

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

До захисту
Допускається
Завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент Чепіжний А.В.

ДИПЛОМНА РОБОТА
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Дослідження впливу забруднення поверхні
фотоелектричних панелей на їх ефективність»

Виконав

(підпис)

Іващенко А.А.
(прізвище, ініціали)

Група

ЗЕТЕС 2301м

(Науковий) керівник:

(підпис)

Чепіжний А.В.
(прізвище, ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Інженерно-технологічний факультет
Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

завідувач кафедри енергетики та
електротехнічних систем

доцент _____ Чепіжний А.В.
(підпис, вчене звання, прізвище, ініціали)

«_____» _____ 202__ року

ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ
ЗДОБУВАЧУ ВИЩОЇ ОСВІТИ

Іващенко Анна Андріївна

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження впливу забруднення поверхні фотоелектричних панелей на їх ефективність

керівник роботи: Чепіжний Андрій Володимирович, к.т.н., доцент
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджено наказом по закладу вищої освіти від «06» 11 2024 р. № 3738/ос

2. Термін подання здобувачем закінченої роботи «11» 11 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи показники роботи сонячних панелей, нормативні документи для проведення досліджень, стандарти, постанови про забезпечення якості електричної енергії.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Аналіз особливостей роботи фотоелектричних панелей.

2 Особливості проведення дослідження по визначенню забрудненості сонячних панелей.

3 Результати дослідження ефективності сонячних панелей від запиленості.

4 Охорона праці.

5 Економічне обґрунтування.

Висновки та пропозиції.

Список використаної літератури.

5. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу:

Презентаційний матеріал виконаний в програмі Power Point

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата

КАЛЕНДАРНИЙ ГРАФІК

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітки
1	Аналіз літературних джерел з обраної тематики	до 15.08.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 23.08.2024 р.	
3	Написання вступу	до 26.08.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1»	до 28.08.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 2»	до 16.09.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 14.10.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 4»	до 21.10.2024 р.	
8	Написання висновків та пропозицій	до 28.10.2024 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 01.11.2024 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 05.11.2024 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 12.11.2024 р.	

Здобувач вищої освіти

(підпис)

(Іващенко А.А.)

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник
дипломної роботи**

(підпис)

(Чепіжний А.В.)

(прізвище, ініціали)

РЕФЕРАТ

Дослідження впливу забруднення поверхні фотоелектричних панелей на їх ефективність. Магістерська робота / Іващенко Анна Андріївна – Суми: СНАУ, 2024 р. – 47 с.

В роботі проведено аналіз особливостей роботи фотоелектричних панелей, з визначенням процесів, що виникають в сонячних панелях. Також проведено аналіз особливостей застосування їх в кліматичній зоні м. Суми.

Проведено аналіз досліджень по визначенню впливу запиленості та накопичення пилу на ефективність роботи сонячних панелей та фотоелементів.

Визначено основні фактори впливу на забруднення та на забезпечення ефекту самоочищення сонячної панелі. Визначено особливості монтажу сонячних панелей на різних поверхнях з визначенням середнього значення кута орієнтування сонячної панелі для м. Суми.

Запропоновано установку для проведення дослідження впливу запиленості сонячних панелей та накопичення маси пилу на них. Визначено залежності накопиченого пилу на ефективність роботи сонячної панелі.

Визначено основні показники запиленості сонячних панелей за годину, день, тиждень та місяць з проведенням розрахунку втрати вихідної потужності залежно від запиленості та години доби.

Виконано економічне обґрунтування будівництва сонячної електростанції з визначенням термінів окупності при різних варіантах роботи сонячної електростанції та різних значеннях запиленості панелей.

По роботі виконано висновки та наведено пропозиції по використанню сонячних панелей та проведенню їх очищення.

Ключові слова: фотоелемент, сонячна панель, освітленість, запилення, маса пилу, кут розміщення, вихідна продуктивність.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	7
1.1 Аналіз особливостей роботи сонячних панелей з фотоелектричними системами.....	7
1.2 Аналіз впливу запиленості на роботу сонячних панелей.....	8
1.3 Аналіз особливостей процесів накопичення пилу на поверхні сонячних панелей.....	10
Висновки до розділу.....	15
2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗАБРУДНЕНOSTІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	16
2.1 Особливості визначення ККД сонячної панелі від її забруднення.....	16
2.2 Формування особливості методики дослідження.....	18
2.3 Особливості організації устаткування для проведення дослідження.....	19
Висновки до розділу.....	23
3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ВІД ЗАПИЛЕНOSTІ.....	24
3.1 Результати погодинної роботи сонячних панелей.....	24
3.2 Результати щоденного дослідження роботи сонячної панелі.....	27
3.3 Результати дослідження роботи сонячних панелей за тиждень.....	30
3.4 Результати дослідження роботи сонячних панелей за місяць.....	32
3.5 Зведені дані роботи сонячних панелей.....	34
Висновки до розділу.....	36
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	38
Висновки по розділу.....	39
5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	40
Висновки до розділу.....	44
ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....	45
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	47

ВСТУП

Актуальність теми. В умовах нестачі виробітку електричної енергії від традиційних джерел енергії необхідною умовою є використання невеликих сонячних електростанцій. Особливістю їх роботи є вироблення електричної енергії в фотоелементах з перетворенням енергії світла. При цьому ефективність роботи сонячних панелей напряму залежить від декількох факторів. Одним з основних факторів є показник запиленості сонячних панелей пилом. При цьому більшість досліджень проводились для умов пустель та країн з великим рівнем запиленості.

В умовах України фактично подібних досліджень не проводилось, а отже нема значень для визначення впливу фактору запиленості на ефективність роботи сонячної панелі.

Необхідно зазначити, що рівень запиленості для умов України, а саме м. Суми може виявитись не значним для великого впливу на роботу сонячної електростанції. Проте дане питання потребує проведення досліджень з визначенням реальних параметрів та забруднень, а отже запропонована тема дослідження є актуальною для дослідження.

Мета та задачі дослідження. Метою проведення дослідження є визначення рівня запиленості сонячних панелей для умов України, а саме для м. Суми з аналізом ефективності роботи сонячної панелі в умовах запиленості.

Для проведення дослідження нами пропонується вирішити наступні задачі:

1. Проведення аналізу з особливостей роботи фотоелектричних елементів сонячних панелей.
2. Визначення основних факторів впливу на ефективність роботи сонячних панелей.
3. Аналіз особливостей установки для проведення дослідження.
4. Визначення рівня запиленості та ефективності роботи сонячних панелей в різних часових проміжках.

5. Визначення особливостей прогнозування ефективності роботи сонячних панелей.

Об'єктом дослідження в роботі є залежність запиленості сонячних панелей та виробленої потужності, що характеризує ефективність їх роботи.

Предметом дослідження в роботі є накопичення маси пилу на сонячних панелях за певні часові проміжки.

Методи дослідження. В роботі використовувались аналітичні методи проведення досліджень з подальшим математичним моделюванням та графічним представленням результатів.

Практичне значення отриманих результатів полягає в визначенні реального показника роботи сонячних панелей для умов м. Суми з прогнозуванням їх ефективності при певних рівнях запиленості.

1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ РОБОТИ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

1.1 Аналіз особливостей роботи сонячних панелей з фотоелектричними системами

Фотоелементи сонячних панелей виконують перетворення сонячного світла на корисну електричну енергію. Для визначення світлової енергії використовують одиниці виміру – фотон. Фотони від сонячного випромінювання вловляються та поглинаються сонячними панелями, а саме їх фотоелементами. В результаті фотоелектричного ефекту відбувається виділення електричної енергії. Згенеровані електрони від впливу фотонів передаються по різним енергетичним діапазонам атомів фотоелектричних елементів. Перенесення електронів призводить до накопичення для унеможливлення накопичення напруги між різними електродами.

Фотоелектричні системи є доволі ефективним та корисними перетворюючи частину енергії світлового потоку в електроенергію. При цьому подібні системи не мають рухомих частин, а отже зношування їх є мінімальним. При цьому дані системи мають доволі великий коефіцієнт надійності, на який не впливають різного роду рідинні чи газові елементи даних систем. Доцільно зауважити, що при використанні даних систем не виникає прямого викиду забруднюючих речовин в навколишнє середовище. Але з екологічної точки зору необхідно зауважити, що використання сонячних панелей має доволі значний вплив на екологічні показники адже ефект затінення впливає на розвиток рослинності. При цьому за умови використання родючих земель під сонячними панелями зменшує їх родючість та зменшує виділення кисню в атмосферу. А отже питання екології потрібно розглядати в більш детальному аналізі.

Для характеристики ефективності роботи сонячних панелей застосовують поняття ефективність сонячної енергії. Даний показник показує кількість переробленої сонячної радіації. При цьому необхідно розрізняти значення ефективності фотоелектричного елемента та сонячної панелі різні.

Ефективність фотоелектричного елемента вища порівняно з ефективністю сонячної панелі. Такий ефект спостерігається через те, що в будові сонячної панелі є захисне скло, що покриває фотоелектричні елементи. При цьому дане скляне покриття має власний коефіцієнт відбивання та має свої пропускні властивості. Виходячи з цього необхідною точкою для проведення подальших досліджень є визначення кількості електричної енергії отриманої від нової, не забрудненої панелі. Тобто ця кількість електричної енергії та цей показник ефективності є базовим в подальших розрахунках.

1.2 Аналіз впливу запиленості на роботу сонячних панелей

Основною складовою атмосферного повітря завжди є велика кількість пилу. Пил з'являється в атмосфері від виверження вулканів, пилових бурь в пустелях, пилу піднятого з ґрунтового покриву та інших забруднень. При цьому пил містить найменшу кількість рослинних решток, відходів життєдіяльності тварин та рослин, а також інших речовин.

Питання забрудненості сонячних панелей на сьогодні є з одним з основних питань експлуатації сонячних панелей. В різних країнах світу проводилось велика кількість досліджень, пов'язаних з визначенням впливу запиленості сонячних панелей. Дослідження проведені в США довели, що при осадженні пилу на сонячних панелях їх продуктивність знижувалась на величину 4,7%. При цьому в дослідженнях проведених в Саудівській Аравії спостерігалось зниження продуктивності роботи сонячних панелей фактично на 40%. При цьому запиленість панелей була досягнута фактично за 6 місяців їх роботи. Якщо враховувати експлуатацію сонячних панелей протягом 8 місяців спостерігалось зменшення певне очищення сонячних панелей з зменшенням продуктивності на 32% від нормативного значення.

Подібного значення зниження параметру в залежності від запиленості спостерігалось в Кувейті, де зменшення продуктивності спостерігалось від 17 до 65 % залежно від кута розміщення сонячних панелей.

Подібного роду дані було отримано данні при дослідженнях і в Єгипті, хоча тут було зазначено максимальне значення запиленості на рівні 65,8%.

При цьому даного запилення сонячних панелей до максимального значення досягнуто за період до 6 місяців.

Особливості використання сонячних панелей в даних регіонах полягає в тому, що експлуатація їх виконується фактично в умовах пустелі з великою кількістю пилових бурь та їх запиленістю.

Інші дані було отримано від дослідників в Таїланді. Тут забрудненість сонячних панелей становила максимально 11% за один місяць.

Необхідно зазначити, що в основному всі вчені, що проводили дослідження вивчали деградацію сонячних панелей, а кількісну оцінку запиленості сонячних панелей не проводилась.

Розмір пилу також має значний вплив на роботу сонячних панелей та їх продуктивність. В результаті проведених досліджень розмір частинок в 5мм з вуглецю має найбільший вплив на ефективність роботи сонячних панелей. Також доведено, що більш дрібні частинки мають значно більший вплив на роботу сонячних панелей ніж крупні частинки. Крупні частинки в більшій мірі здуваються вітром, або просто скочуються під своєю вагою з нахилених сонячних панелей. Милкий пил осідає пошарово з подальшим утворенням щільного шару непроникного для сонячного світла. Слід сказати, що склад пилу не має значного впливу на ефективність сонячних панелей. Їх вплив фактично однаковий на роботу сонячних панелей.

Каземин та інші вчені досліджували роботу сонячних панелей в приміщенні. При цьому в якості забруднювачів використовували червоний ґрунт, пісок, кремнезем та інші. В результаті експерименту було отримано данні, що показували значний вплив на ефективність роботи сонячних панелей накопиченої певної маси забруднювача, а також його тип.

Існують також дослідження [5] де в якості забруднювача використовували штучно вироблений пил. Він складався з часток цементу та вуглецю. В результаті дослідження було отримано, що часточки цементу мають більш значний вплив на ефективність роботи сонячних панелей. При цьому за умови утворення щільності 73 г/м² виникає доволі велика кількість коротких замикань між фотоелементами, що становить близько 80 %.

В інших дослідженнях проводилось визначення ефективності роботи сонячних панелей при запиленні від пилу природного походження. Необхідно зазначити, що в принципі вищенаведені данні було також підтвержені і даними дослідженнями. Але основним висновком було те, що ефективність роботи сонячних панелей була найвищою за умови чистоти повітря та прохолодного повітря навколишнього середовища. При цьому спостерігалось зниження продуктивності за умови сухої панелі та чистого повітря з теплим навколишнім середовищем.

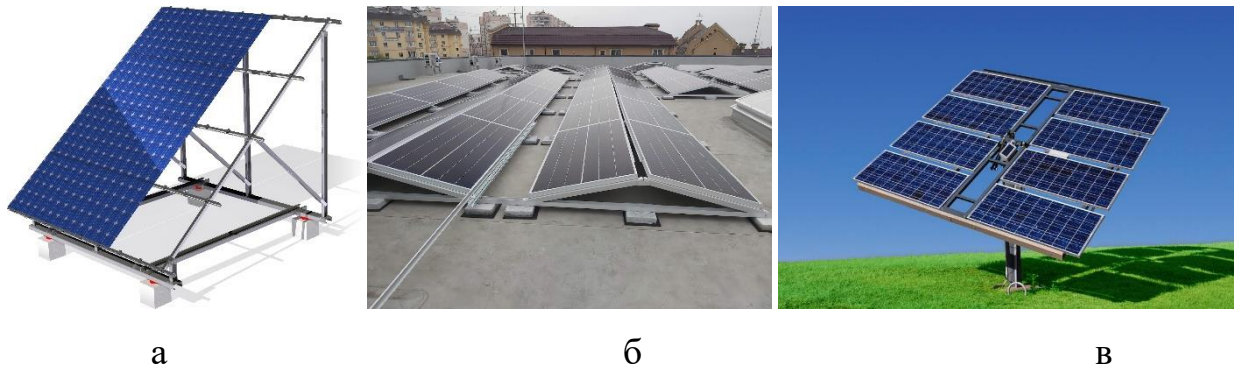
В результаті всіх проведених досліджень можна зазначити, що всі дослідники схиляються до того, що запилення різними частинками значно впливає на ефективність роботи сонячних панелей. Також додатково зазначалось, що в результаті мікропошкоджень від великих частинок пилу та тривалої експлуатації сонячних панелей в подібних умовах виникало значне зниження пропускну здатності скляного покриття сонячної панелі, що також мало значний негативний вплив на ефективність роботи.

1.3 Аналіз особливостей процесів накопичення пилу на поверхні сонячних панелей

В результаті вищеописаних досліджень виявлено, що на параметр осідання пилу на сонячну панель впливає велика кількість факторів. До основним з них відносять тип панелей та їх габаритний розмір, кут їх розміщення до горизонту та вага пилу з його формою.

Необхідно зазначити, що більшого впливу на величину осідання пилу на сонячну панель викликає саме кут розміщення до горизонту (рис. 1.1).

Особливості кріплення та розміщення сонячних панелей на різних поверхнях доволі сильно впливає на конструкцію та особливості їх розміщення. Існують кріплення поворотні та неповоротні.



а – розміщення на спеціально розроблених кріпленнях зі значним кутом нахилу до горизонту; б – розміщення на спеціально розроблених кріпленнях на плоскому даху з незначним кутом нахилу до горизонту. в – кріплення на поворотній штанзі з зміною кута нахилу та положення відносно сонця.

Рисунок 1.1 – Особливості розміщення сонячних панелей до горизонту

Необхідно зазначити, що за умови реалізації кріплення сонячних панелей є певна зміна кута її нахилу. Існують певні значення ефективності кута розміщення сонячної панелі відносно широти та пори року (1.2).

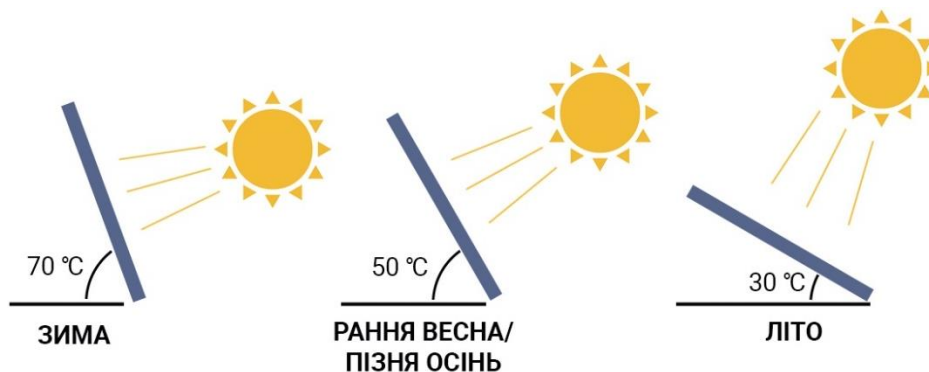


Рисунок 1.2 – Особливості визначення оптимального кута розміщення сонячних панелей

Виходячи з рисунку 1.2 необхідно зазначити, що оптимальний кут протягом року постійно змінюється. А отже в основному обирається певне середнє значення кута нахилу сонячних панелей для кожного регіону розміщення окремо. З рисунку 1.1 можна сказати, що конструкції (1.1, а) дають можливість закріплення сонячних панелей на землі чи на дахах різних типів (залежно від типу даху змінюється розміри та габарити конструкції для кріплення сонячних панелей).

Конструкція (рис. 1.1, б) розміщується на плоских дахах чи дахах з незначним кутом нахилу. Її в основному використовують для зменшення парусності загальної конструкції і фактично не розміщують на землі через можливість значного затінення рослинністю.

Конструкція (1.1, в) застосовується лише на землі з використанням значного закріплення конструкції в фундамент та використання спеціальних кріплень. Необхідно зазначити, що закріплення на подібних конструкціях великої кількості панелей неможливе через значну парусність конструкції.

Виходячи з вищенаведеного кут нахилу сонячних панелей може значно варіюватись. При цьому найбільш ефективним з точки зору самоочищення від пилу та інших забруднень є конструкції зображені на рисунках 1.1, а та 1.1, в. Необхідно звернути увагу на поворотну конструкцію (рис. 1.1, в) адже вона при повороті може розміщувати сонячні панелі таким чином, що вітер буде здувати більшу частину пилу з них. Подібні засоби автоматизації підвищують ефект самоочищення сонячних панелей.

Конструкція 1.1, б має невеликі кути нахилу, а отже і ефект самоочищення є незначним. При цьому даний тип розміщення в основному використовують на дахах багатоповерхівок з плоским дахом. По периметру таких дахів розміщують певну стінку огорожу з цегли на висоту до 50 см, яка формує певного роду «ванну» даху. Дана «ванна» обмежує вітри, що зможуть здувати пил з сонячних панелей, а отже і знижувати їх ефективність роботи.

Одними з перших вчених, хто проводив дослідження роботи сонячних панелей при забрудненні були вчені Хоттель та Вурц. Ними проведено експеримент протягом трьох місяців, де вони вивчали особливості продуктивності сонячних панелей. Дослідження проводились в промисловому регіоні США. Вони визначили, що за умови розміщення сонячних панелей під кутом 30° , зменшення продуктивності спостерігалось на 1%.

Подібного роду проведено дослідження і в Індії. Де було проведено вивчення впливу забруднення на ефективність сонячних панелей та аналіз особливостей пропускання сонячних променів через різні захисні покриття. При цьому порівнювалось розташування сонячних панелей горизонтально та

вертикально. Не важко здогадатись, що більша кількість забруднення сонячних панелей було при горизонтальному їх розміщенні.

У Кувейті було проведено дослідження процесів забруднення залежно від кута їх розміщення. Зміна кутів проводилась в діапазоні $0-60^\circ$ протягом 38 днів експлуатації. За таких умов виявлено зміну рівня запилення в діапазоні 64-17%. Але додатковими даним було отримання залежності ефективності сонячних панелей в залежності від кута їх розміщення, де за умови горизонтального їх розміщення збільшення їх продуктивності спостерігалось збільшення продуктивності на величину до 30%.

Інше дослідження вчених Нахара та Гупти було встановлено, що зміна кута нахилу в бік збільшення призводить до зменшення запиленості сонячних панелей. Але особливістю даного дослідження було те, що зміна кутів нахилу сонячних панелей призвела до зміни коефіцієнту пропускання їх захисної поверхні. Так було встановлено, що при значеннях кутів 0° , 45° та 90° значення коефіцієнту пропуску світла становив відповідно 19,2%, 13,8 та 5,7%.

Для більшої наглядності процесів забрудненості сонячних панелей розглянемо їх на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Особливості запилення сонячних палей в порівнянні з чистою

З рисунку 1.3 можна зробити наступний висновок, що залежно від кута розміщення сонячної панелі ефект запилення є різним. При цьому більша кількість запилення осідає до низу сонячної панелі. Цей ефект спостерігається

від здування чи від змивання пилу дощем. Виходячи з цього нижня частина сонячної панелі може мати значне забруднення порівняно з верхньою її частиною, що може призводити до значного перепаду виробництва електричної енергії по її площині.

Іншими дослідженнями встановлено, що через забруднення сонячних панелей по краях рамкового модуля спостерігається зменшення продуктивності сонячної панелі на величину до 10%. При цьому необхідно зазначити, що по краях рамкових модулів накопичувався пил особливого складу. Основу даного пилу складали оксиди заліза та кремнію, а також певні органічні речовини.

Дослідники під керівництвом Мазумдера в 2002 році при проведенні дослідження встановили також вплив запиленості сонячних панелей на ефективність їх роботи. Але відмінністю їх дослідження було те, що було встановлено залежність розміру частинок пилу, його форми та механізму осадження. В результаті отримано залежності механічної адгезії покриття сонячної панелі від форми та гостроти частинок пилу. Також було встановлено певний вплив електромагнітних процесів в сонячних панелях та перенесенням частинок пилу на поверхню панелей. Виходячи з цього ними доведено та описано процеси прилипання частинок пилу до сонячних панелей в результаті механічних та електростатичних процесів. А отже в результаті запиленості частинками пилу різного складу може виникати значна неоднорідність по площині (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Особливості процесу неоднорідності запиленості сонячних панелей

Виходячи з цього виникає необхідність проведення обслуговування сонячних панелей з проведенням їх очищення від забруднення частинками пилу. Хоча в штаті Нью-Йорк проведені дослідження по ефективності миття сонячних панелей. Так одну з них мили щодня, а іншу не чіпали жодним чином протягом двох місяців. В результаті було виявлено, що щоденне миття сонячної панелі збільшило її ефективність лише 1%. При цьому необхідною умовою є врахування затрат праці для проведення миття сонячних панелей.

Висновки до розділу

В результаті проведеного аналізу доцільно зазначити, що проблемою вивчення запиленості сонячних панелей займалось доволі велика кількість вчених в різних регіонах планети. При цьому всі вони зазначають ефекти зменшення ефективності роботи сонячних панелей. Виходячи з цього, необхідною умовою використання сонячних панелей є дослідження особливостей запилення сонячних панелей для кожного регіону використання окремо з врахуванням складу пилових частинок та їх розміру та форми.

2 ОСОБЛИВОСТІ ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДЖЕННЯ ПО ВИЗНАЧЕННЮ ЗАБРУДНЕНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

2.1 Особливості визначення ККД сонячної панелі від її забруднення

Для розрахунку ККД сонячної панелі необхідною умовою є визначення сонячного випромінювання, що потрапляє на неї. Додатково даний показник описується також джерелом світла та його потужністю, а також загальної її площі. Для визначення площі сонячної панелі необхідно скористатись формулою:

$$S = a \cdot b, \text{ м}^2 \quad (2.1)$$

де a, b – відповідно довжина та ширина сонячної панелі, м.

Знаючи площу сонячної панелі можна визначити потужність випромінювання, що потрапляє на сонячну панель з рівняння:

$$W_i = S \cdot E_{t(\text{cp})}, \text{ Вт} \quad (2.2)$$

де $E_{t(\text{cp})}$ – щільність випромінювання світла, Вт/м².

Необхідно зазначити, що щільність випромінювання є енергетичною величиною, яку можна розрахувати з використанням нижченаведених рівнянь:

$$E_{V(\text{cp})} = \frac{E_V(n)}{n} \quad (2.3)$$

де $E_V(n)$ – величина освітленості кожної n -ї частини фотоелементу сонячної панелі, Люкс.

В розрахунках необхідно зазначити, що $E_V(n) = E_{V(\text{cp})}$, за умови $n = 1$.

Освітленість є величиною фотометричною, а отже потребує переведення до певного енергетичного еквіваленту. Для проведення даного перетворення необхідно скористатись наступним виразом:

$$E_{t(\text{cp})} = \frac{E_{V(\text{cp})}}{K} \quad (2.4)$$

де K – величина коефіцієнту переведення з фотометричних одиниць в одиниці енергетичні.

Наступним кроком є порівняння значень потужності W_i та потужності, що отримуємо з сонячної поверхні P_i . Величину P_i отримують з використанням спеціальних приладів лише експериментальним шляхом. При цьому для подальшого аналізу необхідною умовою є отримання значень I та U від сонячної панелі.

В результаті отриманих значень необхідно визначити силу струму на виході з панелі:

$$P_i = U_i \cdot I_i \quad (2.5)$$

Для отримання значення ККД сонячної панелі необхідно скористатись формулою:

$$\eta = \frac{P_i}{W_i} \quad (2.6)$$

Іншим варіантом визначення ККД сонячної панелі є рівняння:

$$\eta = \frac{P}{W} \quad (2.7)$$

Використовуючи дану просту методику розрахунку можна визначити ефективність роботи сонячної панелі в залежності від запиленості чи навіть забрудненості. Тож для продовження досліджень пропонується використовувати її наділі.

2.2 Формування особливості методики дослідження

Для проведення дослідження необхідною умовою є формування методики проведення дослідження. Особливістю проведення дослідження є формування блок-схеми виконання етапів дослідження (рис. 2.1).



Рисунок 2.1 – Блок-схема алгоритму виконання етапів дослідження

Отже з блок-схеми (рис. 2.1) можна сказати, що початок проведення дослідження починається з підбору основного обладнання для визначення основних параметрів роботи сонячної панелі.

Після чого необхідною умовою є проведення аналізу літературних досліджень з формуванням особливостей проведених експериментів для

подальшого врахування їх в подальших етапах дослідження. Даний етап виконано нами при написанні першого розділу магістерської роботи.

Наступним етапом є вивчення роботи фотоелектричних систем, для встановлення факторів, що мають вплив на роботу загальної системи та розуміння принципу вироблення електричної енергії фотоелементами сонячних панелей. Дані матеріали враховано при написанні першого розділу.

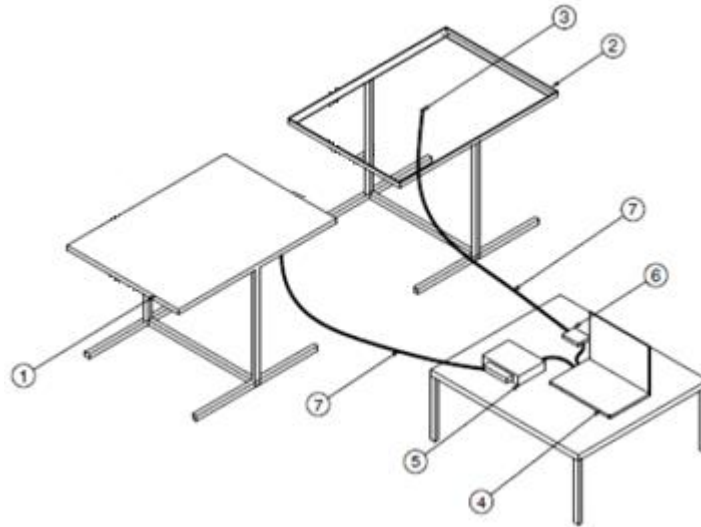
Після визначення всіх теоретичних питань, необхідно провести формування плану експерименту з визначенням особливостей обладнання для проведення експерименту. Врахування всіх питань призводить до формування особливостей установки для визначення ефективності роботи сонячних панелей. Проектування установки проводиться з врахуванням основних параметрів та величин, які необхідно отримати.

Подальші елементи дослідження пов'язані зі збором, обробкою та аналізом отриманих даних за певний часовий проміжок.

2.3 Особливості організації устаткування для проведення дослідження

Для проведення дослідження необхідною умовою є розміщення обладнання поруч з сонячними панелями. Запропонована система проведення дослідження було розміщена в корпусі інженерно-технологічного факультету Сумського НАУ, а сонячні панелі використовувались з діючої сонячної електростанції.

Основною особливістю дослідної установки є наступний вигляд та зображення, що наведено на рисунку 2.2.



1 – сонячна панель; 2 – захисне покриття сонячної панелі; 3 – датчик; 4 – комп’ютер; 5 – блок отримання даних; 6 – пристрій визначення кількості опромінювання; 7 – кабелі.

Рисунок 2.2 – Загальний вигляд та принцип формування експериментальної установки

Для проведення дослідження було використано сонячні панелі існуючої СЕС та лабораторного обладнання кафедри енергетики та електротехнічних систем. Особливістю проведення даного дослідження полягало в тому, що проводилось дослідження для сонячних панелей та захисного покриття окремо.



а

б

Рисунок 2.3 – Сонячна електростанція та лабораторне обладнання для проведення досліджень: а – сонячна електростанція; б – лабораторна установка.

Під час проведення експерименту сонячна панель підключалась до MDL пристрою, а скляні захисні покриття до датчиків вимірювання освітленості. Досліджування виконувались в основному на відкритому повітрі, що дозволяло визначити їх ефективність в реальних умовах з опроміненням сонячним світлом. Експеримент проводився декілька разів.

Основною проблемою проведення дослідження була необхідність забезпечення однакової освітленості для експерименту. Тож необхідною умовою є одночасне підключення декількох панелей до системи. В результаті одна панель була повністю очищена від забруднення та періодично очищалась.

Необхідною умовою отримання ефективного результату виробітку електричної енергії сонячної панелі є зняття даних кожної години, кожного дня кожного тижня та кожного місяця. Для визначення накопичення шару пилу необхідною умовою було постійне очищення еталонної сонячної панелі від пилу з подальшим порівнянням значення ефективності їх роботи.

В результаті протягом певного періоду нами отримувались данні по кількості сонячного опромінення та данні вихідної потужності від сонячної панелі. Необхідно зазначити, що додатково виникала потреба визначення кількості пилу накопиченому на панелях без зняття його з них.

Для проведення вимірювання кількості випромінювання було використано соляриметр. При цьому всі данні фіксувались для подальшого дослідження.

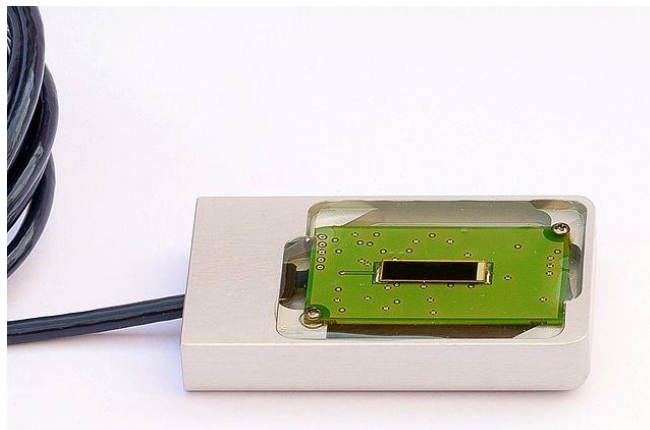


Рисунок 2.4 – Соляриметр для проведення дослідження

Обов'язковою умовою є можливість підключення всіх елементів до комп'ютерного пристрою для збору та подальшої обробки даних.

В результаті необхідно скласти блок-схему роботи установки з отриманням загальних даних для подальшої обробки. В цілому при проведенні експерименту використовувалось два типи панелей: перша це звичайна сонячна панель, а друга скляний макет панелі. Отже, як зазначалось вище від двох даних панелей отримувались дані по сонячному випромінюванню та потужності панелі, утвореної фотоелектричними модулями.

Визначення кількості накопиченого пилу визначалось за допомогою зважування панелі. При чому першочергово було проведено зважування чистої панелі з подальшим порівнянням значення з вагою запиленої панелі. Різниця між двома значеннями вказувала на кількість накопиченого пилу.

Для розуміння загального алгоритму роботи експериментальної установки було розроблено блок схему її роботи (рис. 2.5).

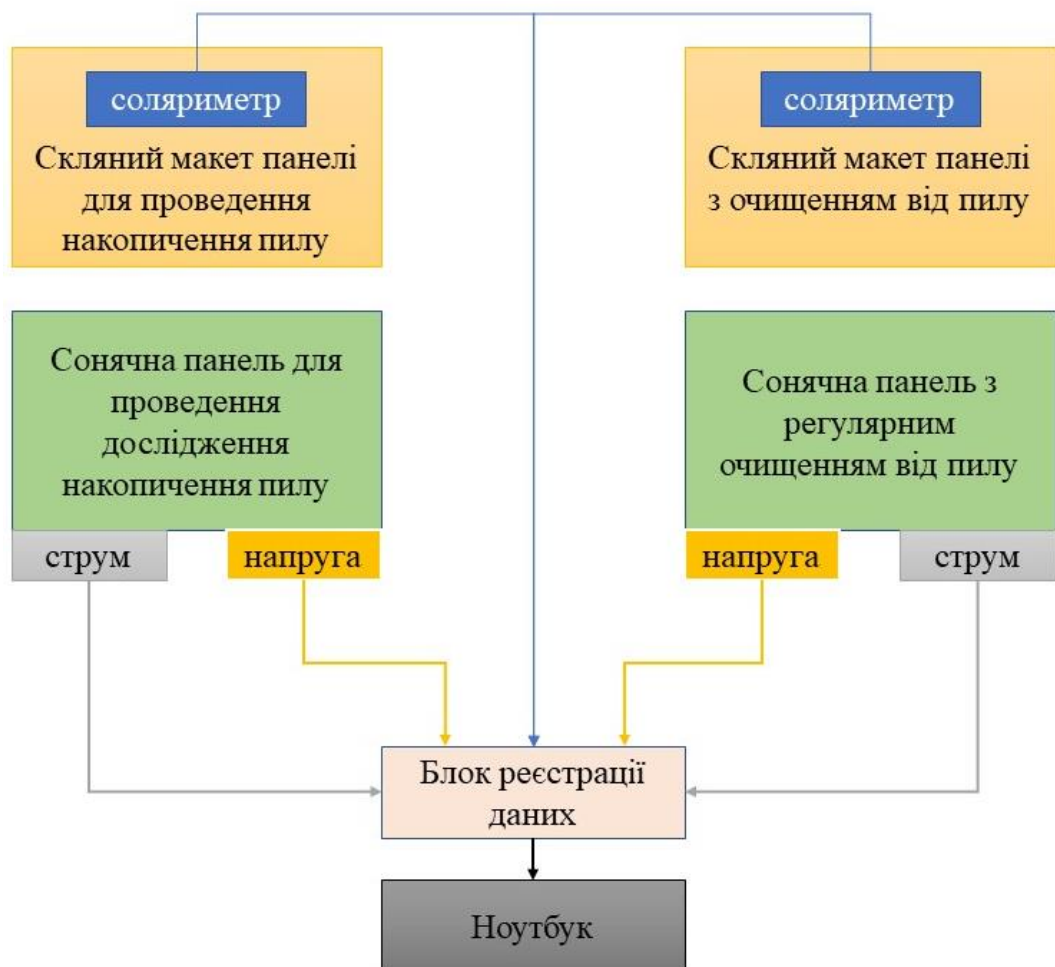


Рисунок 2.5 – Блок-схема загального принципу роботи установки

Робота запропонованої установки (рис. 2.5) полягала в знятті даних рівня освітленості, значення напруги та струму з сонячних панелей та скляного макету панелі.

Необхідно зазначити, що для визначення тижневого, місячного та денного запилення панелей використовувались різні панелі установки (рис. 2.3). А отже різні рівні часових проміжків дають можливість аналізувати різноманітні характеристики накопичення пилу на сонячних панелях з подальшим аналізом їх ефективності роботи. При цьому враховувався оптимальний кут розміщення сонячних панелей для нашого регіону. Всі отримані дані аналізувались з визначенням подальших залежностей впливу рівня забрудненості на ефективність роботи сонячних панелей.

Визначення ефективності роботи сонячних панелей проводилось по вищенаведеній методиці.

Висновки до розділу

Розроблена експериментальна установка дозволяє проводити дослідження запиленості сонячних панелей для різних часових періодів. При цьому необхідно зазначити, що основною характеристикою даної установки є врахування розміщення обладнання в кліматичній зоні м. Суми. А отже є можливість врахування рівня запиленості залежно від ситуації в регіоні. Отримані показники необхідно порівнювати з отриманими даними від еталонної сонячної панелі.

3 РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ВІД ЗАПИЛЕНОСТІ

Отримані данні визначають ефективність роботи сонячних панелей для м. Суми за певні періоди, які характеризуються денним випробуванням, тижневим, місячним. При цьому необхідно зазначити, що отримані данні доцільно представити у графічному вигляді. Кожне часове дослідження пропонується описати відповідно окремими розділами для виконання ефективного аналізу.

3.1 Результати погодинної роботи сонячних панелей

В результаті аналізу бази даних отриманих від добової роботи сонячної панелі було побудовано графік для аналізу вихідної потужності з врахуванням особливостей опромінення (рис. 3.1).

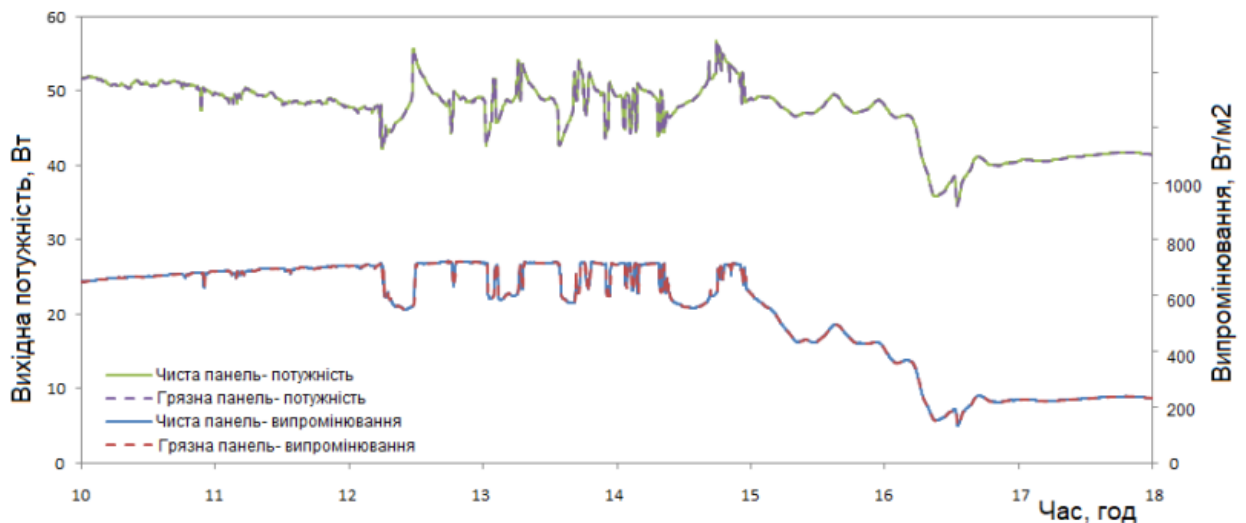


Рисунок 3.1 – Графік погодинної зміни вихідної потужності сонячної панелі та рівня опромінення

Проведення дослідження проводилось в квітні, за умови сприятливих погодних умов та відсутності опадів та туману. Даний тест проводився починаючи з 10 години ранку та закінчуючи 18 годинаю вечора. Протягом даного періоду вимірювання проводились безперервно. При проведенні

дослідження сонячні панелі були запилені, а еталонна була очищена від забруднень.

На графіку (рис. 3.1) зображено одразу дослідження по двох величинах, з врахуванням чистої та забрудненої панелей, що зображені окремими лініями. необхідно зазначити, що отримані результати дослідження фіксують не значне відхилення вихідної потужності запиленої та еталонної панелей. При цьому спостерігається накладання ліній одна на одну. Прогнозованих теоретичних відхилень в години максимального виробітку не було виявлено.

Додатково, отримані данні по випромінюванню від чистого скляного макету сонячної панелі та запиленого. Зазначимо, що два графіки кривої мали фактично однакові зміни без значних стрибків та змін. Закономірності зміни двох величин фактично з графіка є однаковими.

Іншим параметром є продуктивність сонячної панелі. Так з отриманих даних було отримано графік (рис. 3.2).

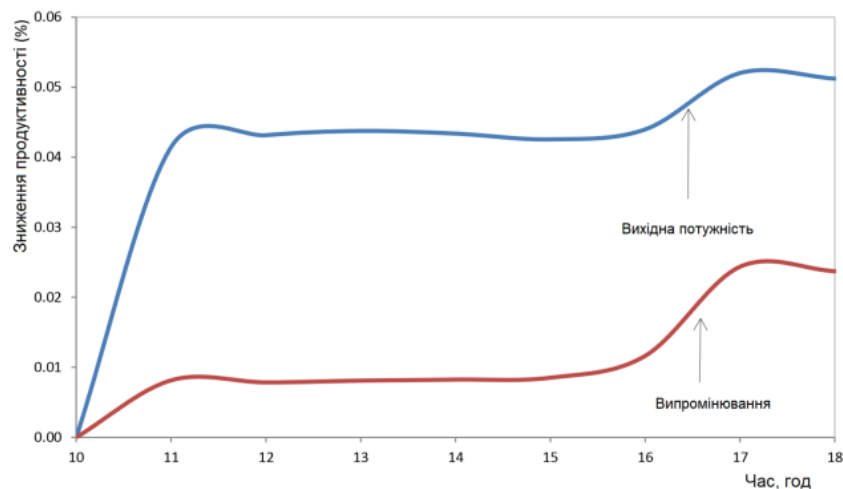


Рисунок 3.2 – Графік погодинної зміни величини продуктивності

В результаті проведених розрахунків та відповідних перетворень було отримано криві графіку погодинної зміни продуктивності сонячних панелей (рис. 3.2). З наведеного графіка можна зробити висновок, що є певні два піки зниження вихідної потужності та випромінювання. Перший пік припадає фактично на 17 годину вечора, тобто на закінчення виробітку електричної енергії з подальшим поступовим зменшенням. Другий пік фактично припадає

приблизно на 11 годину ранку. Необхідно зауважити, що дані піки пов'язані з попереднім графіком (рис. 3.1.).

В даних умовах середнє значення для падіння вихідної потужності становило приблизно 0,04%. За параметром випромінювання падіння є не дуже значним і становить 0,01%. Теоретично, дані криві повинні співпадати але розрив фактично виникає через низьку ефективність фотоелементів сонячної панелі.

Вирішальним параметром в дослідженні є накопичення пилу на сонячній панелі. Результати наведені на графіку (рис. 3.3).

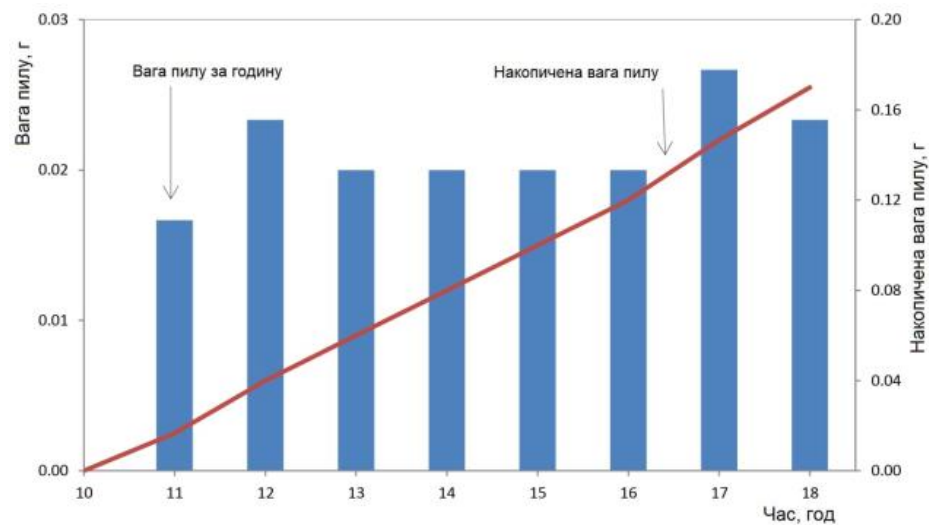


Рисунок 3.3 – Графік погодинного розподілу частинок пилу на сонячній панелі

З графіку (рис. 3.3) необхідно зазначити, що спостерігається певна зміна ваги пилу, що осіла на сонячній панелі. З графіка видно, що є два піки о 12 та 17 годинах. В ці години спостерігалось підвищення вітру, що сприяло підняттю пилу з подальшим його осіданням на панелях. Середнє значення ваги пилу по площі сонячної панелі складає 0,02 г.

Крива, що характеризує накопичення ваги пилу за добу має певний лінійний характер і з кожною годиною дослідження спостерігалось її накопичення. При підсумовуванні погодинних результатів визначення ваги пилу за добу фактично становило 0,17 г.

В якості підведення підсумків погодинних випробувань різних параметрів наведені на рисунку 3.4. Проведення погодинного дослідження проводилось протягом трьох днів з збиранням результатів.

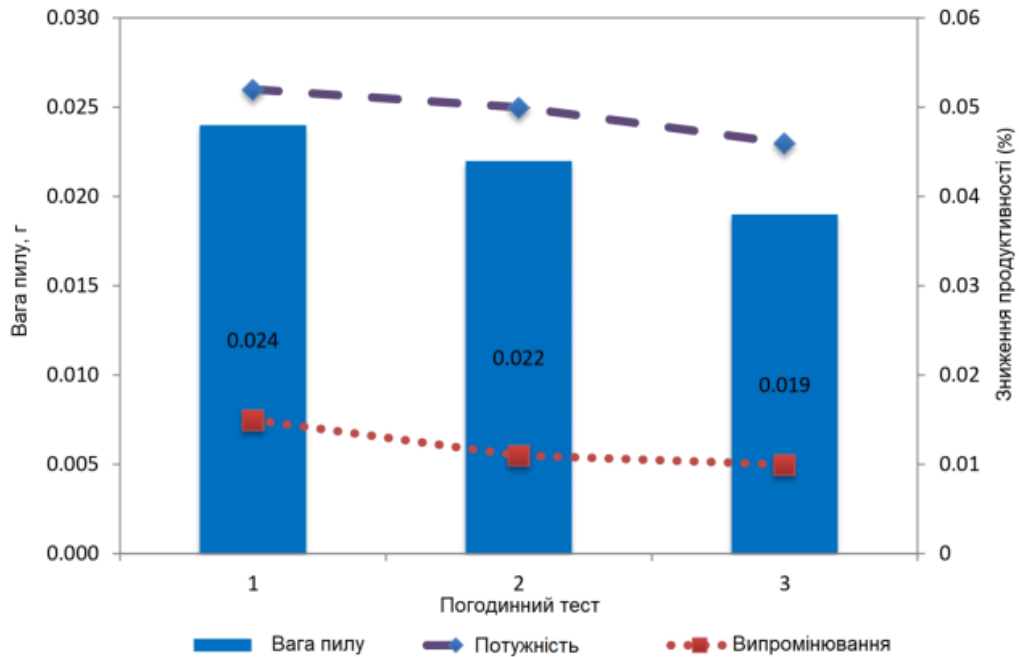


Рисунок 3.4 – Підсумкові результати погодинного випробування

В результаті проведених досліджень спостерігалось певні зміни основних параметрів. Зазначимо, що дослідження проводилось в різні дні, а отже є певна зміна по вазі пилу та освітленості, хоча погодні умови обирались приблизно однакові. При цьому усереднені показники описують результат під номером 2. Виходячи з рисунку 3.4 необхідно зауважити певну залежність між всіма параметрами. Але можна визначити певну лінійну залежність між вихідною потужністю та випромінюванням.

В середньому показник зменшення вихідної потужності склав 0,05%. В той же час зменшення опромінювання в середньому становило 0,01%. А середнє значення маси пилу тримається на рівні 0,022 г.

3.2 Результати щоденного дослідження роботи сонячної панелі

Проведення щоденного дослідження роботи сонячної панелі проводилося в аналогічній послідовності з попереднім дослідженням. Графік денної зміни вихідної потужності наведено на рисунку 3.5. Дослідження також

проводились в квітні з отриманням графіків. Погодні умови під час проведення випробування обиралась також сприятливим та без дощу та туману.

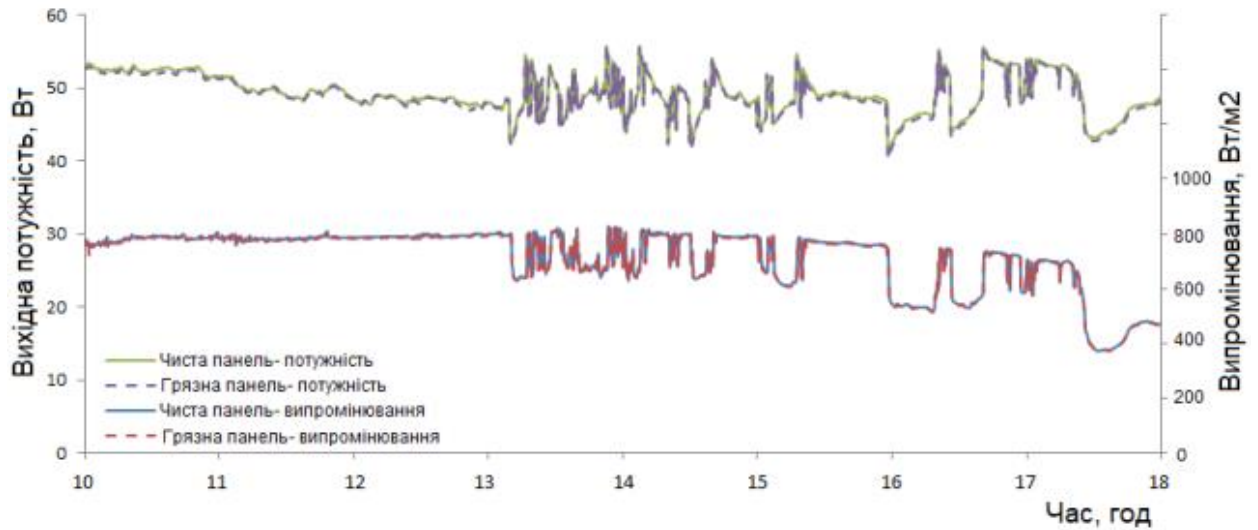


Рисунок 3.5 – Графік денної зміни вихідної потужності сонячної панелі та рівня випромінювання

З рисунку 3.5 можна зробити висновок, що різниця між вихідною потужністю та випромінюванням є незначним, як і в попередньому випадку. Також необхідно зазначити певну залежність в отриманих змінах параметрів.

Графік добової продуктивності наведено на рисунку 3.6. Він також отриманий з розрахунків попереднього графіка.

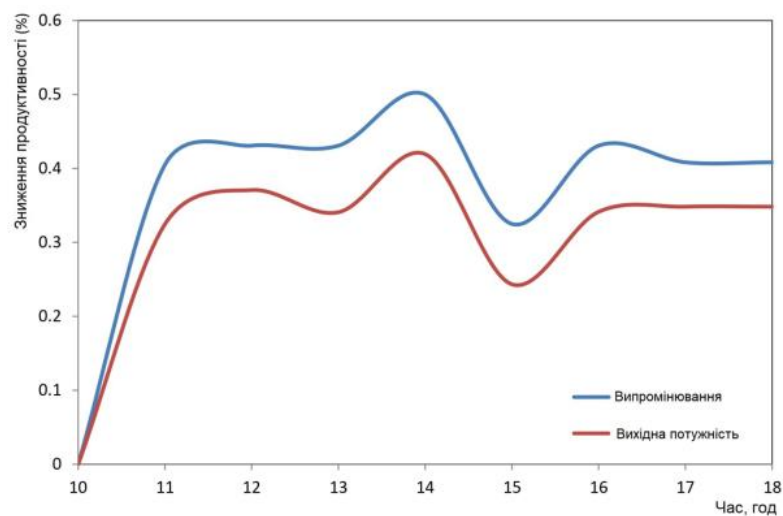


Рисунок 3.6 – Графік добової зміни величини продуктивності

З рисунку 3.6 бачимо, що найбільша величина падіння продуктивності роботи сонячних панелей спостерігалась о 14 годині дня. А найменше падіння потужності припадає на 15 годину. При цьому середнє значення падіння за добу вихідної потужності складає 0,4%, а середня величина падіння значення випромінювання становить 0,35%.

Підсумковим результатом є проведення дослідження протягом трьох днів з зведенням результатів (рис. 3.7).

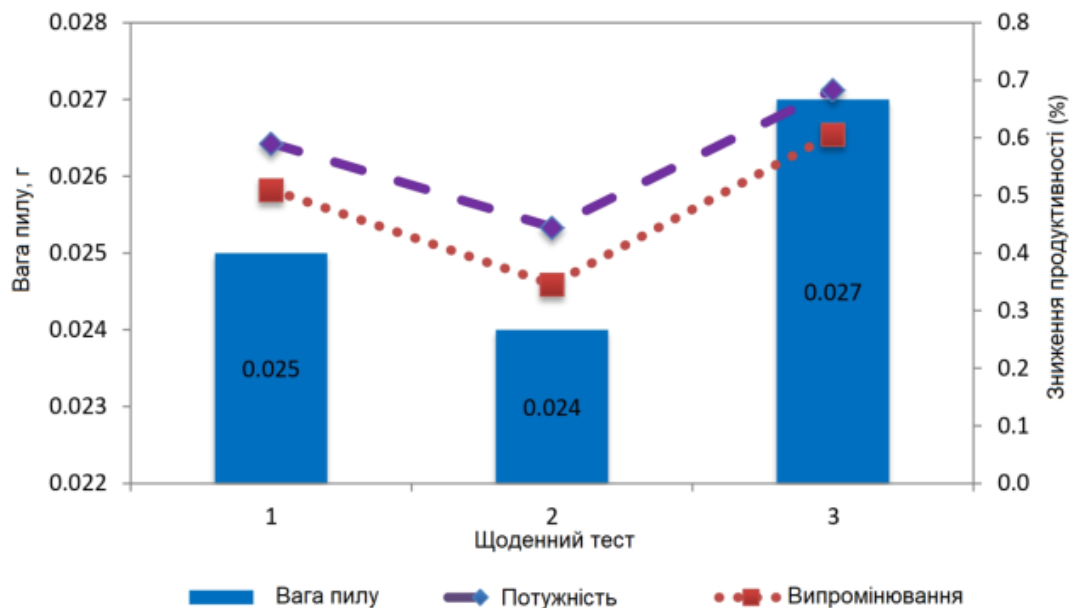


Рисунок 3.7 – Підсумкові результати добового випробування

З рисунку 3.7 можна зробити висновок, що кожного дня спостерігається певна зміна запиленості та інших показників. Найбільша запиленість була отримана за результатами експерименту на третій день. Рівень продуктивності та випромінювання змінювались за однаковими законами.

В загальному випадку середнє значення за три дні становить для вихідної потужності – 0,5 %, для випромінювання – 0,4 %. Дані показники отримані за середнього значення маси пилу на сонячній панелі – 0,025 г.

3.3 Результати дослідження роботи сонячних панелей за тиждень

Випробування роботи сонячних панелей за тижневий термін проводились також в квітні. При цьому погода була фактично сприятливою з

помірною хмарністю та без дощу. Інші умови проведення експериментального дослідження були аналогічні попереднім дослідженням. Показники було знято по результатам тижневого накопичення пилу на сонячних панелях. В результаті було отримано графіки, що зображені нижче.

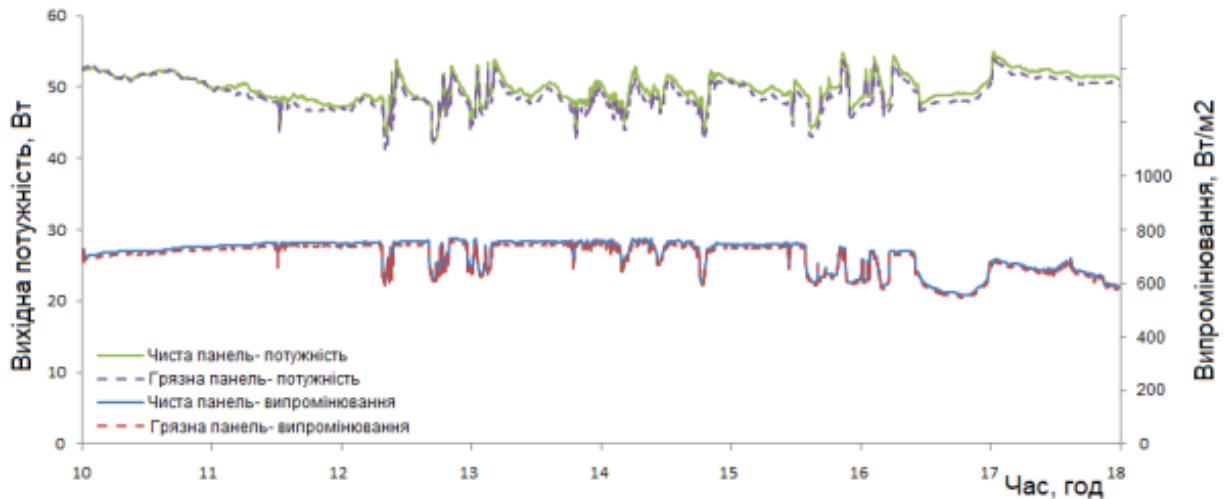


Рисунок 3.8 – Графік тижневої зміни вихідної потужності сонячних панелей та випромінювання

В результаті фактично спостерігається певна залежність в зміні показників випромінювання. Але в даному результаті можна зазначити велике відхилення між ефективністю роботи запиленої панелі з чистою еталонною панеллю. Це може пояснюватись фактично впливом запиленості панелей на їх ефективність роботи.

Зменшення продуктивності роботи сонячних панелей за тиждень наведено на рисунку 3.9. Як і в попередніх випадках криві величин фактично мають однакові зміни та залежності. При цьому виникає більша кількість піків по зменшенню продуктивності. Найменше зменшення продуктивності спостерігалось о 13 годині дня.

В даному випадку середнє значення для вихідної потужності знаходилось на рівні 0,7%, а середнє значення випромінювання – 0,6%.

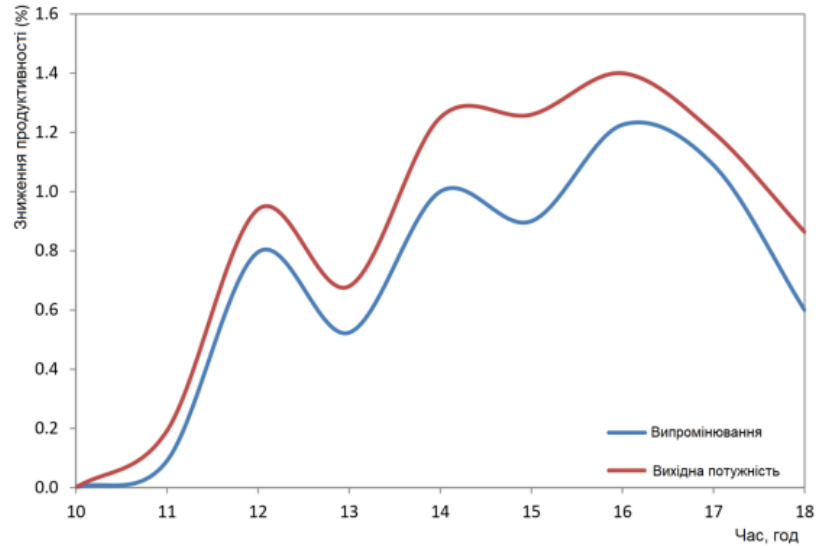


Рисунок 3.9 – Графік зміни величини продуктивності за тиждень

На графіку рисунку 3.9 порівняно з попередніми спостерігається значне коливання продуктивності сонячних панелей, а отже можна сказати, що вплив запиленості починається фактично за тижневий термін роботи сонячних панелей.

В результаті проведення в експерименту за різними тижнями було отримано наступні результати (рис.3.10).

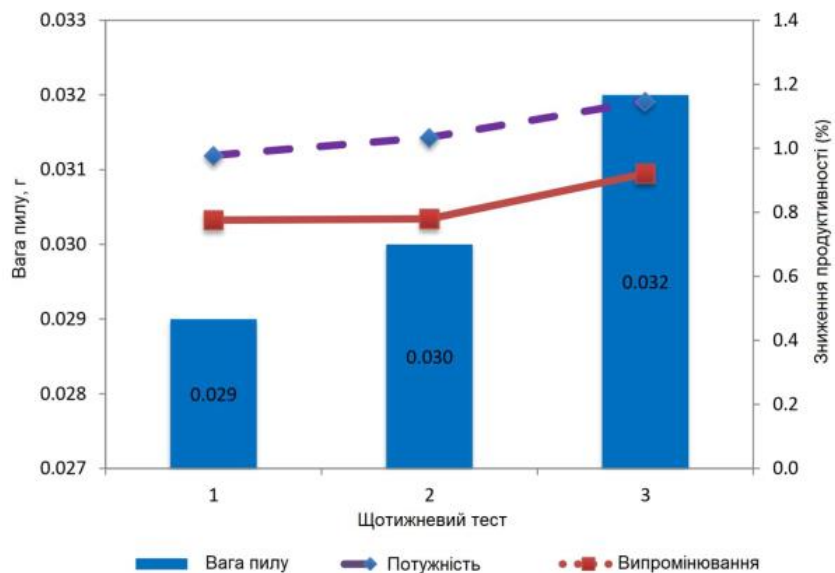


Рисунок 3.10 – Підсумкові результати тижневого випробування

Необхідно зазначити, що проведення випробувань за тиждень виконувались фактично з вибором однакових погодних умов. Найбільше

запиленості, а отже і маси пилу було отримано за третій тиждень проведення випробування. При цьому необхідно зазначити, що в даному випадку більш чіткіше видно особливості впливу маси пилу на ефективність роботи сонячних панелей.

В результаті даного дослідження середній показник зниження вихідної потужності дорівнював 1,1%, а випромінювання – 0,9 %. Середнє значення маси пилу за тижневі випробування становило 0,03 г.

3.4 Результати дослідження роботи сонячних панелей за місяць

Більш цікавим з точки зору накопичення пилу та зменшення ефективності роботи сонячних панелей є дослідження за три місяці. Проведення дослідження ґрунтувалось на попередніх умовах проведення дослідження, але з суттєвою відмінністю в погодних умовах. Погодні умови змінювались протягом місяців по різному від безхмарної сонячної погоди до злив чи навіть затяжних дощів. Основними місяцями проведення дослідження були весняні місяці.

В результаті проведених випробувань було отримано графік зміни значень вихідної потужності сонячних панелей та випромінювання за місяць (рис. 3.11).

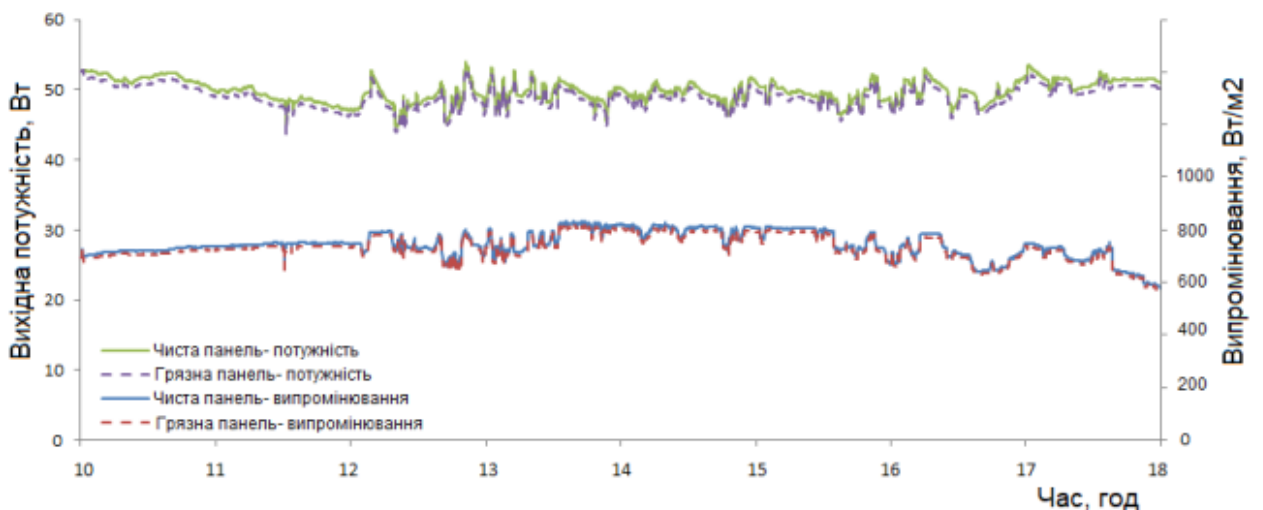


Рисунок 3.11 – Графік зміни значення вихідної потужності сонячної панелі та випромінювання за місяць

В результаті проведених досліджень спостерігається значна різниця між чистою та запиленою сонячною панеллю. Залежність між двома параметрами також прослідковується, як і в попередніх випадках.

При цьому середнє значення для вихідної потужності сонячних панелей становить 50 Вт, а для випромінювання – 720 Вт/м². Отримані показники фактично можна використовувати для проведення розрахунків ефективності роботи сонячних панелей в м. Суми. При цьому необхідно зазначити, що дані показники отримані в середньому для трьох літніх місяців.

Графік зміни величини падіння продуктивність також має залежності попередніх досліджень (рис. 3.12).

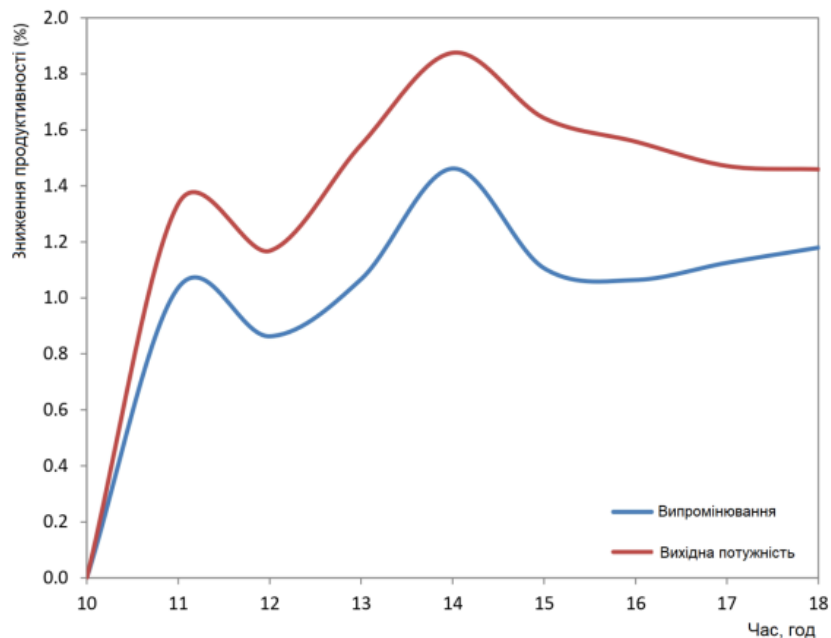


Рисунок 3.12 – Графік зміни величини продуктивності за місяць

На рисунку 3.12 також спостерігаються певні піки в зміні продуктивності сонячних панелей. Найбільшим піковим зменшенням продуктивності є час 14:00, а відповідно найменшим приблизно о півдні.

Середні значення для параметру вихідної потужності становлять – 1,1%, а випромінювання – 0,9%. Подібні дані було отримано за результатами тижневого дослідження роботи сонячних панелей.

Підсумковим етапом випробування є порівняння трьох місяців роботи сонячних панелей. В результаті отримано наступні залежності роботи по місяцям (рис. 3.13).

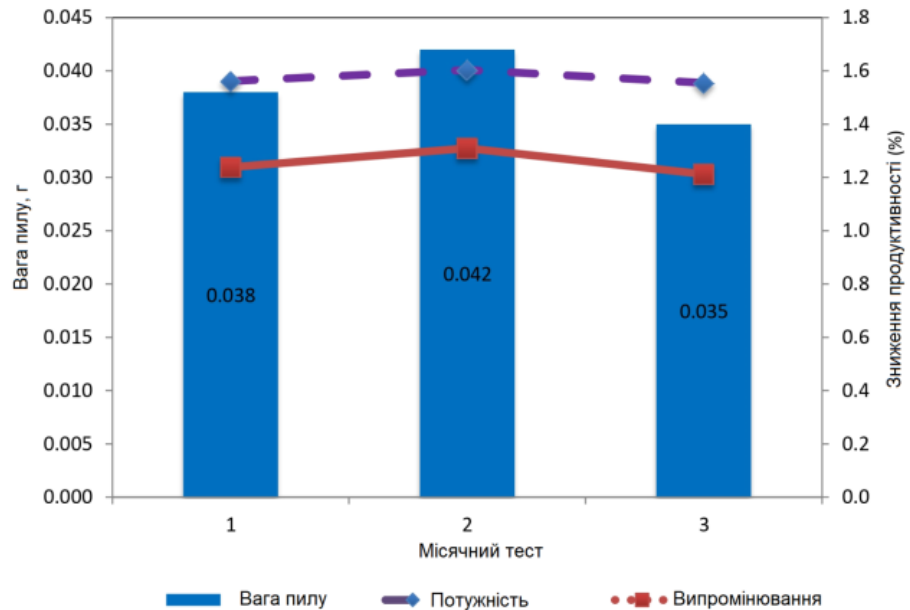


Рисунок 3.13 – Підсумкові результати місячного випробування

В результаті отриманих результатів роботи сонячних панелей за весняні місяці бачимо, що найбільшої маси пилу на сонячних панелях осіло за другий місяць. В цей місяць спостерігалось і найбільше зниження продуктивності роботи сонячних панелей.

За таких умов середнє значення зниження для показника вихідної потужності становить 1,5 %, а для випромінювання – 1,2 %. При цьому середнє значення накопиченої маси пилу становить 0,038 г.

3.5 Зведені дані роботи сонячних панелей

Аналіз всіх вищенаведених показників можна зобразити на графіку (рис. 3.14), що фактично має певну лінійну залежність зменшення вихідної потужності сонячних панелей. Лінійна залежність зменшення вихідної потужності фактично повністю характеризує процеси запиленості сонячних панелей. Необхідно зазначити, що подібні результати мають певний прогнозований характер з можливістю подальшого аналізу та прогнозування ефективності роботи сонячних панелей.

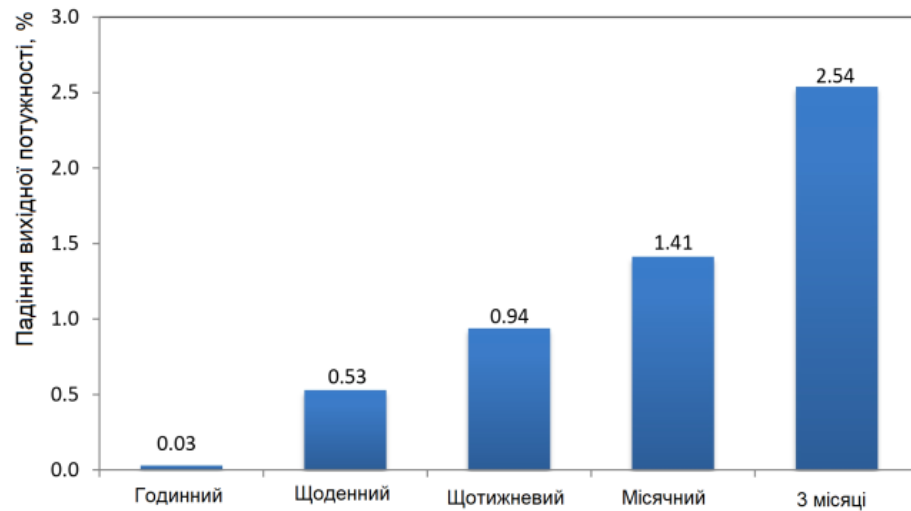


Рисунок 3.14 – Зведені показники зменшення вихідної потужності сонячної панелі

Необхідно зазначити, що данні показники фактично характеризують ефективність роботи сонячних панелей лише в весняні місяці. Прогнозування подібних залежностей для інших пор року потребує досліджень, як і результати за рік.

Слід зазначити, що подібним чином змінювалась і маса пилу накопиченого за ці періоди (рис. 3.15).

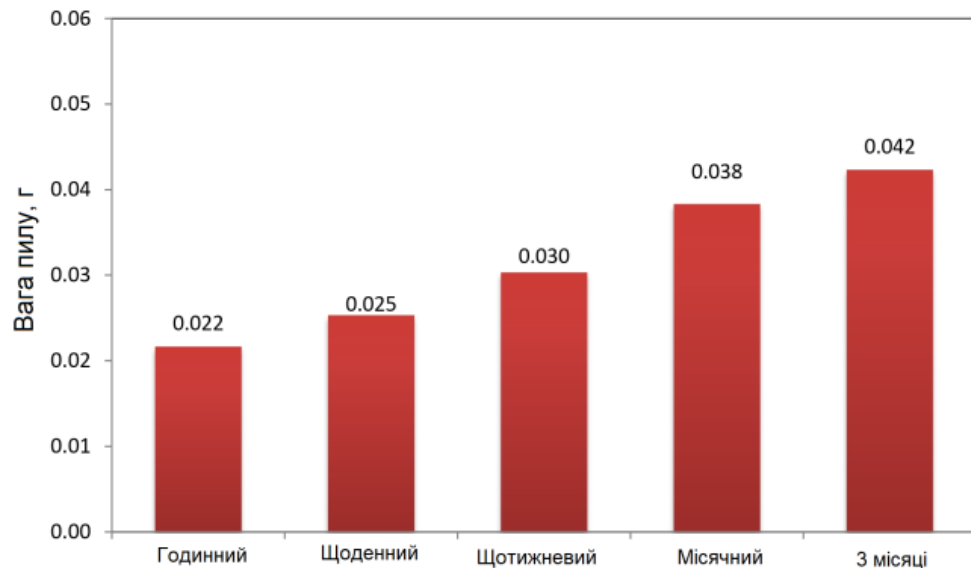


Рисунок 3.15 – Графік середніх значень маси пилу накопиченого на сонячних панелях

Необхідно зазначити, що різниця між накопиченою масою за три місяці та за годину відрізняється фактично в два рази. Це пояснюється тим, що в результаті вітрів, дощу та інших погодних умов спостерігалось здування чи змивання частинок пилу, а отже накопичення фактично виникало за короткий період тиші та злежування частинок.

В результаті отриманих даних по запиленості сонячних панелей можна виконати певного роду річне прогнозування зниження вихідної потужності та ефективності роботи сонячної панелі в цілому (рис. 3.16).

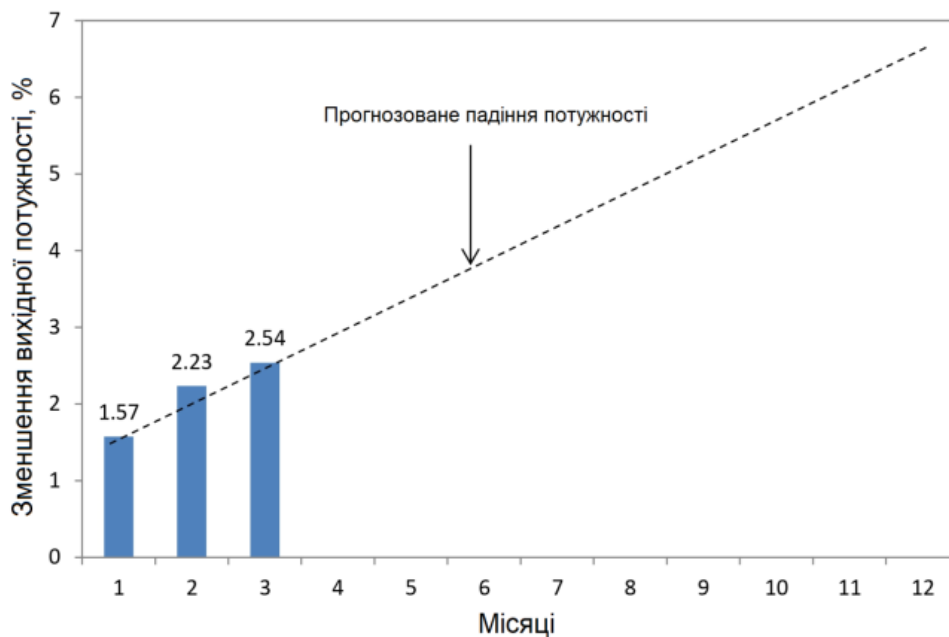


Рисунок 3.16 – Графік прогнозування зміни продуктивності сонячних панелей за рік

Необхідно зазначити, що проведення подібного прогнозування може не мати лінійної залежності, а отже несе суто теоретичний характер. При цьому подальшими дослідженнями необхідно встановити залежність запиленості сонячних панелей та їх продуктивності.

Висновки до розділу

Отримані дані в повній мірі описують залежності накопичення маси частинок пилу на ефективність роботи сонячних панелей. При цьому виникає певна можливість прогнозування на подальші місяці. Але подібне

прогнозування може мати не лінійний характер, адже існують місяці за рік зі значною кількістю опадів, що можуть призводити до очищення сонячних панелей від бруду. Подібні лінійні залежності можуть бути характерні для кліматичних зон зі стабільними кліматичними умовами типу пустель. Подібні залежності для лісостепової зони України необхідно проводити для кожної пори року окремо з визначенням впливу опадів на накопичення маси пилу та ефективність роботи сонячних панелей. Додатково необхідно враховувати особливості електромагнітного накопичення пилу сонячними панелями.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

В роботі основна мета проведення досліджень полягала в визначенні запиленості сонячних панелей на ефективність їх роботи та вироблення ними електричної енергії. Необхідно зауважити, що сонячні панелі, як і все інше електротехнічне обладнання потребує виконання операцій по обслуговуванню.

До подібних операцій належить перевірка особливостей механічних кріплень та ефективності роботи електричних з'єднань. При цьому необхідною умовою проведення технічних операцій контролю технічного стану та проведення технічного обслуговування покладають на фахівців. До них прикладають доволі велику кількість вимог. Відповідно до даних вимог фахівці повинні мати відповідну профільну освіти, розуміти правила техніки безпеки та безпечної експлуатації різноманітних установок.

За умови значного накопичення пилу на сонячних панелях виникає необхідність проведення очищення їх поверхонь. Подібні роботи повинні проводитись під суворим наглядом фахівців. При чому періодичність проведення даних робіт також визначається від ступеню запиленості сонячних панелей.

Як зазначалось в попередніх розділах значний рівень запиленості може призвести до замикання контактів між фотоелементами сонячної панелі, що в результаті може викликати займання з значними пожежами.

Виходячи з цього необхідною умовою є проведення очищення сонячних панелей. Данні операції можуть проводитись в ручну та з використанням спеціальних автоматизованих пристроїв для миття.

До проведення подібних робіт допускаються працівники, що знають особливості будови сонячних панелей та небезпечні фактори, що виникають в результаті їх миття. При цьому всі працівники, що зайняті миттям сонячних панелей повинні мати відповідне забезпечення спеціальним робочим одягом, засобами для миття та необхідним обладнання.

При умові застосування мийок високого тиску для змивання накопиченого шару пилу з сонячних панелей необхідною умовою є безпечна експлуатація даного обладнання. Адже високий тиск може призвести до отримання рваних пошкоджень частин тіла людини чи пошкодження очей результатом відлітання частинок забрудника від сонячної панелі.

Іншим небезпечним фактором при проведенні операцій очищення сонячних панелей є висота проведення робіт. У випадку розміщення сонячних панелей на поверхні ґрунту людина в повній мірі може виконати операції з очищення без застосування допоміжного обладнання типу драбин чи підставок.

У випадку розміщення сонячних панелей на дахах чи на поворотних конструкціях виникає необхідність проведення робіт на певній висоті. При цьому обов'язковою умовою є використання страхувальних пристроїв та засобів, а також виконання робіт з допоміжним працівником для підстраховування.

Найбільш небезпечними в даному випадку є сонячні панелі з поворотним механізмом. При виконанні миття обов'язковою умовою є відключення механізму повороту на час проведення робіт по очищенню сонячних панелей. При цьому найбільш безпечним способом підняття на висоту є використання спеціального підйомного обладнання по типу автопідйомників з люлькою для працівників.

Висновки по розділу

В результаті виконання всіх заходів та правил з охорони праці виникає можливість уникнення травмонебезпечних ситуацій та зменшення рівня травматизму на виробництві при виконання операцій з технічного обслуговування чи очистки сонячних панелей.

5 ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

Для проведення економічного обґрунтування проекту пропонується виконати розгляд побудови сонячної електростанції на середню потужність для більшості існуючих в регіоні. В результаті аналізу виявлено, що найбільша кількість сонячних електростанцій будується на потужність в середньому 10кВ.

Зазначимо, що в результаті розрахунків можна отримати результати окупності вкладень коштів за умови виробітку теоретичної електричної енергії сонячною електростанцією. При цьому необхідно провести розрахунок на можливе погіршення ефективності виробітку електричної енергії сонячними панелями в результаті накопичення пилу. За зниження виробленої потужності пропонується прийняти відсоток 2,54 % за термін в три місяці, що аналізувалися в попередніх розділах.

Основним показником, що враховується при розрахунках є величина капіталовкладень. При цьому з аналізу ринку в середньому для подібної електростанції вартість обладнання становить 880 000 грн. Необхідно зазначити, що більшість обладнання на ринку приходить з Китаю та відповідно є дешевим. Більш дороге німецьке обладнання значно підвищує ціну сонячної електростанції, а в умовах військового стану є фактично не вигідним та не рентабельним. Отже було прийнято обладнання близьке до середнього для проведення аналізу з відповідністю ціна – якість.

Знаючи основну вартість електрообладнання сонячної панелі необхідно врахувати показники витрат на проведення монтажних, налагоджувальних та інших видів робіт.

Загальні затрати на закупівлю обладнання та всі роботи можна визначити за формулою:

$$K_{\text{пр}} = K_{\text{об}} + Z_{\text{тзс}} + Z_{\text{м}} + Z_{\text{н}} \quad (5.1)$$

де $K_{об}$ – показник вартості обладнання для СЕС, грн;

$Z_{тзс}$ – транспортні затрати та затрати пов'язані з зберіганням обладнання СЕС, грн;

$Z_{м}$ – затрати на монтаж СЕС на об'єкті, грн;

$Z_{н}$ – витрати пов'язані з налагодженням обладнання СЕС, грн.

Всі вищенаведені затрати пов'язані з роботами можна визначити з даного рівняння:

$$Z = \sum(C \cdot a \cdot t) \cdot K_d \cdot K_{сз} \cdot K_{пр} \quad (5.2)$$

де C – кількість робітників, задіяних на роботах, чол.;

a – величина тарифної ставки на виконанні робіт, грн/год;

K_d – коефіцієнти врахування величини доплат, $K_d = 1,1$;

$K_{сз}$ – коефіцієнт врахування витрат на соціальні заходи $K_{сз} = 1,22$;

$K_{пр}$ – коефіцієнт що враховує затрати при виконанні додаткових робіт, $K_{пр} = 1,05$.

Необхідною умовою є розуміння кількості працівників та часу виконання кожного типу робіт. На монтажних роботах задіяно 4 чол., з проведенням робіт в середньому за час 40 год. При виконанні налагоджувальних робіт задіяно 2 чол., а час проведення робіт – 8 год. Вартість проведення транспортних та зберігальних робіт можна прийняти рівною 20000 грн.

Виходячи з отриманих даних проведемо розрахунок всіх видів робіт:

- монтаж:

$$Z_{м} = 4 \cdot 30 \cdot 40 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 6\,764 \text{ грн}$$

- налагодження:

$$Z_{н} = 2 \cdot 52 \cdot 8 \cdot 1,1 \cdot 1,22 \cdot 1,05 = 1\,173 \text{ грн}$$

Загальні затрати на закупівлю обладнання та всі роботи в результаті складуть:

$$K_{\text{пр}} = 880000 + 20000 + 1173 + 6764 = 907\,937 \text{ грн}$$

Знаючи необхідні затрати коштів та знаючи вироблену та спожиту енергію можна визначити значення терміну окупності з виразу:

$$T_o = \frac{K_{\text{пр}}}{(E_{\text{Г}} - E_{\text{П}})C_{\text{зт}}} \quad (5.3)$$

де $E_{\text{Г}}$ – річне значення виробленої електричної енергії від СЕС;

$E_{\text{П}}$ – річне значення спожитої електричної енергії споживачем де встановлена СЕС;

$C_{\text{зт}}$ – вартість електричної енергії відповідно до зеленого тарифу 4,81 грн/кВт·год.

За величину річного споживання пропонується обрати середнє значення для споживачів з подібними СЕС в м. Суми – 5 400 кВт·год / рік. При цьому середнє значення виробітку електричної енергії за рік за умови постійного обслуговування та очистки сонячних панелей складає в середньому 18 000 кВт·год / рік. Додатково пропонується визначити термін окупності сонячних панелей за умови зменшення їх продуктивності на 2,54%, в результаті середнє значення виробленої електричної енергії може становити – 17 543 кВт·год / рік.

Відповідно до наведених даних проведемо розрахунки терміну окупності:

- для СЕС, що постійно очищується:

$$T_o = \frac{907937}{(18\,000 - 5400) \cdot 4,81} = 14,98 \text{ років}$$

- для запиленої СЕС:

$$T_o = \frac{907937}{(17543 - 5400) \cdot 4,81} = 15,6 \text{років}$$

Отже в результаті бачимо зростання терміну окупності СЕС з накопиченням пилу та зменшенням відповідно вихідної потужності на 0,62 роки.

Також пропонується для порівняння провести визначення терміну окупності для СЕС, без споживання електричної енергії. Тобто розглянемо варіант повного продажу виробленої електричної енергії в мережу:

- для СЕС, що постійно очищується:

$$T_o = \frac{907937}{18000 \cdot 4,81} = 10,5 \text{років}$$

- для запиленої СЕС:

$$T_o = \frac{907937}{17543 \cdot 4,81} = 10,8 \text{років}$$

Отже, як бачимо за умови повного продажу електричної енергії в мережу від СЕС спостерігається скорочення терміну окупності для першого варіанту з очищенням панелей на 4,48 роки, а для варіанту з запиленими сонячними панелями на 4,8 роки. Отримані данні пропонується звести до таблиці 5.1.

Таблиця 5.1 – Техніко економічне обґрунтуванням СЕС

№ з/п	Показник	Значення
1	2	3
1	Загальні затрати на закупівлю обладнання та всі роботи, грн	907937
2	Кількість виробленої електричної енергії СЕС, кВтгод / рік	18000

1	2	3
3	Зменшення продуктивності СЕС в результаті запиленості, %	2,54
4	Кількість виробленої електричної енергії СЕС з врахуванням запиленості панелей, кВт·год / рік	17543
5	Кількість електричної енергії спожитої за рік споживачем, кВт·год / рік	5400
6	Термін окупності капіталовкладень за умови споживання електричної енергії та проведення робіт по очищенню сонячних панелей, років	14,98
7	Термін окупності капіталовкладень за умови споживання електричної енергії та запиленості сонячних панелей, років	15,6
8	Термін окупності капіталовкладень за умови повного продажу електричної енергії в електричну мережу та проведення робіт по очищенню сонячних панелей, років	10,5
9	Термін окупності капіталовкладень за умови повного продажу електричної енергії в електричну мережу та запиленості сонячних панелей, років	10,8

Висновки до розділу

Проведене економічне обґрунтування використання та будівництва сонячної електростанції дає доволі цікаві результати. За умови проведення певного обслуговування та проведення періодичного очищення сонячних панелей від забруднення термін окупності значно зменшується через підвищення в виробітку електричної енергії. При цьому за умови забрудненості сонячних панелей виникає значне зменшення виробітку електричної енергії а отже і підвищення терміну окупності.

ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

1. В результаті проведеного аналізу доцільно зазначити, що проблемою вивчення запиленості сонячних панелей займалось доволі велика кількість вчених в різних регіонах планети. При цьому всі вони зазначають ефекти зменшення ефективності роботи сонячних панелей. Виходячи з цього, необхідною умовою використання сонячних панелей є дослідження особливостей запилення сонячних панелей для кожного регіону використання окремо з врахуванням складу пилових частинок та їх розміру та форми.

2. Розроблена експериментальна установка дозволяє проводити дослідження запиленості сонячних панелей для різних часових періодів. При цьому необхідно зазначити, що основною характеристикою даної установки є врахування розміщення обладнання в кліматичній зоні м. Суми. А отже є можливість врахування рівня запиленості залежно від ситуації в регіоні. Отримані показники необхідно порівнювати з отриманими даними від еталонної сонячної панелі.

3. Отримані дані в повній мірі описують залежності накопичення маси частинок пилу на ефективність роботи сонячних панелей. При цьому виникає певна можливість прогнозування на подальші місяці. Але подібне прогнозування може мати не лінійний характер, адже існують місяці за рік зі значною кількістю опадів, що можуть призводити до очищення сонячних панелей від бруду. Подібні лінійні залежності можуть бути характерні для кліматичних зон зі стабільними кліматичними умовами типу пустель. Подібні залежності для лісостепової зони України необхідно проводити для кожної пори року окремо з визначенням впливу опадів на накопичення маси пилу та ефективність роботи сонячних панелей. Додатково необхідно враховувати особливості електромагнітного накопичення пилу сонячними панелями.

4. В результаті виконання всіх заходів та правил з охорони праці виникає можливість уникнення травмонебезпечних ситуацій та зменшення рівня травматизму на виробництві при виконання операцій з технічного обслуговування чи очистки сонячних панелей.

5. Проведене економічне обґрунтування використання та будівництва сонячної електростанції дає доволі цікаві результати. За умови проведення певного обслуговування та проведення періодичного очищення сонячних панелей від забруднення термін окупності значно зменшується через підвищення в виробітку електричної енергії. При цьому за умови забрудненості сонячних панелей виникає значне зменшення виробітку електричної енергії а отже і підвищення терміну окупності.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. N. Shakhovska, M. Medykovskyu, R. Melnyk та N. Kryvinska, «Optimization of the Active Composition of the Wind Farm Using Genetic Algorithms,» Tech Science Press (TSP), т. 69, № 3, pp. 3065-3078, 2021.
2. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Modeling of the energy-dynamic modes of the wind farm with the battery energy storage system (BESS),» Journal of Computational Problems of Electrical Engineering, т. 11, № 1, 2021.
3. М. Медиковський, Р. Мельник та М. Дубчак, «Нейромережевий метод визначення активного складу вітрової електричної станції,» Вісник Національного університету «Львівська політехніка» «Інформаційні системи та мережі», т. 8, р. 55 – 64, 2020.
4. M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Processing of data on the intensity of solar radiation for solar power plant management systems,» Econtechmod. An international quarterly journal, т. 7, № 3, pp. 33 - 38, 2018.
5. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyu, R. Melnyk та M. Dilai, «Optimization of wind farm structure control,» Advances in Intelligent Systems and Computing CSIT, т. 689, pp. 320-333, 2017.
6. V. Kravchyshyn, M. Medykovskyu та R. Melnyk, «Modification of Dynamic Programming Method in Determining Active Composition of Wind Power Stations,» Computational problems of electrical engineering, № Vol. 6, pp. 83-90, 2016.
7. Р. Мельник, «Аналіз алгоритмів оцінювання ефективності сонячних електростанцій,» в 10 Міжнародна науково практична конференція «Нетрадиційні і поновлювальні джерела енергії як альтернатива первинним джерелам енергії в регіоні», м. Львів, Україна, 2019.
8. Г. Шмідт, А. Конеченков, М. Ільчук та М. Гріцишина, «Вітроенергетичний сектор України 2018. Огляд ринку,» Українська вітроенергетична асоціація, 2019.

9. С. Кудря, Л. Яценко та Г. Душина, Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України, Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2008.

10. О. Кармазін, Балансова надійність електроенергетичних систем в умовах зростання частки відновлюваної енергетики. Автореферат, Київ: Національної академії наук України, 2019.

11. В. Павловський, Л. Лук'яненко, І. Гончаренко та А. Захаров, «Обмеження потужності відновлюваних джерел енергії за умови приєднання до електричної мережі,» Праці ІЕД НАНУ, № 43, pp. 18-23, 2016.

12. П. Лежнюк, В. Комар та С. Кравчук, Балансова надійність електричної мережі з фотоелектричними станціями: монографія, Вінниця: ВНТУ, 2018.

13. І. Щур та В. Клишко, «Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта. Електромеханічні і енергозберігаючі системи,» Електромеханічні і енергозберігаючі системи, № 2, pp. 92-100, 2014.

14. М. Кузнєцов, О. Лисенко та О. Мельник, «Особливості стохастичної оптимізації гібридних енергосистем на базі ВДЕ,» Відновлювана енергетика, № 2, pp. 6-15, 2018.

15. М. Кузнєцов та О. Лисенко, «Оцінка балансу потужності комбінованих енергосистем,» Відновлювана енергетика, № 4, pp. 6-14, 2018.

16. М. Стаднік, Д. Проценко та С. Бабій, «Гібридне електропостачання з 161 використанням відновлюваних джерел енергії,» Вісник Вінницького політехнічного інституту, № 4, pp. 32-41, 2020.

17. О. Болдирєв, А. Квицинський, М. Редін, М. Клопот та М. Головатюк, «Вимоги до вітрових та сонячних електростанцій при їх роботі паралельно з об'єднаною енергетичною системою України,» 2019. [Онлайновий]. Available: https://ua.energy/wp-content/uploads/2019/06/SOUNEK-341.001_2019.pdf. [Дата звернення: 06.06.2021].

18. М. Кулик та О. Згуровець, «Можливості використання великих накопичувачів електроенергії для стабілізації частоти в об'єднаних

енергосистемах з потужними сонячними електростанціями,» Відновлювана енергетика, № 3, р. 6–14, 2018.

19. А. Барило, М. Бенменні, В. Бурдюк, М. Бурдюк та П. Васюк, Відроджувальні джерела енергії. Монографія, Київ, 2020.

20. В. Кравчишин, Інтелектуалізація управління комплексною системою генерації електричної енергії, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2019.

21. О. Ємець та Л. Колечкіна, Ємець О.О. Задачі комбінаторної оптимізації з дробово-лінійними цільовими функціями: Монографія, Київ: Наук. думка., 2005.

22. М. Медиковский та О. Шуневич, «Виконання цілочисельного програмування для визначення складу вітрової електростанції,» Збірник 164 наукових праць Ін-ту проблем моделювання в енергетиці ім. Г.Є. Пухова НАН України, т. 57, рр. 230-233, 2010.

23. О. Шуневич, Інформаційна технологія формування динамічного складу вітрової електростанції, Львів: Національний університет «Львівська політехніка», 2013.

24. М. О. Medykovskyy, V. M. Teslyuk та О. В. Shunevych, «Optimization of wind power stations structure by the dynamic programming method,» Актуальні проблеми економіки, № 2, рр. 508-515, 2014.

25. А. Кожухівський та О. Намофілова, «Застосування генетичних алгоритмів у задачі про укладання ранця,» АСУ и приборы автоматики, № 173, рр. 43-47, 2015. 165

26. М. Кузнєцов та О. Лисенко, «Можливості короткотермінового прогнозування сонячної енергії,» Відновлювана енергетика, № 1, рр. 25- 32, 2017.

27. М. Бик, С. Фроленкова, О. Букет та Г. Васильєв, «Технічна електрохімія. Частина 2. Хімічні джерела струму,» КПІ ім. Ігоря Сікорського, Київ, 2018.