме нормальне (DNI); г – дифузне горизонтальне (DHI)

Глобальне горизонтальне опромінення (GHI) це загальна кількість випромінювання, отриманого зверху горизонтальною поверхнею (рис. 1.1., а). Це значення включає як пряме нормальне опромінення (DNI), так і дифузне горизонтальне опромінення (DHI). Його вимірювання застосовується на стаціонарних фотоелектричних установках і дублюється порівнянням з базами сонячних даних для оціночних розрахунків MCP (Measure Correlate Predict).

Вимірювальний прилад, які застосовують: піранометр (горизонтальний), еталонна комірка.

Глобальне нахилене опромінення (GTI) це загальна кількість прямого та розсіяного випромінювання, отриманого зверху нахиленою поверхнею. GTI — це приблизне значення для розрахунку виходу енергії стаціонарно встановлених нахилених фотоелектричних панелей (рис. 1.1., б). Також, вимірювання застосовується на стаціонарних фотоелектричних установках. Основні вимірювальні прилади, які застосовують: піранометр нахилений під тим же кутом, що й опромінювана поверхня (сонячний модуль), еталонна комірка.

Пряме нормальне опромінення (DNI) це кількість сонячного випромінювання, отриманого на одиницю площі поверхнею, яка завжди утримується перпендикулярно (або нормально) до променів (рис. 1.1., в), які йдуть по прямій лінії від напрямку сонця в його поточному положенні на небі. Його вимірювання застосовується на стаціонарних фотоелектричних установках для визначення показника повної сонячної потужності (CSP) і потужності використаної фотоелектричною установкою (CPV). Вимірювальні прилади, які застосовуються це піргеліометр встановлений на сонцетрекері, обертовий тінювий іррадіометр.

Дифузне горизонтальне опромінення (DHI) це кількість випромінювання, отриманого на одиницю площі поверхнею (не підданою будь-якій тіні), яка не надходить прямо від сонця, але була розсіяна молекулами та частинками в атмосфері та надходить однаково з усіх боків (рис.1.1., г). Застосовується на стаціонарних фотоелектричних установках для обчислення надмірності $GHI = DHI + DNI \cdot \cos\theta$. Вимірювальний прилад, які використовуються це піранометр із тінювою кулею або тінювим кільцем, встановлений у сонцетрекері та обертовий тінювий іррадіометр.

Одним із поширених способів дізнатися дані про розглянуті вище типи опромінення, або порівняти власні результати вимірювань, це скористатися наступними джерелами:

1. Сонячна База Даних PVGIS

Європейський Союз представив PVGIS (фотоелектрична геоінформаційна система) як частину діяльності SOLAREC щодо впровадження відновлюваної

енергії в ЄС як довгострокового джерела енергії. Система забезпечує інвентаризацію ресурсів сонячної енергії на основі карти та оцінку виробництва електроенергії фотоелектричними електростанціями.

2. Глобальний Атлас Сонця.

Глобальний сонячний атлас – це онлайн-платформа, яка надає дані сонячних вимірювань у низці країн для аналізу виходу енергії.

3. ISO 9060 Сонячна Енергія.

– Специфікація та класифікація приладів для вимірювання півкульової сонячної та прямої сонячної радіації

4. Характеристики Фотоелектричної Системи IEC 61724-1:2017.

– Керівництво з вимірювання, обміну даними та аналізу

5. NREL це посібник із практики збору та використання даних про сонячні ресурси для використання сонячної енергії.

Посібник NREL є вичерпним звітом, який узагальнює важливу інформацію для всіх етапів проекту сонячної енергії - від необхідних вимірювань і проектування вимірювальних станцій до прогнозування потенційної сонячної радіації. Крім того, NREL інформує про вимірювальні прилади та їх застосування, а також джерела даних сонячних вимірювань.

1.2 Система моніторингу

Система моніторингу сонячної електростанції є важливим елементом для забезпечення ефективності та надійності її роботи. Незалежно від розміру станції, вона повинна бути обладнана комплексом засобів моніторингу, які надають інформацію про роботу системи та середовища навколо неї. Основні компоненти системи моніторингу включають:

Вимірювальні прилади: Це включає датчики для вимірювання сонячної радіації, температури, вологості, напруги та струму в системі.

Дисплей та зберігання даних: Інформація, зібрана від вимірювальних приладів, відображається на моніторі та зберігається для подальшого аналізу.

Моніторинг та управління: Система моніторингу має можливість надсилати повідомлення про будь-які відхилення в роботі електростанції та дозволяє віддалено управляти параметрами системи.

Аналіз та звітність: Зібрана інформація може бути досліджена для виявлення регулярних змін та характерних особливостей у запитах клієнтів.

Автоматизація та оптимізація: Сучасні системи моніторингу можуть використовувати алгоритми штучного інтелекту для прогнозування роботи системи, оптимізації виробництва енергії та запобігання виникненню проблем.

Система моніторингу сонячної електростанції допомагає забезпечити постійний контроль за її роботою, знижує витрати на обслуговування та ремонт, а також сприяє підвищенню ефективності та надійності електростанції.

Розглянемо приклади системи моніторингу сонячної радіації такі як Solar System, ALTEK МОНИТОРИНГ та Solar Garden. Вони є різними платформами та комплексами технологій, які призначені для вимірювання, збору даних та аналізу характеристик сонячної радіації для оптимізації роботи сонячних електростанцій. Ось їх відмінності:

1. Системи моніторингу сонячної радіації на основі Solar System [1]

- Забезпечують моніторинг виробництва електроенергії.
- Надають інформацію про ефективність роботи сонячних панелей та систем енергозабезпечення.
- Дозволяють виявляти і вирішувати проблеми та несправності в роботі електростанцій для підвищення їхньої ефективності.
- Можуть включати в себе різноманітні функції моніторингу та аналізу даних, такі як відстеження виробництва, аналіз показників роботи та генерації електроенергії.
- Системи моніторингу Internet of Things (IoT) для сонячних електростанцій можуть включати в себе бездротові датчики та контролери, які надсилають дані на хмарні платформи для подальшого аналізу та відображення. Вони дозволяють віддалено відстежувати та керувати сонячними електростанціями через Інтернет. Ця система призначена для оптимізації роботи сонячних електростанцій та забезпечення їхньої надійної та ефективної роботи.

2. ALTEK МОНІТОРИНГ [2]

Системи моніторингу ALTEK призначені для нагляду за сонячними електростанціями і включають в себе:

- Спеціалізовані датчики для вимірювання різних параметрів сонячної радіації та функціонування електростанцій.
- Контролери та обладнання для збору, аналізу та передачі даних.
- Програмне забезпечення для візуалізації та аналізу даних, а також для віддаленого керування електростанціями.
- Можливості інтеграції з іншими системами управління та моніторингу.

Ці системи допомагають оптимізувати роботу сонячних електростанцій, підвищувати їхню ефективність та надійність.

3. Solar Garden [3]

Система моніторингу сонячної електростанції від Solar Garden пропонує:

- Датчики для вимірювання різних параметрів продуктивності та роботи сонячної електростанції.
- Контролери та обладнання для збору та аналізу даних про виробництво електроенергії.
- Програмне забезпечення для відображення та аналізу зібраних даних.
- Можливості віддаленого керування та моніторингу роботи електростанції через Інтернет.

Ця система допомагає власникам сонячних електростанцій контролювати їхню продуктивність та ефективність, а також виявляти та вирішувати можливі проблеми з функціонуванням.

Відмінність між ними полягає в технологічних рішеннях, специфічних функціях, підходах до розробки та впровадження систем моніторингу. При виборі важливо враховувати потреби та вимоги вашого проекту, а також доступні можливості та бюджет.

Для того щоб розглянути потенціал сонячної енергії скористаємось сервісом Global Solar Atlas - це онлайн-інструмент, розроблений Міжнародним агентством з відновлювальних джерел енергії (IRENA) та Всесвітнього банку інформації. Цей інтерактивний атлас надає інформацію про потенціал сонячної енергії у будь-якій точці світу.[4]

Основні можливості Global Solar Atlas включають:

1. Мапа сонячного потенціалу: Користувачі можуть візуалізувати потенціал сонячної енергії в будь-якій області світу, враховуючи різні фактори, такі як кліматичні умови та географічне розташування (рис.1.2).

2. Інтерактивні інструменти: Атлас надає можливості для детального аналізу сонячного потенціалу, включаючи швидкий доступ до даних про сонячне випромінювання, нахил даху та інші фактори.

3. Зручний інтерфейс: Інтерфейс Global Solar Atlas є зрозумілим та легким у використанні, що дозволяє користувачам швидко знаходити потрібну інформацію.

Загалом, Global Solar Atlas є корисним інструментом для тих, хто цікавиться розгляданням потенціалу сонячної енергії у будь-якій частині світу.

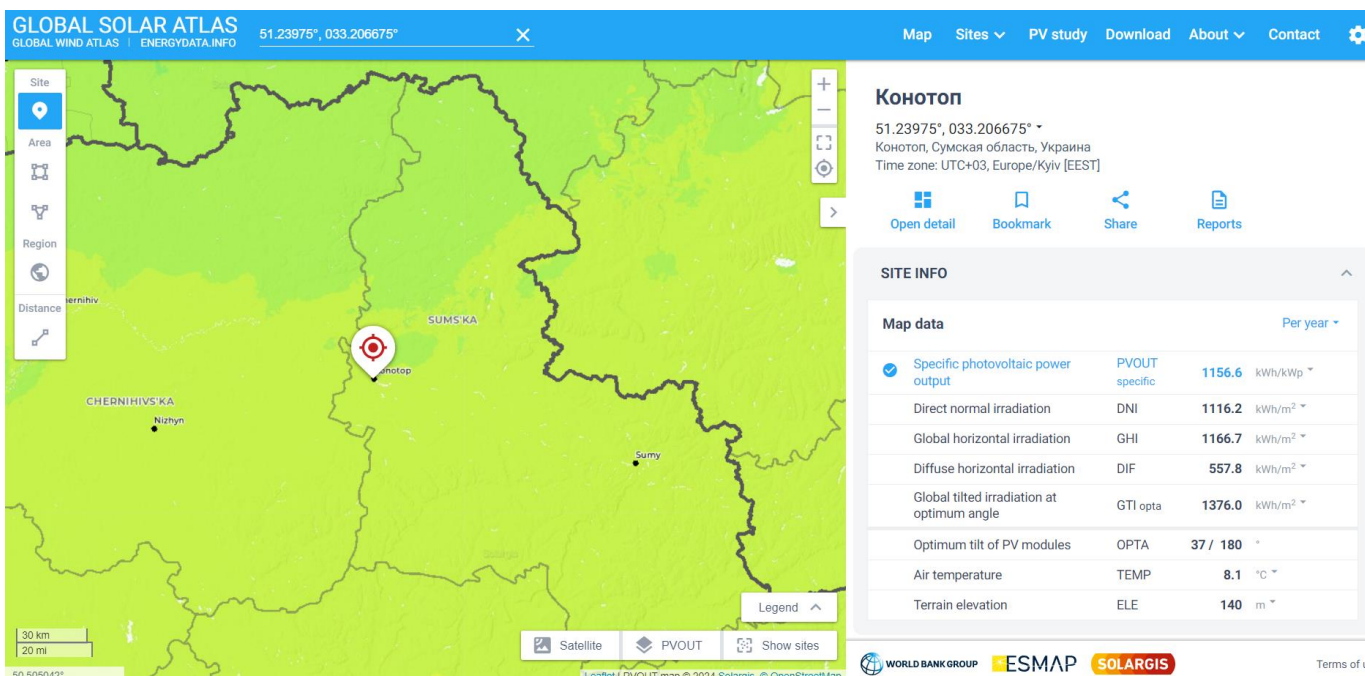


Рис.1.2. Інтерфейс веб-сайту Global Solar Atlas

Для прикладу, мною було обрано місто Конотоп в Сумській області України і отримано дані сонячної радіації на його широті (таблиця 1.1). Інформація з сайту Global Solar Atlas дозволяє отримати дані всіх типів опромінення за рік: глобальне горизонтальне (GHI), глобальне нахилене (GTI), пряме нормальне (DNI), дифузне горизонтальне (DHI) та інші параметри.

Також, на сайті дається інформація про положення лінії горизонту на протязі року і рух Сонця на небосхилі (рис. 1.3.). Потужність, вироблена на одиницю площі встановленої фотоелектричної потужності в довгостроковій перспективі представлена на рисунку 1.4.

Таблиця 1.1

Інсоляція для міста Конотоп на рік за даними Global Solar Atlas

Map data		Per year ▾	
Specific photovoltaic power output	PVOUT specific	1156.6	kWh/kWp ▾
Direct normal irradiation	DNI	1116.2	kWh/m ² ▾
Global horizontal irradiation	GHI	1166.7	kWh/m ² ▾
Diffuse horizontal irradiation	DIF	557.8	kWh/m ² ▾
Global tilted irradiation at optimum angle	GTI opta	1376.0	kWh/m ² ▾
Optimum tilt of PV modules	OPTA	37 / 180	°
Air temperature	TEMP	8.1	°C ▾
Terrain elevation	ELE	140	m ▾

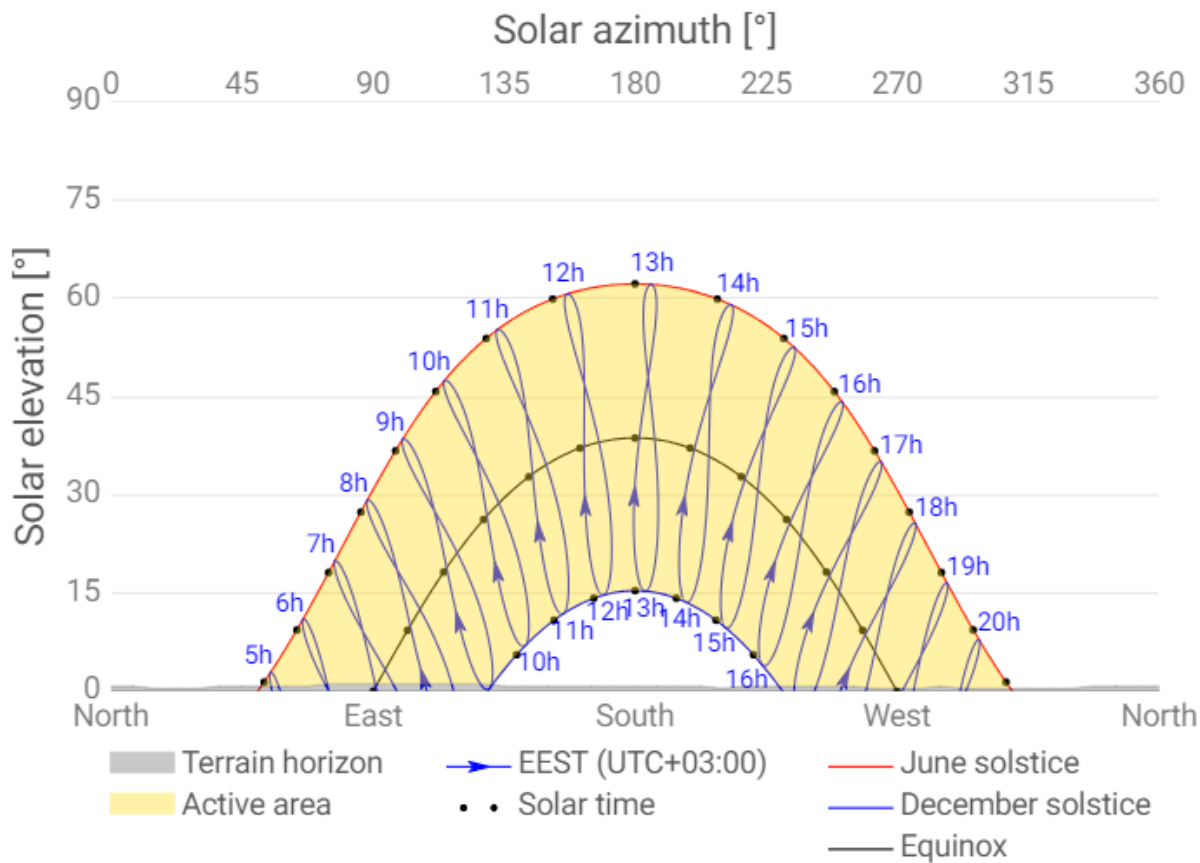


Рис. 1.3. Горизонт і сонячна стежка

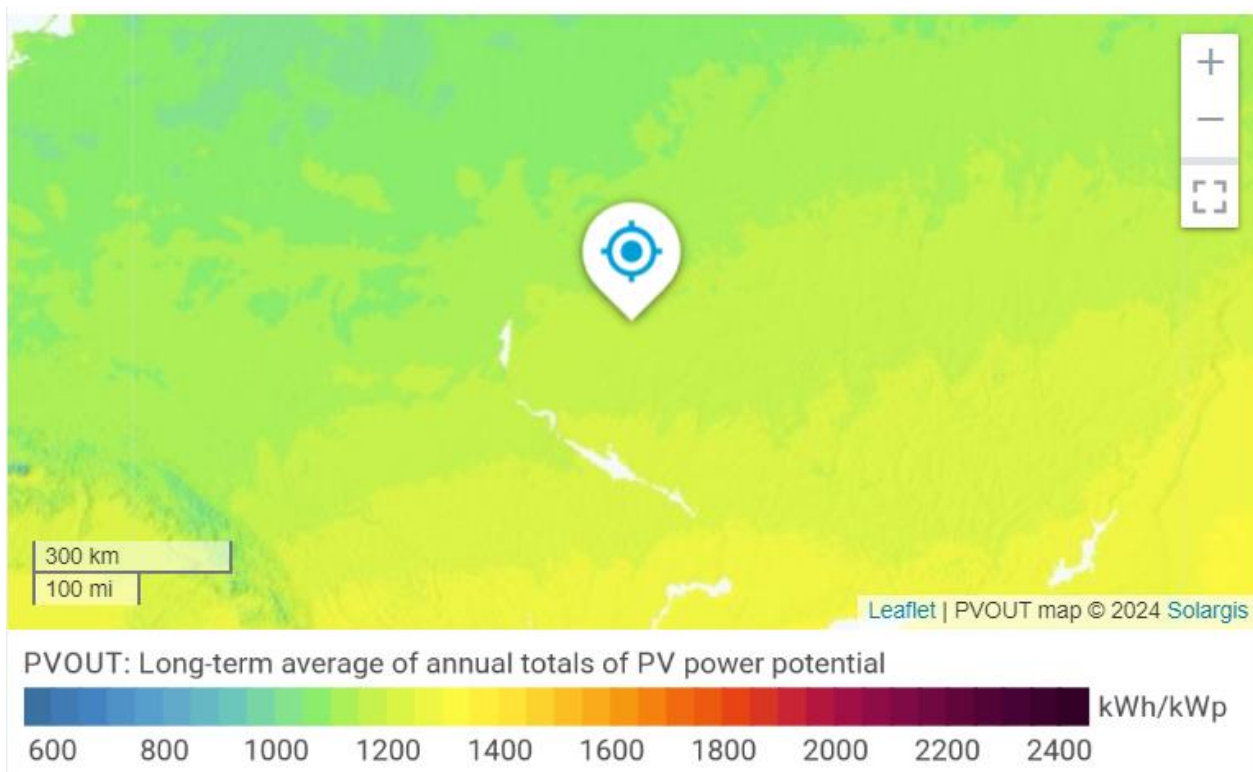


Рис. 1.4. Потужність, вироблена на одиницю встановленої фотоелектричної потужності в довгостроковій перспективі

Також розглянемо ще один онлайн-інструмент PVGIS (PHOTOVOLTAIC GEOGRAPHICAL INFORMATION SYSTEM), схожий з Global Solar Atlas, Це інтерактивний сервіс фотоенергетичних розрахунків, розроблений Європейським центром спільних досліджень (JRC). Він дозволяє користувачам отримати детальні прогнози щодо сонячного потенціалу для будь-якої області світу [5].

Основні функції та можливості PVGIS включають:

1. Вибір місця розташування: Користувач може вибрати місце, для якого потрібно зробити розрахунки, використовуючи інтерактивну мапу або введення координат (рис. 1.5).

2. Встановлення параметрів системи: Користувач може встановити параметри системи фотоенергетики, такі як тип модулів, кут нахилу та орієнтація панелей тощо.

3. Розрахунок сонячного потенціалу: Після встановлення параметрів системи користувач може отримати розрахунки щодо очікуваного виробництва електроенергії з сонячної енергії в даному місці.

4. Додаткові інструменти та сервіси: PVGIS може надавати додаткові сервіси та інструменти для аналізу та візуалізації даних, такі як графіки виробництва електроенергії на різних часових проміжках тощо.

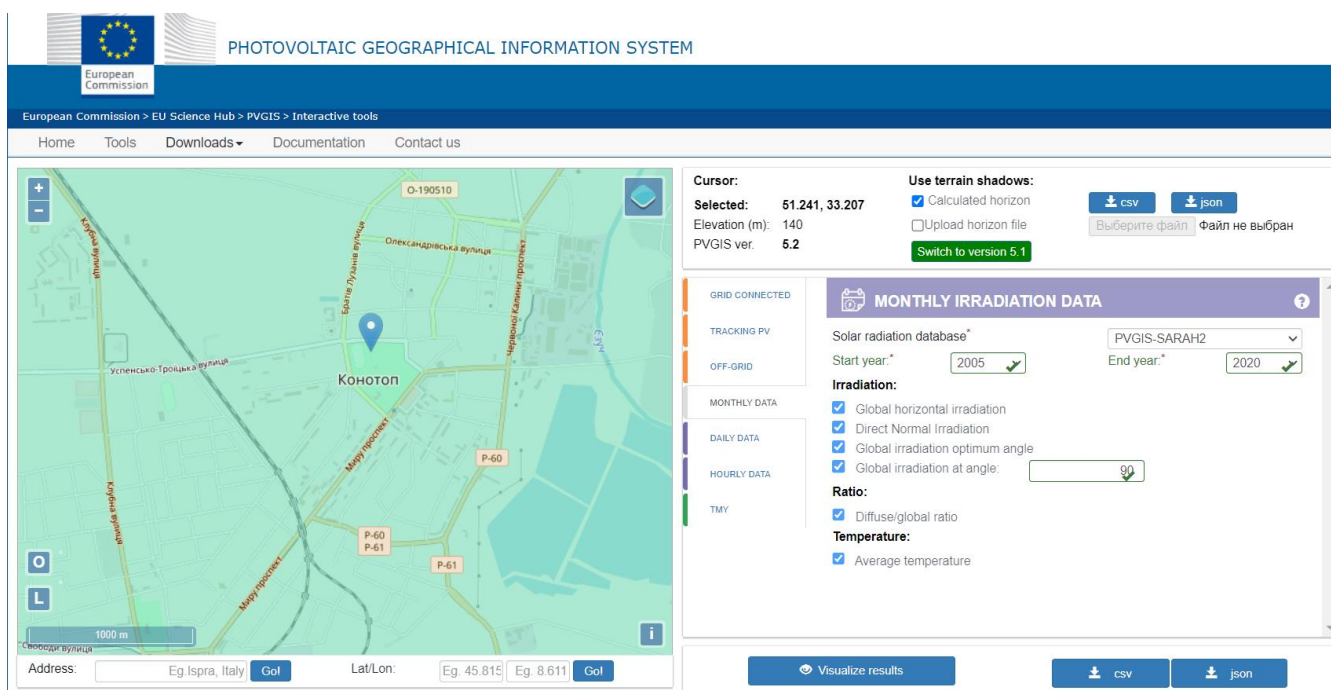


Рис. 1.5. Інтерфейс веб-сайту PVGIS

Використовуючи цей інструмент, користувачі можуть отримати важливі дані та прогнози щодо сонячного потенціалу для конкретних місць, що допомагає їм приймати обґрунтовані рішення щодо використання сонячної енергії. Так, для міста Конотоп у Сумській області України можна отримати підсумкове резюме по за декілька років (рис.1.6). При потребі, можна скористатися інформацією на протязі заданого інтервалу часу. Наприклад, на рисунку 1.7 наведено місячні оцінки сонячної радіації та контур горизонту.

Provided inputs:	
Location [Lat/Lon]:	51.241,33.207
Horizon:	Calculated
Database used:	PVGIS-SARAH2
Start year:	2005
End year:	2020

Рис. 1.6. Резюме по місту Конотоп

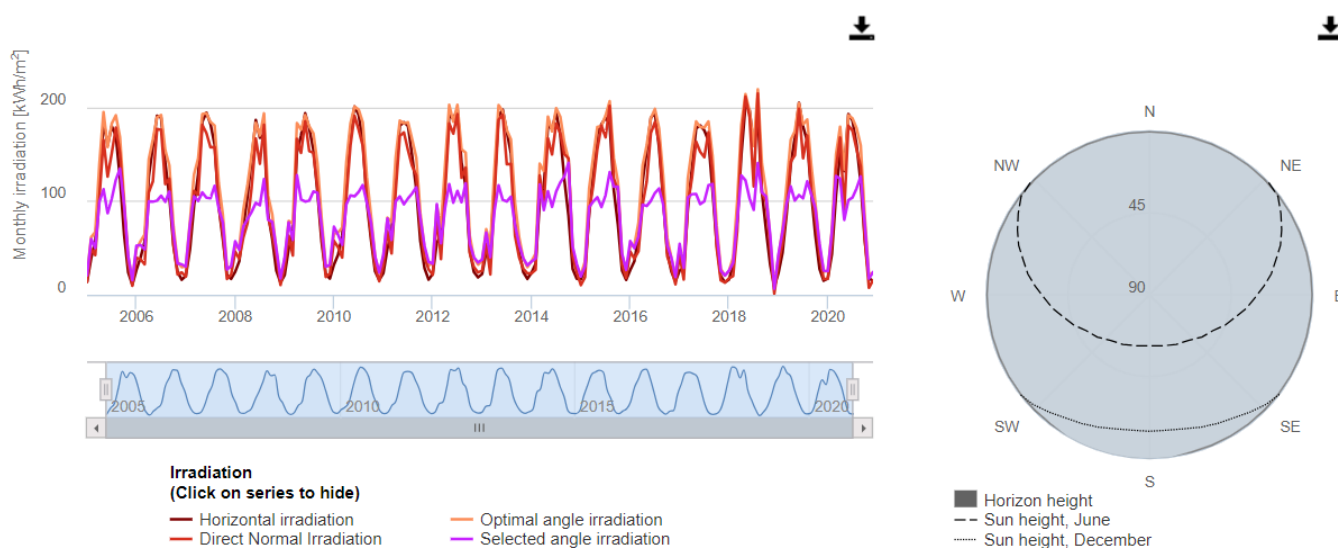


Рис. 1.7. Місячні оцінки сонячної радіації та контур горизонту

Отже, знання сонячної радіації є основним аспектом успішного і енергоефективного функціонування сонячної станції.

РОЗДІЛ II

ПРИЛАДИ І ПРИСТРОЇ

Піргеліометри, піранометри та піррадіометри є приладами, які використовуються для вимірювання різних аспектів сонячної радіації. Кожен з цих приладів має свої унікальні характеристики та застосування.

2.1 Піргеліометри

Розглянемо характеристики піргеліометра. Ці прилади призначені для вимірювання сонячного випромінювання, яке падає на земну поверхню. Вони здатні вимірювати інтенсивність сонячного випромінювання під різними кутами та у різний час доби. Піргеліометри є важливим інструментом для вивчення кліматичних процесів та оцінки потенціалу сонячної енергії. Найпоширеніші моделі представлені на рисунку 2.1. Розглянемо деякі з існуючих аналогів та їх переваги представлені в таблиці 2.1.



Рис. 2.1. Зовнішній вигляд пергеліометрів моделі SH1 (а) і моделі CE183 (б)

Таблиця 2.1.

Характеристики піргеліометрів

Модель СН1	Модель СЕ183
Відмінні ознаки:	
<p>висока чутливість (7 мкВт / м²); великий кут відкривання (5 °); широкий спектральний діапазон (200 ... 4000 нм); малий час відгуку (<1 с); мала помилка лінеаризації (0.1 °); температурна компенсація датчика.</p>	<p>висока чутливість (20 мкВт / м²); великий кут відкривання (3 °); широкий спектральний діапазон (200 ... 4000 нм); малий час відгуку (<1 с); мала помилка лінеаризації; температурна компенсація датчика.</p>
Основні особливості піргеліометра	
<p>– прилад для вимірювання прямої сонячної радіації; точність вимірювання ± 10%; інтерфейс RS232; можливість підключення до дата-логгер; простота в застосуванні; не вимагає трудомісткого обслуговування. Ціна 2638,13 €</p>	<p>– прилад для вимірювання прямої сонячної радіації; точність вимірювання ± 10%; включає систему стеження; інтерфейс RS232; можливість підключення до дата-логгер; не вимагає трудомісткого обслуговування. Ціна 11453,23 €</p>

2.2 Піранометри

Піранометри: Ці прилади використовуються для вимірювання сумарної сонячної радіації, яка падає на горизонтальну поверхню. Вони вимірюють інтегровану сонячну радіацію без урахування напрямку променів. Піранометри допомагають в оцінці потенціалу сонячної енергії та в розробці сонячних енергетичних систем. Одним із таких пристроїв є піранометр SMP11 від Lufft – він призначений для вимірювання сонячного випромінювання, який широко використовується в дослідженнях клімату, атмосферних науках та сонячній енергетиці. Ось деякі технічні характеристики цього піранометра які представлені на сайті який пропонує приладі показані в таблиці 2.2 [6].

Таблиця 2.2

Характеристики піранометра моделі SMP11

Спектральний діапазон (50% балів)	Від 285 до 2800 нм
Час відгуку (63%)	<0,7 с
Час відгуку (95%)	<2 с
Зміщення нуля А	<7 Вт/м ²
Зміщення нуля В	<2 Вт/м ²
Спрямований відгук (до 80° з пучком 1000 Вт/м ²)	<10 Вт/м ²
Температурна залежність чутливості (від -20 оС до +50 оС)	<1%
Аналоговий вихід (версія — V)	Від 0 до 1 В
Аналоговий вихід (А версія)	От 4 до 20 мА
Цифровий вихід	2-дротовий RS-485

Цей піранометр зазвичай використовується разом з метеостанціями, датчиками клімату та сонячними енергетичними системами для забезпечення точних вимірювань сонячного випромінювання. Також в інтернеті доступна додаткова інструкція і інформація стосовно цього приладу.

Ще одним представником піранометра є кишеньковий вимірювач сонячного світла Extech SP505 - це портативний прилад, призначений для вимірювання інтенсивності сонячного випромінювання. Ось деякі технічні характеристики цього приладу, показані на таблиці 2.3[7]:

Таблиця 2.3

Характеристики піранометра моделі SP505

Параметр	Значення	Максимальна роздільна здатність	Базова точність
Діапазони вимірювання	3999 Вт / м ²	1 Вт / м ²	± 10 Вт / м ²
	634 BTU / (фут. * Год.)	1 BTU / (фут ² * год)	± 3 BTU (ft ² * h) або ± 5% залежно від того, що більше
Спектральна реакція	400 нм до 1100 нм		
Розміри	4,3 x 1,9 x 1 "(108 x 48 x 23 мм)		
Вага	2,8 унції (80 г)		

Цей вимірювач може бути корисним для досліджень у сферах фотовольтаїки, метеорології, а також для моніторингу сонячного потенціалу у різних місцях та умовах.

2.3 Піррадiометри

Пірадiометри: Ці прилади використовуються для вимірювання сонячної радіації у великому діапазоні довжин хвиль, включаючи інфрачервоне випромінювання. Вони дозволяють виміряти теплове випромінювання, яке є важливим для різних застосувань, таких як атмосферна наука, кліматологія та дослідження енергетичних систем. Для порівняння характеристик візьмемо модель 240-8111 Pyrradiometer [8]:



Рис. 2.2. Модель піррадіометра 240-8111

Модель піррадіометра 240-8111 є загальною напівсферичним радіометром, який використовується для точного визначення сумарної радіації в короткохвильовому та довгохвильовому випромінюванні (від 0,3 до >30 мкм) з двома окремо працюючими приймачами і з вбудованим опором Pt-100 термометром для визначення еталонної температури. Технічні характеристики наступні:

Внутрішній датчик температури: платиновий датчик опору 100 Ом

Спектральна чутливість: від 0,3 до >30 мкм

Відповідь по азимуту: < 5% від значення

Косинусна характеристика: < 5% від значення, зенітний кут від 0° до 80°

Час відгуку: < 25 с (95%), < 45 с (99%)

Діапазон вимірювання: 0-1500 Вт/м²

Роздільна здатність: < 1 Вт/м²

Стабільність: < 3% на рік (тимчасове функціонування)

Температурний вплив: < 2% значення від -20°C до +40°C

Лінійність: < 2% у діапазоні 0,5-1330 Вт/м²

Імпеданс: близько 190 Ом/приймальна пластина

Потужність: близько 15 мкВ/Вт/м²

Температура навколишнього середовища: від -40°C до +60°C

Лобове скло: купол з люполена, діаметр 2,4" (62 мм).

Вирівнювання: рівні яблучного ока на кожній грані

Розмір: 14" Д x 4" Ш x 3,5" В (355 x 100 x 90 мм)

Вага/транспортування: 4 фунти/7 фунтів (1,8 кг/3,2 кг)

Кабель: 4 полярні екрановані, довжина 5 м

Ще одним представником піррадіометра є VDI 3786 Part 5 Radiation Measurement.

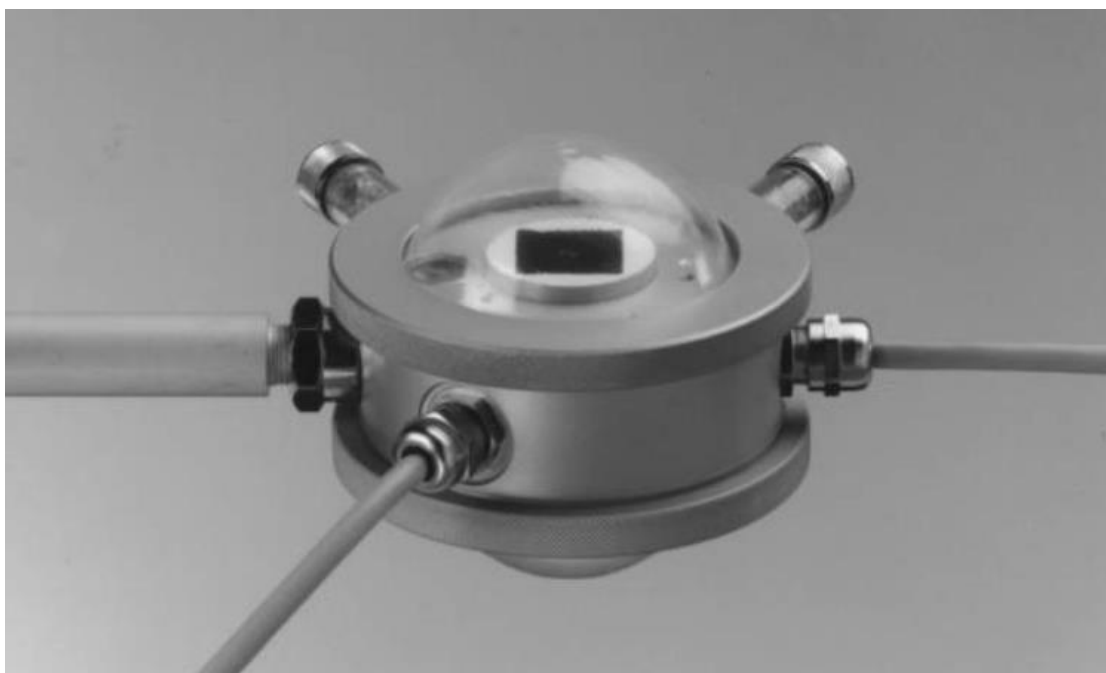


Рис. 2.3. Піррадіометр VDI 3786

Пристрій складається з цілісного корпусу для вимірювань, виготовленого з легкого металу, який має два сушильних контейнери і напівзахват. Дві поверхні приймача розташовані на верхній і нижній сторонах корпусу. Кожна з цих поверхонь приймача має зачорнення і покрита люпольним куполом, що ущільнені гвинтовим і ущільнювальним кільцями. Для горизонтального вирівнювання використовуються дві банки. Важка версія фітінгу надає піррадіометру велику теплову інерцію. Технічні характеристики пристрою подані в таблиці 2.4. Кожен піррадіометр оснащений електричним термометром опору Pt100 для вимірювання температури блоку. Ця температура є еталонною для вимірювання струмів випромінювання з верхнього та нижнього півпросторів. Оскільки ці струми випромінювання вимірюються термоелектрично, тобто на основі вимірювання різниці температур, для неактивних паяних з'єднань повинна бути відома контрольна температура, тобто температура блоку. Вона може відрізнитися від температури навколишнього середовища. Якщо необхідно вимірювати лише радіаційний баланс, визначення температури блоку можна не проводити.

Таблиця 2.4

Характеристики піранометра моделі VDI 3786 Part 5

Sensor Type:	Pyrradiometer
Norm:	VDI 3786 Part 5 Radiation Measurement
Norm - WMO:	WMO-No,8 7th Edition Part I Chapter 7 Measurement of radiation
Manufacturer:	Philipp SCHENK GmbH Wien
Application:	Agriculture, Building automation, climate measurements, Hydrology, industry, Research
Measurement methods:	Bimetall
Measuring range (W/m ²):	0...1500
Spectral range [nm]:	300 ... 3000
max. Spectral sensitivity [nm]:	380 ... 2500
Dome:	Geschliffenes Glas
Linearity:	←0.5% in the range 0.5 ... 1330 W / m ²
Impedance [Ohm]:	35 Ω
Resolution:	← 1W/m ²
Long-term stability:	3 % / a
response time [t ₉₅ s]:	← 25 s
Housing temperature [° C]:	PT100 @ 4-wire circuit
voltage supply:	10-36 VDC, 6VA, 12VDC, keine
Output signal :	0 ... 10 mA, 0 ... 20 mA, 0...1V DC, 0...5mV, 0...5VDC, 0...5V DC, 0...10mV, 0...50mV, 0...100mV, 0...20mV, 0...22mV, 4 ... 20 mA
Connection {Plug:	4-pin shielded, 3m
Degree of protection:	IP65
Medium:	Air
Housing:	Aluminum cast and stainless steel painted white
Mobile data capture radiation::	handheld device, Multichannel datalogger, Single channel data logger
Weight (Kg):	1,5

І останнім приладом для розгляду візьмемо The Middleton Solar NSR1, NSR1-E, NSK2 та NSK4 - призначені для вимірювання сумарного випромінювання вниз і вгору. Чистий піррадiометр Middleton Solar NSR1 вимірює чистий загальний потік радіації (сонячного, земного та атмосферного) вниз і вгору через горизонтальну поверхню. Він підходить для досліджень сонячної енергії в сільському господарстві та метеорології. NSR1 також доступний з окремими виходами вниз і вгору без додаткових витрат, див. Примітку щодо застосування подвійного виходу. Версія NSR1-E має вбудований підсилювач сигналу. Також доступний мережевий

радіометр NSK4 (з квадративходами), а також мережевий піргеометр NSK2 (з подвійними виходами[9]).

Таблиця 2.5

Специфікація продуктивності, NSR1 & NSR1-E

Час реакції	7s (95%)
Спектральний діапазон	0.3 to 60 μm
Поле зору	2 x 180°
Нелінійність	< 3%
Чутливість (типова)	NSR1: 6 $\mu\text{V}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$ NSR1-E: 1 $\text{mV}/\text{W}\cdot\text{m}^{-2}$
Зміна чутливості вгору і вниз	<3%
Зміна короткохвильової та довгохвильової чутливості	<5%
Температурна залежність	< 3%

Кожен з цих типів приладів має свої переваги та обмеження, але разом вони створюють комплексну систему для вимірювання та аналізу сонячної радіації, що є важливим для різних галузей науки та технологій.

Піргеліометри - це прилади, призначені для вимірювання сонячної радіації, яка падає на поверхню Землі. Ці прилади використовуються для встановлення інтенсивності сонячної радіації на різних місцевостях та в різний час. Вони є важливим інструментом для вивчення кліматичних процесів, а також для оцінки потенціалу сонячної енергії.

Історія піргеліометрів сягає коренів у давнину, коли перші вимірювання сонячної радіації були здійснені за допомогою простих приладів, таких як сонячні

годинники. Протягом часу, з розвитком науки та технологій, піргеліометри стали більш точними та ефективними.

Сучасні піргеліометри використовуються в різних галузях, включаючи метеорологію, астрономію, сільське господарство, та енергетику. Вони допомагають в розробці стратегій ефективного використання сонячної енергії та вирішенні проблем енергетичної безпеки.

Одним з основних принципів роботи піргеліометрів є вимірювання теплового випромінювання, яке отримується від сонця. Це випромінювання змінюється в залежності від рівня хмарності, атмосферного стану та інших факторів.

Застосування піргеліометрів в сучасному світі стає все більш актуальним, оскільки питання енергетичної ефективності та використання альтернативних джерел енергії стають ключовими в глобальному контексті. Розробка нових технологій та методів вимірювання сонячної радіації продовжується, щоб максимально використовувати потенціал сонячної енергії для потреб сучасного суспільства.

У висновку, піргеліометри є важливими інструментами для вимірювання сонячної радіації та розвитку сонячної енергетики. Вони дозволяють отримувати точні дані про сонячну активність та сприяють подальшому впровадженню зелених технологій та зменшенню викидів парникових газів.

РОЗДІЛ III

ДАТЧИКИ ОСВІТЛЕННОСТІ

3.1 Типи датчиків і їх характеристики

Датчики світла – це тип фотодетекторів (також їх називають фотосенсорами), які виявляють світло. Різні типи датчиків світла можна використовувати для вимірювання освітленості, реагування на зміни в кількості отриманого світла або перетворення світла в електрику.

Поширеними типами датчиків світла є фотодіоди, фоторезистори, фототранзистори та фотоелектричні датчики світла. Ці компоненти можна використовувати в таких програмах, як датчики світла в мобільних пристроях, автоматичне зовнішнє освітлення, датчики наближення та відновлювані джерела енергії.

Фотодіоди перетворюють світло в електричний струм (рис.3.1). Це пристрої з р-п-переходом, подібні до звичайних діодів. Пристрій р-п-переходу складається з напівпровідникового матеріалу р-типу та n-типу. Буква «р» означає «позитивний» через надлишок електронних дірок у матеріалі, а «п» означає «негативний» через надлишок електронів. Це означає, що струм може протікати через межу лише в одному напрямку. У фотодіоді ці електронно-діркові пари утворюються, коли енергія падаючого світла поглинається пристроєм. Як для прикладу візьмемо характеристики лавинного кремнієвого фотодіоду С30954ЕН [10]

- Параметр: Значення
- Активний діаметр: 0.8 мм
- Ємність: 2 пФ
- Час наростання/спаду: 2 нс
- Темновий струм: 50 нА
- Напруга пробою: 300 - 475 В
- Температурний коефіцієнт: 2.4 В / ° С
- Типове посилення: 120

- Чутливість: 75 А/Вт @ 900 нм, 36 А/Вт @ 1060 нм, 5 А/Вт @ 1150 нм
- Квантова ефективність: 85% @ 900 нм, 36% @ 1060 нм, 5% @ 1150 нм
- Еквівалентна потужність шумів: 13 ФВТ/ $\sqrt{\text{Гц}}$
- Корпус: ТО-5
- Діапазон робочих температур: -40°C - 70°C
- Температура зберігання: -60°C - 100°C



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд фотодіодів

Фоторезистори (також відомі як світлозалежні резистори або LDR) — це пасивні пристрої, які зменшують опір пропорційно кількості отриманого світла. Світло, що утворює електронно-діркові пари, збільшує провідність і, отже, зменшує питомий опір.



Рис. 3.2. Фоторезистор GL55

Максимальна напруга: 150 VDC
 Максимальна потужність: 100 мВт
 Температура навколишнього середовища: -30 - +70 ° C
 Спектральний пік: 540 нм
 Час відгуку хв-макс: 20-30 мс
 Виробник: SENBA OPTICAL & ELECTRONIC CO., LTD.

Тип	Опір в темряві	Опір при освітленні 10 Lux
GL5506	0.2 МОм	2-5 кОм
GL5516	0.5 МОм	5-10 кОм
GL5528	1 МОм	10-20 кОм
GL5537	3 МОм	20-50 кОм
GL5539	5 МОм	50-100 кОм
GL5549	10 МОм	100-200 кОм

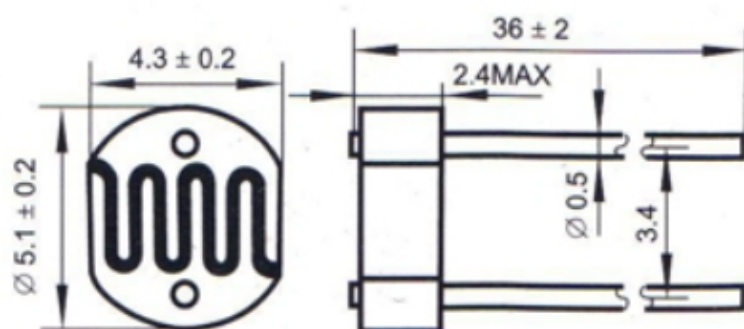


Рис. 3.3. Характеристики та схема фоторезистора GL55 [11]

Фототранзистори перемикають або підсилюють сигнали подібно до звичайних транзисторів, при цьому струм, що подається на клеми, створюється під впливом світла.



Рис. 3.4. світлодіод IR204-A (прозорий) та один фототранзистор PT204-6B (темний)

Таблиця 3.1

Характеристика фототранзистора РТ204-6В [12]

Характеристики	Значення
Струм діода	20 мА
Падіння напруги діода	1.2-1.45 В
Струм колектора транзистора	3 мА
Довжина хвилі світла	940 нм
Напруга колектор-емітер	30 В

3.2 Датчик як індикатор сонячної радіації

На теперішній час експлуатація фотоелектричних станцій неможлива без систематичного моніторингу сонячної радіації, яка потрапляє на поверхню фотоелектричних модулів. Дані отримані шляхом безпосередніх вимірів дозволяють не лише прогнозувати корисну потужність сонячної електростанції (що є необхідною умовою для підключення їх до мережі), а й визначити поглинальну здатність того чи іншого типу сонячних панелей. Аналіз характеристик сучасних приладів для вимірювання сонячної радіації дозволив визначити їх позитивні риси такі, як висока точність, сертифікація та стандартизація, стійкість вимірювання за різних погодних умов та ін.. Однак, не дивлячись на ряд зазначених переваг, вони мають суттєві недоліки пов'язані з їх низькою швидкодією (що спричиняє високий рівень інерційності) та широким спектром, який вимірюється і перевищує можливий спектр поглинання фотоелектричних комірок. Тому, останнім часом ведуться спроби пристосувати датчики освітленості для вимірювання сонячної радіації, оскільки вони значно менш інерційні (швидше спрацьовують), можуть працювати з значно ширшим спектром випромінювання і значно дешевші. В ряді робіт було запропоновано проводити вимірювання цифровими датчиками освітленості типу GY-302 (рис.3.5 а), що має значно кращі показники швидкодії, аніж піранометр [24]. Цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 призначений для вимірювання фонового освітлення. Має високу чутливість та поширений

послідовний інтерфейс I2C. Спектр чутливості збігається із кривою чутливості людського ока. Підключення датчика освітленості GY-302 BH1750FVI до Arduino представлено на рисунку 3.5 б. Більше інформації (таблиця 3.2) дає даташит на мікросхему BH1750FVI [25].

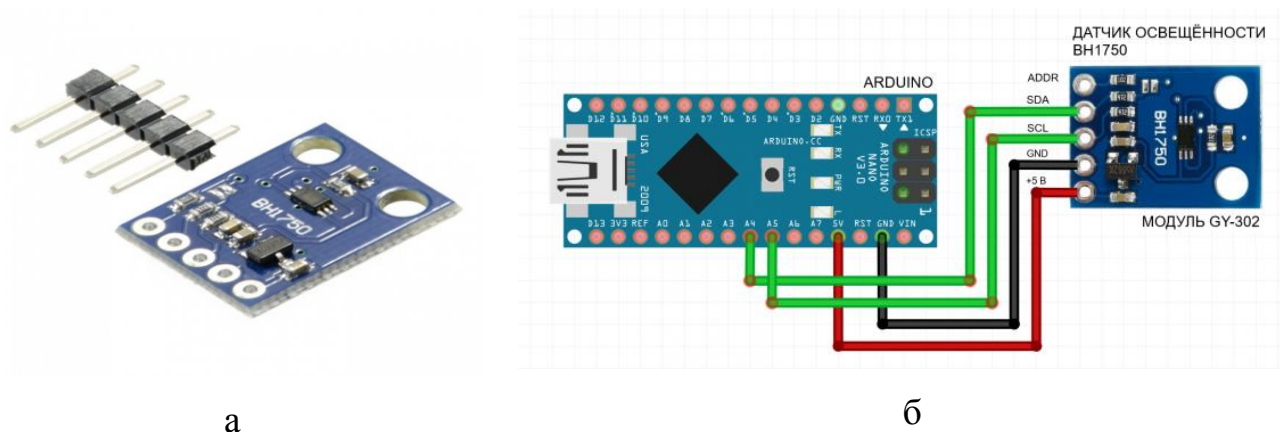


Рис.3.5. Датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 (а) і схема підключення датчика до Arduino (б) [24]

Таблиця 3.2

Основні характеристики [25]

Тип	GY-302.
Оригінальний чіп.	BH1750FVI ROHM
Вбудований	сенсор та цифровий перетворювач.
Прямий цифровий вихід	без додаткових складних обчислень, перетворень та калібрування.
Особливості	нечутливий до фонового світла
Спектральна характеристика	близька до візуальної чутливості.
Точність виміру	для широкого діапазону – 1 люкс
Напруга живлення	3 – 5 В
Діапазон даних	0 - 65535 лк
Інтерфейс	I2C
Розміри:	13.9 X 18.5 mm

Цифровий датчик освітленості GY-302 на чіпі BH1750 призначений для вимірювання освітленості. Фотодіод, який використовується у пристрої BH1750, вимірює інтенсивність світла та перетворює його в вихідну напругу за допомогою операційного підсилювача. Вбудований аналого-цифровий перетворювач (АЦП) пристрою здатен генерувати 16-бітові цифрові дані. Внутрішня логіка BH1750 усуває необхідність проведення складних обчислень, оскільки вона безпосередньо виводить значущі цифрові дані у люксах (лк), що спрощує процес вимірювання інтенсивності світла. BH1750 складається з фотодіода, що сприймає видимий спектр випромінювання, інтегратора на основі операційного підсилювача для перетворення струму фотодіоду в напругу, аналого-цифрового перетворювача для отримання цифрових 16-бітних даних, Logic + I2 C Interface – логіка та двопровідний інтерфейс та (OSC) – внутрішнього осцилятора (резонансна частота 320 кГц). Функцію лоджера може виконувати мікроконтролер Arduino Uno.

До недоліків використання датчиків освітленості в якості індикаторів рівня сонячної радіації, можна віднести необхідність перерахунку освітленості в сонячну радіацію.

ВИСНОВКИ

1. Інформаційні бази даних сонячної радіації такі, як PVGIS, NREL, ISO 9060 Сонячна Енергія, ІЕС 61724-1:2017 дозволяють прогнозувати режими роботи фотоелектричних станцій, а системне вимірювання сучасними приладами сприяє підвищенню ефективності та надійності електростанцій
2. Сучасні прилади для вимірювання сонячної радіації такі як піргеліометри, піранометри та піррадіометри дозволяють визначити сонячне випромінювання, яке падає на земну поверхню в спектральному діапазоні від 285 до 2800 нм з часом відгуку менше 0,7 с і чутливістю 7 мкВт/м².
3. Використання датчиків освітленості при визначенні рівня сонячної радіації може підвищити швидкодію систем моніторингу 16-24 мс і зменшити вартість обладнання в десятки разів. Порівняно з традиційними методами вимірювання сонячної радіації, такими як пірометричні пристрої або спектрорадіометри, датчики освітленості є менш витратними та простішими у встановленні та обслуговуванні.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Енергетична стратегія України на період до 2035 року «Безпека, енергоефективність, конкурентоспроможність». Схвалено розпорядженням Кабінету Міністрів України від 18.08.2017 р. № 605-р. [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/605-2017-%D1%80#Text>.
2. Вдосконалення методів моделювання роботи фотоелектричних панелей в умовах експлуатації, 2021 – 26 с. Режим доступу: <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2021/03/modelyuvannya.pdf>
3. Коломиец Ю.Г., Тарасенко А.Б., Тебуев В.В., Сулейманов М.Ж. Исследование влияния различных видов загрязнений на эффективность эксплуатации солнечных энергоустановок // Международный научный журнал «Альтернативная энергетика и экология» (ISJAEE). 2018;(04-06):12-24.
4. Sarver, T. A comprehensive review of the impact of dust on the use of solar energy: History, investigations, results, literature, and mitigation approaches [Text] / T. Sarver [et al.] // Renewable and Sustainable Energy Reviews. – 2013. – Vol. 22. – P. 698–733.
5. Goossens, D. Aeolian dust deposition on photovoltaic solar cells: the effects of wind velocity and airborne dust concentration on cell performance [Text] / D. Goossens, E. Van Kerschaever // Solar Energy. – 1999. – Vol. 66. – P. 277–289.
6. Said, S.A.M. Fundamental studies on dust fouling effects on PV module performance [Text] / S.A.M. Said, H.M. Walwil // Solar Energy. – 2014. – Vol. 107. – P. 328–337.
7. Potryvay A., Danylchenko D., Optimization of accumulation units in a mobile, autonomous cottage settlement as a part of maneuvering system. // MODERN PROBLEMS OF POWER ENGINEERING AND WAYS OF SOLVING THEM. - 2020. - №4 – P. 120-123.
8. Гаєвський О. Ю. Система вимірювання параметрів фотоелектричних модулів в реальних умовах експлуатації / О. Ю. Гаєвський, В. Ю. Іванчук, І. О. Корнієнко // Відновлювана енергетика. - 2019. - № 2. - С. 32-39. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2019_2_6

9. Андруцкий. Б. С. Эффективность солнечных электростанций на территории Украины / Б.С. Андруцкий. С. М. Пономаренко // XV Всеукраїнська науковопрактична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Теоретичні і прикладні проблеми фізики, математики та інформатики». 25-27 травня 2017 року. м. Київ. – Київ: ВПІ ВПК «ПОЛІТЕХНІКА». 2017. – С. 72-75.
10. Шведчикова І.О., Кравченко О.П., Романченко Ю.А., Козаков Е.В., Розробка бази даних для прогнозування сонячної генерації в програмно-технічному комплексі управління електроспоживанням локального об'єкта. Наукові праці ДонНТУ. Серія: «Електротехніка і енергетика» №1(22)'2020. – С. 55 – 61. Режим доступу: https://er.knutd.edu.ua/bitstream/123456789/16613/1/EMIS_P128-129.pdf.
11. Он-лайн моніторинг роботи сонячної електростанції. Режим доступу: <https://solarsystem.com.ua/lajn-monitoryng-roboty-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/>
12. СИСТЕМА МОНІТОРИНГУ інверторів ALTEK. Режим доступу: <https://altek.ua/altek-monitoring-systems/>
13. Моніторинг генерації сонячної електростанції. Режим доступу: <https://www.solargarden.com.ua/service/monitoryng-generatsiyi-sonyachnoyi-elektrostantsiyi/>
14. ФЕЛЕКТРИЧНА ЕЛЕКТРИКА ТА СОНЯЧНА РАДІАЦІЯ. Режим доступу: <https://globalsolaratlas.info/detail?c=51.267414,33.517453,8&s=51.23975,33.206675&m=site>
15. ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ГЕОГРАФІЧНА ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА. Режим доступу: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/
16. SMP11 піранометр — ISO 9060 Спектрально плоский клас А. Режим доступу: <https://data-lufft.com/ua/p911987598-smp11-piranometr.html>
17. Extech SP505 | Кишеньковий вимірювач сонячного світла. Режим доступу: <https://www.promsystem.com.ua/product/extech-sp505-kyshenkovyj-vymiryuvach-sonyachnogo-svitla/>
18. Model 240-8111 Pyrradiometer. Режим доступу: <https://novalynx.com/brochures/240-8111.pdf>

19. MIDDLETON SOLAR MEASUREMENT SPECIALISTS. Режим доступу: <https://www.middletonsolar.com/products/product7.htm>
20. Лавинний кремнієвий фотодіод C30954EH. Режим доступу: <https://arduino.ua/prod4177-lavinnii-kremnievii-fotodiod-c30954eh>
21. Фоторезистор GL55. Режим доступу: <https://1wire.com.ua/fotorezistor-gl5539.html>
22. IR фототранзистор та світлодіод (приймач-передавач). Режим доступу: <https://uamper.com/IR->
23. Solar Radiation Sensor. Режим доступу: <https://www.renkeer.com/product/solar-radiation-sensor/>
24. Датчик освітленості цифровий GY-302 BH1750FVI. Режим доступу: <https://arduino.ua/ru/prod1116-datchik-osveshhenosti-cifrovoi-bh1750fvi>
25. Digital 16bit Serial Output Type Ambient Light Sensor IC BH1750FVI Режим доступу: <https://arduino.ua/docs/ADC154/BH1750FVI.pdf>