

**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 факторів недовідпуску електроенергії на сонячних електростанціях»

Виконав

---

(підпис)

Лельоткін В.М.  
(прізвище, ініціали)

Група

ЕТЕС 2301-1м

(Науковий) керівник:

---

(підпис)

Рясна О.В.  
(прізвище, ініціали)

Суми – 2025

**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**

Лельоткіну Вячеславу Миколайовичу

(прізвище, ім'я та по батькові)

**1. Тема роботи:** Дослідження факторів недовідпуску електроенергії на сонячних електростанціях

керівник роботи: Рясна Ольга Василівна, старший викладач

(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** «18» березня 2025 р.

**3. Вихідні дані до роботи** узагальнюючі показники стану відновлюваної енергетики, статичні дані про відмови обладнання на фотоелектричних станціях України; показники рівня експлуатаційної ефективності та надійності станцій.

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

1 Сонячна енергія на теренах України та в світі.

2 Обладнання.

3 Методологія оцінки втрат електроенергії через відмови обладнання на ФЕС.

4 Охорона праці – обслуговування та експлуатація сонячних електростанцій.

5 Екологія

6 Обґрунтування економічної ефективності.

Висновки.

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 13.09.2024 р.	
2	Складання плану роботи	до 04.10.2024 р.	
3	Написання вступу	до 11.10.2024 р.	
4	Підготовка розділу «Розділ 1» та «Розділ 2»	до 18.10.2024 р.	
5	Підготовка розділу «Розділ 3»	до 01.11.2024 р.	
6	Підготовка розділу «Розділ 4» та «Розділ 5»	до 29.11.2024 р.	
7	Підготовка розділу «Розділ 6»	до 10.01.2025 р.	
8	Написання висновків	до 07.03.2025 р.	
9	Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету	до 10.03.2025 р.	
10	Подання роботи на рецензування	до 14.03.2025 р.	
11	Подання до попереднього захисту	до 19.03.2025 р.	

**Здобувач вищої освіти**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Лельоткін В.М.)**

(прізвище, ініціали)

**(Науковий) керівник  
дипломної роботи**

\_\_\_\_\_

(підпис)

**(Рясна О.В.)**

(прізвище, ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Лельоткін В.М. Дослідження факторів недовідпуску електроенергії на сонячних електростанціях. ОП «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет. Суми. 2025.

До складу магістерської роботи входить вступ, 6 розділів, список використаної літератури. Роботу викладено на 65 аркушах друкованого тексту та дев'яти рисунків.

Мета дипломної роботи присвячена дослідженню факторів, що спричиняють недовідпуск електроенергії на сонячних електростанціях (СЕС). У роботі проаналізовано основні причини втрат електроенергії, зокрема технічні, природні та експлуатаційні аспекти, які впливають на ефективність роботи СЕС.

На основі викладеної тематики були представлені такі основні аспекти:

- провести комплексний аналіз сучасних підходів до зменшення недовідпуску електроенергії;
- детально розглянути методи оптимізації роботи сонячних електростанцій;
- запропонувати рекомендації щодо підвищення їх ефективності.

У рамках дослідження було проаналізовано статистику по даних енергетичних структур про різні види відмов різного обладнання на 45 фотоелектричних станціях України. Проведено розрахунки втрат електроенергії, спричинених простоями обладнання, що дозволило визначити рівень експлуатаційної ефективності станцій. Для кожної станції було обчислено параметри надійності: MTTR (середній час відновлення) та MTBF (середній час безвідмовної роботи). Ці показники стали важливими для оцінки якості технічного обслуговування та прогнозування надійності роботи систем у майбутньому.

У ході дослідження були ідентифіковані основні причини відмов інверторів під час їх експлуатації. Найбільш поширеними проблемами стали: вихід з ладу вентиляторів охолодження, що призводить до перегріву обладнання; несправності плати вимірювань та компонентів контуру перетворення енергії, а також невідповідність параметрів якості електромережі встановленим стандартам. Зазначені фактори не лише впливають на стабільність роботи інверторів, але й підвищують ризик аварійних відключень.

Особливу увагу було приділено аналізу несправностей, що виникають під час пуску інверторів. У цей момент найчастіше траплялися відмови через збої в роботі плати вимірювань, що ускладнює процес запуску та потребує додаткових заходів з технічного обслуговування.

На основі зібраних даних вдалося встановити кореляцію між середнім часом ремонту інверторів та типом їх відмов, зокрема при збоях під час запуску та відключеннях під час роботи. Аналіз показав, що середня тривалість відновлення обладнання суттєво залежить від моделі інвертора, що може бути пов'язано з особливостями конструкції, доступністю запасних частин та складністю технічного обслуговування.

Детально розглянуті основні заходи, які підтверджені нормативними документами та стандартами з охорони праці при виконанні монтажу, обслуговуванні та ремонту на сонячних (фотоелектричних) станціях.

Прораховані результатні показники економічної частини, що слугує для автоматизації втратних розрахунків та їх врахування щодо попередньо умовно прогнозованих показників виробітку електроенергії, витрати на які складають 560 тис. грн та окупаємість 1,5 місяців.

Результати дослідження можуть бути використані для вдосконалення експлуатації СЕС, що сприятиме зменшенню втрат електроенергії та підвищенню загальної продуктивності інсоляції сонячних станцій.

**Ключові слова:** сонячні (фотоелектричні) станції, недовідпуск електроенергії, втрати енергії, оптимізація, ефективність роботи, заходи з охорони праці, екологічні аспекти, економічна ефективність.

## ABSTRACT

Lelyotkin V.M. Research of factors of undersupply of electricity at solar power plants. OP "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University. Sumy. 2025.

The master's thesis includes an introduction, 6 chapters, a list of used literature. The work is presented on \_\_\_ sheets of printed text and nine figures.

The purpose of the thesis is devoted to the study of factors that cause undersupply of electricity at solar power plants (SPPs). The work analyzes the main causes of electricity losses, in particular technical, natural and operational aspects that affect the efficiency of SPPs.

Based on the presented topic, the following main aspects were presented:

- conduct a comprehensive analysis of modern approaches to reducing undersupply of electricity;
- consider in detail methods for optimizing the operation of solar power plants;
- to offer recommendations for improving their efficiency.

As part of the study, statistics on data from energy structures on various types of failures of various equipment at 45 photovoltaic stations in Ukraine were analyzed. Calculations of electricity losses caused by equipment downtime were carried out, which made it possible to determine the level of operational efficiency of the stations. Reliability parameters were calculated for each station: MTTR (mean time to recovery) and MTBF (mean time between failures). These indicators have become important for assessing the quality of technical maintenance and predicting the reliability of systems in the future.

During the study, the main causes of inverter failures during their operation were identified. The most common problems were: failure of cooling fans, which leads to equipment overheating; malfunctions of the measurement board and components of the energy conversion circuit, as well as non-compliance of the power grid quality parameters with established standards. These factors not only affect the stability of inverter operation, but also increase the risk of emergency shutdowns.

Particular attention was paid to the analysis of faults that occur during the start-up of inverters. At this point, failures most often occurred due to failures in the operation of the measurement board, which complicates the start-up process and requires additional maintenance measures.

Based on the collected data, it was possible to establish a correlation between the average repair time of inverters and the type of their failures, in particular, during failures during start-up and shutdowns during operation. The analysis showed that the average duration of equipment restoration significantly depends on the inverter model, which may be associated with design features, availability of spare parts and complexity of maintenance.

The main measures confirmed by regulatory documents and standards on labor protection during installation, maintenance and repair at solar (photovoltaic) stations were considered in detail.

The results of the economic part were calculated, which serves to automate loss calculations and take them into account in relation to previously conditionally predicted indicators of electricity generation, the costs of which amount to 560 thousand. UAH and payback period of 1.5 months.

The results of the study can be used to improve the operation of solar power plants, which will help reduce electricity losses and increase the overall insolation productivity of solar power plants.

**Keywords:** solar (photovoltaic) plants, electricity undersupply, energy losses, optimization, work efficiency, occupational safety measures, environmental aspects, economic efficiency.

## ЗМІСТ

	<i>Стор.</i>
ВСТУП.....	10
1 Сонячна енергія на теренах України та в світі.....	11
1.1 Потенціал сонячної енергетики.....	11
1.2 Можливості використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії в Україні.....	13
1.3 Стан розвитку сонячної енергетики в Україні.....	14
Висновки.....	15
2. Обладнання .....	16
2.1 Сонячні панелі.....	16
2.2 Акумулятори.....	17
2.3 Інвертор.....	18
Висновки .....	21
3. Методологія оцінки втрат електроенергії через відмови .....	22
обладнання на ФЕС.....	
3.1 Надійність та придатність ФЕС.....	24
3.2 Кількість відключень та коефіцієнти відмов.....	25
3.3 Середній час між відключеннями, час ремонту та надійність .. фотоелектричної установки.....	27
Висновки до даного розділу.....	28
4. Охорона праці - обслуговування та експлуатація сонячних .....	
електростанцій.....	30
4.1. Узагальнені вимоги техніки безпеки.....	30
4.2 Техніка безпеки під час встановлення та використання .....	
сонячних батарей.....	32
4.2.1. Вимоги при монтажних роботах та експлуатаційних заходах ... електрообладнання.....	33
4.3. Технічна безпека під час установки та експлуатації інверторів (перетворювачів напруги) .....	34
4.4. Заходи по забезпеченню пожежної безпеки електричного .....	

обладнання.....	36
4.5. Основні питання по гігієні праці та санітарії на виробництві...	39
4.5.1. Мікрокліматичні вимоги.....	39
4.5.2. Склад повітряного середовища.....	40
4.5.3. Виробниче освітлення.....	40
Висновки до розділу 4.....	41
5. Екологія.....	42
5.1 Інновації для підвищення екологічності .....	43
5.2 Соціально-економічні переваги для довкілля.....	43
6. Обґрунтування економічної ефективності.....	45
6.1 Капітальні вкладення.....	45
6.2. Експлуатаційні затрати.....	46
6.3. Амортизація.....	46
6.4 Обчислення заробітної плати персоналу.....	47
6.5 Обчислення поточного ремонту.....	47
6.6 Оцінка економічної ефективності роботи.....	50
Висновок.....	51
Висновки.....	53
Список використаної літератури.....	55
Додаток А.....	58
Додаток Б.....	61

## ВСТУП

Україна має великі можливості у галузі відновлюваної енергетики, що може сприяти покращенню торгового балансу, створенню робочих місць та активізації економічної діяльності. Це особливо важливо в умовах, коли країна стикається з серйозними економічними викликами, такими як зростання залежності від імпорту енергоресурсів та нагальна потреба модернізувати застарілу інфраструктуру енергетичного сектору. Розвиток відновлюваної енергетики також допоможе досягти ключових політичних цілей - зменшити залежність від імпорту природного газу та урізноманітнити джерела енергопостачання, що підвищить енергетичну безпеку країни.

Зростання встановлених потужностей у відновлюваній енергетиці значною мірою обумовлене вдосконаленням фотоелектричних модулів (ФЕМ) та підвищенням їх ефективності. Нарощування виробничих потужностей і оптимізація виробничих процесів дозволили знизити витрати на виробництво ФЕМ та зменшити їхню собівартість, що зробило сонячну енергетику більш доступною для споживачів.

Водночас зі зростанням встановленої потужності сонячних електростанцій (ФЕС) та розвитком промислових мережевих станцій постала серйозна проблема збоїв у роботі обладнання, що призводить до втрат енергії та, як наслідок, економічних збитків. З метою подолання цих викликів активно ведуться дослідження та впроваджуються ініціативи, серед яких – створення Міжнародної робочої групи із забезпечення якості фотоелектричної безпеки (International Photovoltaic Quality Assurance Task Force, PVQAT). Ця група, заснована у 2011 році, зосереджена на виявленні причин енергетичних втрат, діагностиці несправностей на ФЕС, розробці заходів для їх запобігання та організації обміну результатами випробувань у різних кліматичних умовах із застосуванням різноманітних конфігурацій станцій.

# 1. СОНЯЧНА ЕНЕРГІЯ НА ТЕРЕНАХ УКРАЇНИ ТА В СВІТІ.

## 1.1 Потенціал сонячної енергетики

Останнім часом спостерігається інтенсивний розвиток відновлювальних джерел енергії, яке досягло рекордних обсягів, випереджаючи щорічне збільшення потужностей у багатьох регіонах.

Сонячні фотоелектричні установки в порівнянні з іншими відновлювальними джерелами енергії протягом багатьох років залишаються лідерами в галузі.

У 2019 році приріст потужностей фотоелектричної сонячної енергетики на міжнародному рівні виявився у 2,5 рази більшим, ніж у вугільній та газовій енергетиці разом узятих. Згідно з даними *SolarPower Europe*, до кінця 2019 року загальна потужність сонячної енергетики перевищила 630 гВт частка сонячної енергії у світовому виробництві електроенергії склала приблизно 2,6%.

Прогноз розвитку світової сонячної енергетики.

## Чистий приріст потужностей електроенергетики в світі

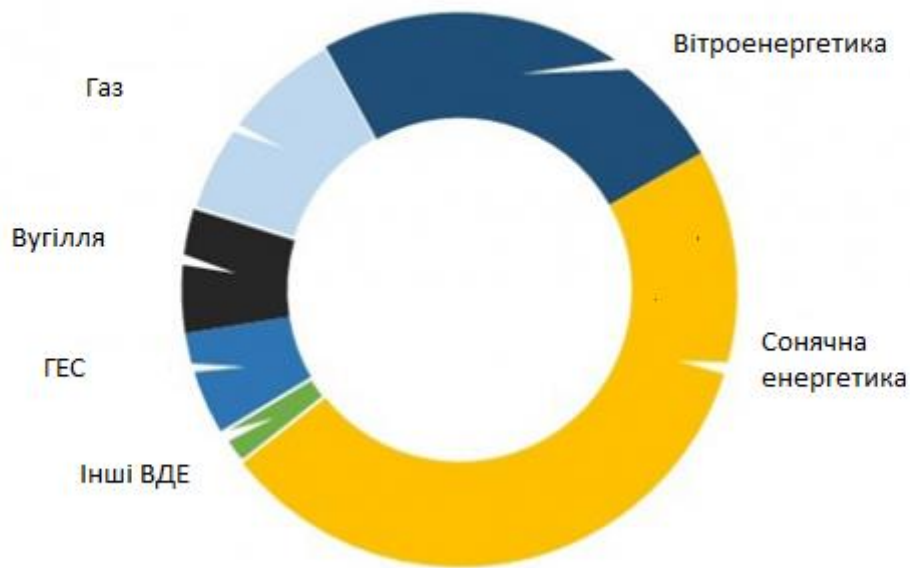


Рисунок 1 - Приріст потужностей електроенергетики в світі

У сегментах домогосподарств і промислово-комерційних установок можливе стагнаційне становище протягом кількох років через економічні труднощі, які можуть зупинити споживачів від нових інвестицій у сонячну генерацію.

Прогноз на найближчі три роки знижений у порівнянні з попереднім прогнозом, але з 2024 року очікується прискорення зростання. У 2024 році прогнозується глобальний приріст сонячної енергетики на рівні 180 ГВт, а в 2024 році — майже 240 ГВт.

Варто зазначити, що промислова база для такого зростання вже сформована: виробничі потужності з виготовлення компонентів для сонячної енергетики створені чи заплановані.

Завдяки доступності ресурсів, конкурентоспроможність та повсякчас зростаючий ринковий попит, передбачається, що сонячна фотоелектрична енергія і надалі матиме тенденцію зростання відновлювальних джерел протягом наступного десятиліття в усіх регіонах.

## **1.2. Можливості використання сонячної енергії для виробництва електричної енергії в Україні**

Україна має великі перспективи в галузі відновлювальної енергетики, завдяки яким сприятиме покращенню зовнішньої торгівлі, створенню нових можливостей для працевлаштування і стимулюванню економічної активності в умовах значних економічних викликів.

Серед цих викликів — імпортування енергетичних ресурсів, від яких маємо дуже велику залежність і ще і нагальна необхідність оновлення застарілої енергетичної інфраструктури.

Прогрес у сфері відновлювальних джерел енергії стане важливим кроком до досягнення політичних цілей, таких як зменшення імпортованого природного газу та диверсифікаційна спроможність щодо сучасних та вкрай необхідних відновлюваних джерел енергопостачання. З такою енергетичною забезпеченістю наша країна буде мати повноцінну безпеку.

Якщо зробити аналіз середньо-річної кількісної сонячної радіації, яка потрапляє на територію нашої країни, то можна зробити висновок щодо коливання її від  $1070 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  на півночі до  $1400 \text{ кВт}\cdot\text{год}/\text{м}^2$  на півдні.

Перетворення сонячної енергії у електроенергію в Україні відбувається завдяки застосування сонячних фотоелектричних установок [2,5].

Ресурси та промисловий і інтелектуальний потенціал для виробництва цих товарів у країні.



Рисунок 1.2 – Загальна сонячна радіація (МДж/м<sup>2</sup>)/Рік

### 1.3 Стан розвитку сонячної енергетики в Україні.

Виготовлення сонячної енергії досі потребує державної підтримки, однією з таких є “зелений тариф”.

Станом на кінець 2023 року в Україні є біля 45 000 домогосподарств, які встановили сонячні панелі та знижують витрати на електроенергію. Загальна потужність цих сонячних електростанцій (СЕС) перевищила 1,2 ГВт.

Області, які стали лідерами за кількістю (СЕС)

Дніпропетровська область	– 6512 потужність 185 МВт;
Закарпатська область	– 3811 потужність 111 МВт;
Тернопільська область	– 3555 потужністю 100 МВт.

## **Висновки**

В Україні здійснили аналіз розвитку фотоенергетики на національному та міжнародному рівнях. Україна показала швидке зростання в секторі відновлювальної енергетики, у 2019 році встановлена потужність досягла 5 777 МВт, що становить 9,7% від загальної потужності ОЕС України.

У 2022 році спостерігалось суттєве зниження темпів зростання сонячної енергетики це пов'язано з військовою агресією росіян, яка нещадно знищує енергетичну інфраструктуру нашої країни та затримкою виплат від держави виробникам ВДЕ [6].

## 2. ОБЛАДНАННЯ

### 2.1 Сонячні панелі

Сонячні панелі JA Solar потужністю 580 Вт є високоефективним рішенням для перетворення сонячної енергії в електрику. Ці панелі, виготовлені з використанням передових технологій, забезпечують високий коефіцієнт корисної дії та надійність, що робить їх ідеальним вибором для комерційних та промислових установок [7,9].

Потужність: 580 Вт - забезпечує високий рівень виробництва енергії, що підходить для великих енергетичних систем.

Конструкція: Сучасний дизайн панелей забезпечує високу стійкість до погодних умов та механічних пошкоджень.

Висока продуктивність: Висока потужність та ефективність навіть при частковому затіненні.

Довговічність: Стійкість до зовнішніх факторів та тривалий термін служби.

Екологічність: Знижують викиди CO<sub>2</sub> завдяки ефективному використанню сонячної енергії.

Комерційні сонячні електростанції, промислові об'єкти.

Габаритні розміри ФЕМ мм	2278x1134x30 мм
Напруга холостого ходу	51
Номінальний робочий струм у ТММ,	13,35А
Кількість осередків,	144шт
Технологія осередків	Монокристалічна
Номінальна робоча напруга у ТММ	42,70
Струм короткого замикання	14,23А
Номінальна потужність PV модуля,	570Вт
Максимальна напруга DC системи	1500
Коефіцієнт перетворення ККД, %	22,1
Вага,	31,8кг

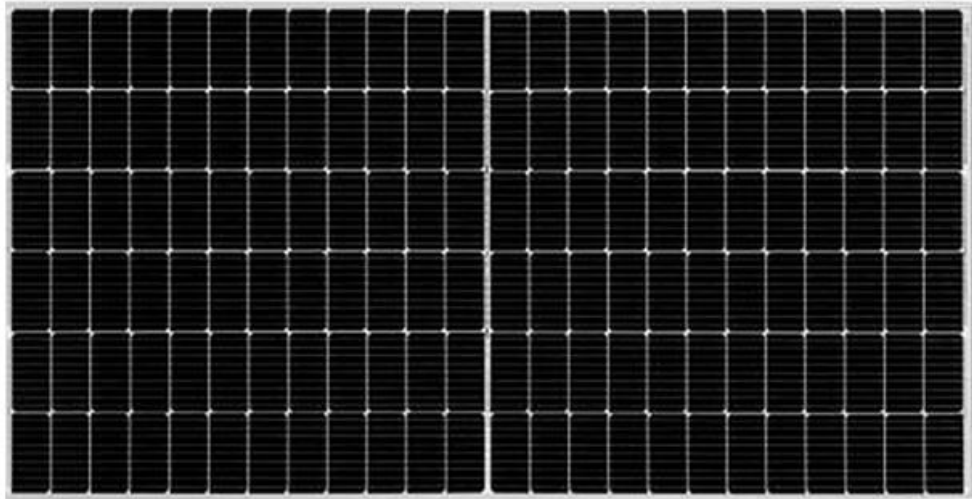


Рисунок 2.1 Сонячна панель Ja Solar JAM72S30-545/MR - SUN – ENERGY

## 2.2 Акумулятори

Powerwall на 10 кВт год (ES-BOX5) — це високопродуктивна система зберігання енергії на базі літій-залізо-фосфатного акумулятора ( $\text{LiFePO}_4$ ). Ця система забезпечує понад 6000 циклів зарядки та розрядки і може працювати з ємністю 51,2 В і 200 А/год



Рисунок 2.2 Акумулятор

## LiFePO4 48-200Ah 10 kWh Felicity (LPBF-48200-H)

Технічні характеристики:

Ємність, А/ч:	50А
Ємність, Вт/ч:	15400Вт
Вихідна потужність, Вт:	14745Вт
Тип акумулятора:	LiFePO4
Номинальна напруга, В:	307,2В
<u>Максимальний зарядний струм, А</u>	48А
Номинал, А	25А
Кількість циклів:	6000+
Вага, кг:	209 кг
Розміри, мм:	870x1167x208.7 мм

### 2.3 Інвертор

Інвертор у сонячній електростанції: електричне устаткування (пристрій), який має перетворювальні властивості щодо постійного струму, який виробляють фотомодульні панелі в змінний струм. А уже потім може використовуватися як для живлення всієї побутової техніки і приладів так і має передавальні властивості до мережі.

Інвертори відіграють критичну роль у функціонуванні сонячних електростанцій, оскільки вони забезпечують ефективність та стабільність перетворення енергії, а також відповідність електричних параметрів мережі.



Рисунок 2.3 – Інвертор Growatt SPH 10000TL3 BH-UP

За технічними даними:

Номінальна потужність, Вт 6000

Пікова потужність, Вт 12000

Номінальна вхідна напруга, В 48

Струм заряджання АС, А80

Максимальна потужність панелей, Вт 8000

Тип підтримуваних акумуляторів LiFePO4, Li-ion

Технічні ризики, основні відмови на (ФЕС) стосуються різних компонентів: (ФЕМ), інверторів, системи заземлення, блискавкозахисту, та інфраструктури, проблеми виникають на різних етапах проекту: від планування до введення в експлуатацію.

Під час експлуатації фотоелектричних модулів (ФЕМ) можуть виникати несправності, такі як snailtrails, перегрів селів, відмова bypass-діодів, знебарвлення EVA, механічні пошкодження скла, розриви пайок, PID-ефект, затінення, забруднення, втрати в кабелях і короткі замикання. Хоча сучасні технології мінімізують ризик КЗ, такі випадки можуть спричинити пожежі [10].

Надійність (ФЕМ) залежить від конструкції та клімату. У вологих умовах зростає деградація інкапсулянтів і діодів, тоді як тонкоплівкові модулі частіше зазнають механічних пошкоджень і корозії.

Інвертори є ключовими елементами, які часто виходять з ладу через відмови IGBT-транзисторів, конденсаторів, МРРТ-трекерів і збої програмного забезпечення. Високі температури й перевантаження прискорюють їхнє старіння.

Додаткові проблеми можуть виникати через збої в мережі, перегрів трансформаторів, поломки метеостанцій і корозію конструкцій.

Але все вищезазначене не має особливого впливу на втрати енергії та електричну мережу в цілому.

Дослідження фази експлуатації ФЕС аналізує вплив енергетичних втрат через збої електростанцій у Вінницькій, Миколаївській, Херсонській та Запорізькій областях. Станції відрізняються за технологією (ФЕМ), потужностями інверторів і трансформаторів, а також роками введення в експлуатацію.

Розуміння впливу таких втрат допомагає точніше оцінити вартість втрат енергії та вдосконалити заходи обслуговування й зниження ризиків.

Для оцінки, відмов обладнання які впливають на втрати енергії, поломки розділили на групи за типом несправного обладнання. Усі відключення (TF) було класифіковано на п'ять основних груп: вихід з ладу фотогальванічного поля (TF<sub>SF</sub>), відмова інвертора (TF<sub>I</sub>), поломка силових трансформаторів (TF<sub>TS</sub>), збої в зовнішній мережі (TF<sub>G</sub>) і несправності кабельної системи (TF<sub>W</sub>) [11].

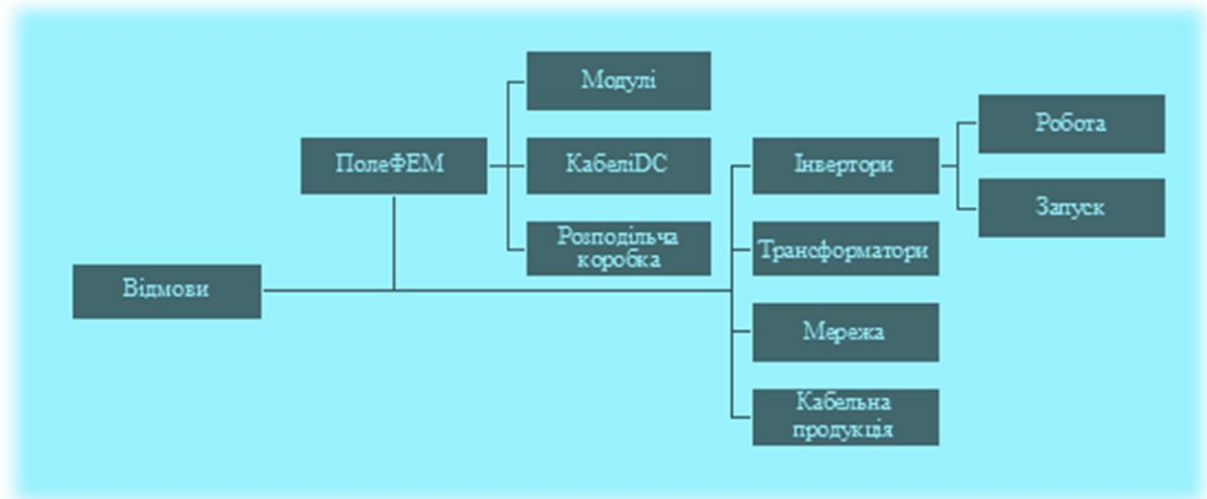


Рисунок 2.4 Класифікація по несправностям обладнання

### **Висновок**

В цьому розділі було розглянуто та підібране необхідне обладнання для досліджуваної сонячної електростанції.

### 3. МЕТОДОЛОГІЯ ОЦІНКИ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ЧЕРЕЗ ВІДМОВИ ОБЛАДНАННЯ НА ФЕС

Максимальну вироблену енергію (ME) на ФЕС неможливо досягти через втрати, зумовлені відмовами обладнання (FEL) та енергонеефективністю станції (PEL). Відмовою вважається несправність одного або кількох елементів, що знижує працездатність системи та потребує ремонту — наприклад, вихід з ладу модуля, інвертора чи трансформатора.

(PEL) охоплює втрати через зниження ефективності без збоїв, викликані перегрівом, затіненням, забрудненням, PID-ефектом, некоректною роботою трекара, розбіжністю характеристик ФЕМ, або проблемами з кабельними лініями. Ці втрати не завжди вимагають негайного втручання та накопичуються з часом.

Фактичне виробництво енергії (RE) на ФЕС завжди нижче теоретичного (ME) через поєднання FEL і PEL, що враховуються при розрахунку енергетичного балансу.

$$ME = RE + FEL + PEL \quad (1)$$

FEL для фотоелектричної установки розраховується за виразом:

$$FEL_{10K} = Pn_K \cdot PR_{corr} \cdot \sum_{t=td}^{t=tr} \frac{GTI_t}{1000} \quad (2)$$

де  $Pn_K$  – сума пікових потужностей, під'єднаних до інвертора

$tr$ (год) – час відновлення роботи,

$td$ (год) – час виходу з ладу,

$GTI_t$  (Вт/м<sup>2</sup>) – глобальна сонячна радіація за час простою інвертора,

$PR_{corr}$  – це погодинно скоригований PR

$$FEL_{10K} = Pn_K \cdot PR_{corr} \cdot \sum_{t=td}^{t=tr} \frac{GTI_t}{1000} \cdot (1 - \gamma \cdot \Delta T_{cellt}) \quad (3)$$

Сумарні енергетичні втрати інверторів внаслідок зупинки, що сталася під час нормального режиму роботи :

$$FEL_{10} = \sum_{k=1}^k FEL_{10K} \quad (4)$$

Енергетичні втрати інвертора в наслідок зупинки, що сталася під час запуску :

$$FEL_{StSpk} = Pn_K \cdot PR_{corr} \cdot \sum_{t=td}^{t=tr} \frac{GTI_t}{1000} \quad (5)$$

Сумарні енергетичні втрати інвертора в наслідок зупинки, що сталася під час запуску :

$$FEL_{STO} = \sum_{k=1}^k FEL_{STO\alpha} \quad (6)$$

Енергетичні втрати трансформатора внаслідок відмов :

$$FEL_{STO\alpha} = Pn_{pST\alpha} \cdot PR_{corr} \cdot \sum_{t=td}^{t=tr} \frac{GTI_t}{1000} \quad (7)$$

де  $Pn_{pST\alpha}$  сума пікових потужностей всіх модулів, приєднаних до трансформаторної станції

$$FEL_{STO} = \sum_{k=1}^k FEL_{STO\alpha} \quad (8)$$

Енергетичні втрати внаслідок несправностей в мережі:

$$FEL_{STO} = \sum_{k=1}^k FEL_{STO\alpha} \quad (9)$$

де  $Pn$  (кВт пік) – пікова потужність ФЕС за нормальних умов

$$FEL_{StSp} = \sum_{k=1}^k FEL_{StSpk} \quad (10)$$

### 3.1 Надійність та придатність ФЕС

Надійність  $R(t)$  – це залежність станції щодо безперебійної роботи в відповідності поставленим вимогам на протязі заданого інтервального часу  $t$  за певних умов. Це оказує вплив на придатність ФЕС щодо отримання номінального енергетичного виходу без відмов електричного обладнання.

$$R(t) = e^{-\gamma t}, \quad (11)$$

де  $\gamma$  – постійна частота відмов.

Методика була застосована до 45 фотоелектричних станцій, розташованих у Дніпропетровській, Закарпатській та Тернопільській областях.

Всі станції базуються на 572 центральних інверторах чотирьох марок виробництва. Станції оснащені 572 центральних інверторах чотирьох виробників і 266 трансформаторними підстанціями. Вони використовують 1 669 878 кремнієвих фотомодулів: 86% полікристалічних, решта – монокристалічні. Загальна пікова потужність становить 491 401 кВт, номінальна – 396 720 кВт.

### 3.2 Кількість відключень та коефіцієнти відмов

У таблиці 3.2 наведено розподіл відмов на ФЕС за типом обладнання і коефіцієнтами відмов (кількість відмов на відключений елемент). Через значні варіації коефіцієнтів відмов за станціями та елементами важко визначити середній показник. Загальний середній коефіцієнт відмов складає 19,84 відключень на рік, при цьому значення TFR варіює від 0,8 до 101,6 на рік. Найбільше відключень виникає через параметри мережі (FRG = 5,3 на рік), далі трансформатори (FRIT = 0,81), інвертори (0,78), кабелі (0,6) і фотомодулі (0,0000189).

Найбільше відключень зафіксовано на станціях БаМ і НМ (101 та 127 разів на рік). Інвертори мають найвищі показники відмов: на ФЕС Є2М – 6,72 відключень на рік на інвертор через часті короткострокові збої. Станції Вінницької області, будучи найстаршими, демонструють до 10 відключень на рік, що говорить про великий показник зменшення відмов із часом [13,15].

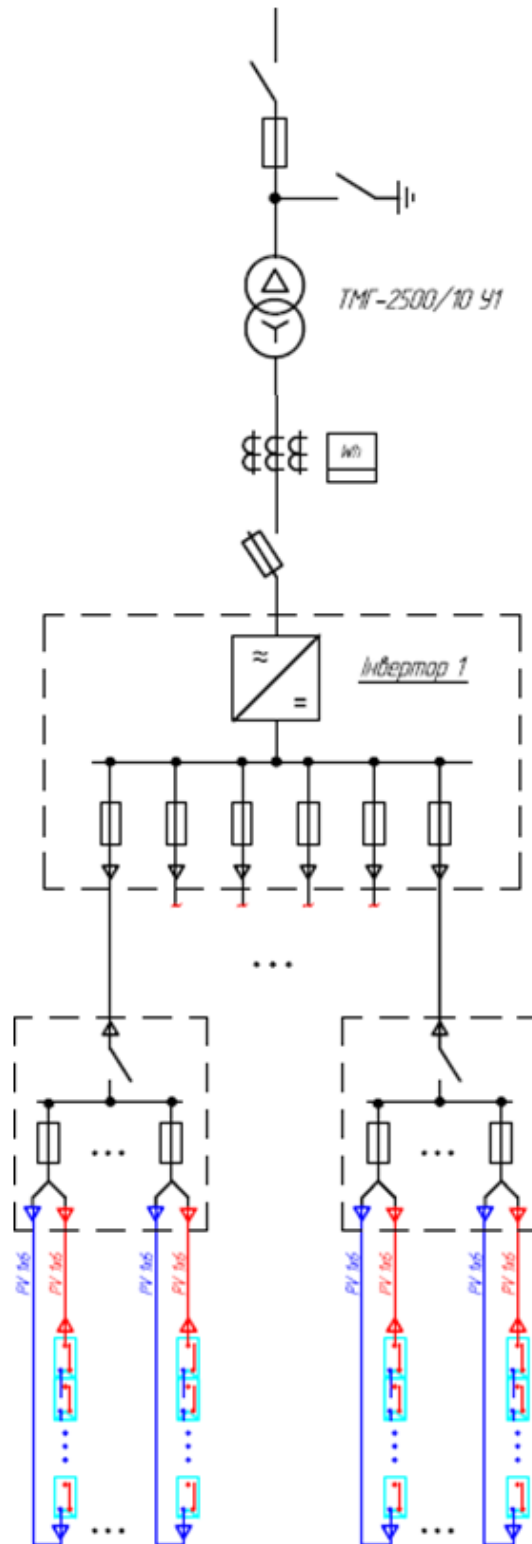


Рисунок 3.1–Типова схема живлення інвертора

Опис елементів та принцип роботи схеми див. в ДОДАТКУ Б.

Таблиця 3.2 - Основні відмови

Зальні дані			ФЕМ	Інвертор	Трансформатор	В Проблеми кабельних лініях
Область	Вст. пот.		Відсоток відмов	Відсоток відмов	Відсоток відмов	Відсоток відмов
	DC, кВт	AC, кВт				
Дніпропетровська	20000	17000	1,2	3,3	4,5	0,5
Миколаївська	32000	19800	1,8	1,1	3,1	0,7
Тернопільська	11000	9000	2,2	2,0	5,0	0,8

### 3.3 Середній час між відключеннями, час ремонту та надійність фотоелектричної установки

Несправедливість обслуговування ФЕС найчастіше ловлять поштою та у певні терміни служби, формулюють характер «ванна» кривих від'їздів: під час роботи, у нормальний період та через зносини. Мововидність окремих компонентів опису функції надійності  $R(t) = 1 - F(t)$ , де  $F(t)$  – функції точності функції  $f(t)$  інтегровані на даний момент. Щоб відобразити добавку гауссівським, вейбулівським чи логарифмічним розподілом, у цьому випадку необхідно отримати постійну періодичність відліку через брак точних відводів.

Показники  $MTTR$  та  $MBTF$  Де  $MTTR_{io}$ ,  $TF_{io}$ ,  $FR_{io}$ ,  $FEL_{io}$  – це параметричні показники за період роботи інвертору за сонячної години доби, а  $MTTR_{is}$ ,  $TF_{is}$ ,  $FR_{is}$ ,  $FEL_{is}$  ці під моментний час запускання в

роботу.

За кореляційною кривою (последні табличні дані) можна спостерігати пов'язуючий момент між модульним обладнанням за час проведення ремонтних робіт (обладнання, яке вийшло з ладу за часом нормального робочого стану ( $MTTRio$ ) і в той час, коли відбувся запуск.).

Тільки для інверторів ФЕС

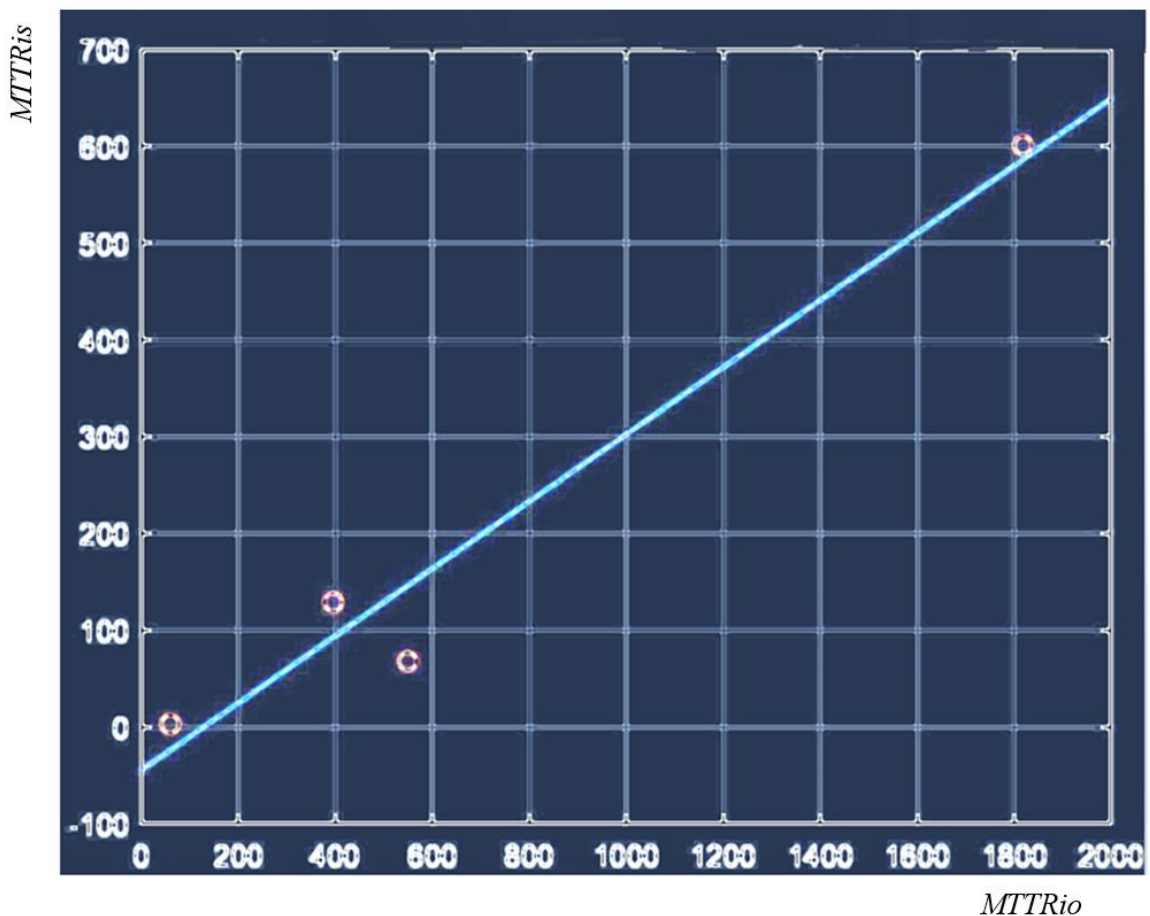


Рисунок 3.2

### Висновки до даного розділу

Був зроблений статистичний висновок, щодо аналізу всіх виникаючих несправностей устаткування по 45 станціях України, підраховано втрати електричної енергії із-за простоїв обладнання та визначено параметри надійності  $MTTR$  та  $MBTF$ .

Визначено що у інверторів при роботі найчастіше виходять з ладу охолоджуючі вентилятори, несправності плати вимірювання система перетворення, також невідповідність якості мережевих параметрів. Під час запуску інвертори найчастіше відключаються через поломку вимірювальної плати.

Отже встановлено кореляцію між середнім часом ремонту інверторів під час відмов на етапі запуску та відключень під час праці, судячі з маделі. інвертора.

Збиток виникає через прямий збиток, спричинений недовиробництвом електроенергії, а також штрафом від оператора енергосистеми за невиконання обсягу відпуску електроенергії.

У цьому розділі розроблений алгоритм дій щодо коригування прогнозів виробленої електроенергії (генерації) згідно зібраної статистичної інформації про поломки СЕС.

Ідея полягає в коригуванні прогнозованої генерації сонячної електростанції з урахуванням статистики по збірці даних про поломки та зупинки обладнання [18,19].

Покращення точності прогнозу, зниження збитків і потенційних санкцій у випадку недовиробництва електроенергії порівняно з прогнозованими показниками СЕС.

Вивчивши всі запропоновані методи обрано саме цей як один з найкращих[20].

## **4. ОХОРОНА ПРАЦІ - ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ЕКСПЛУАТАЦІЯ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ**

### **4.1. Узагальнені вимоги техніки безпеки**

При здійсненні роботи з експлуатації, ремонту електричного устаткування сонячних електричних станцій (СЕС) допускаються особи (вісімнадцять років) та відповідно набули спецпідготовку з теоретичних та практичних навчань та є відповідні сертифіковані документи. Людям жіночої статі забороняється виконання робіт по експлуатації та ремонту електроустаткування напругою понад 1000 В, а також займатися роботами щодо ремонтів ПЛ електропередачі. Є обов'язковим зняття напруги, виконання робіт на висотах, а також ремонтні роботи всієї автоматики теплових електростанцій та підстанцій і контрольно-вимірювальних приладів. Перед тим, як призначити електромонтера на виконання самостійних робіт, які безпосередньо зв'язані з заходами експлуатації електроустаткування, першочергово пройти медичний огляд при наймі на роботу з підтвердженням відсутності медичних протипоказань. Електромонтер зобов'язаний дотримуватися правил проходження періодично - медичних оглядів один раз в 2 роки.

Уже при проведенні самостійних робіт з експлуатації електроустаткування допускаються електромонтери, призначені відповідним наказом підприємницької структури або підрозділу.

Проходження інструктажу навчить безпечним методам виконання робіт, а також успішному складанню по перевірці засвоєнь правил безпеки та інструкцій, які стосуються виконуваної роботи, з отриманням відповідного знання правил безпеки та інструкцій, що стосуються виконуваної роботи, з отриманням відповідної групи кваліфікації з техніки безпеки.

Електромонтери також повинні мати спеціальне посвідчення та пройти навчання на протязі двох тижнів під наглядом досвідчених працівників.

Ті, хто обслуговує електричні установки напругою до 1000 В, повинні мати щонайменше III кваліфікаційну групу з техніки безпеки, а для електроустаткування понад 1000 В IV групи та вище.

Електромонтери, які виконують роботу, що не входить до їх прямих обов'язків та пов'язані з експлуатацією електроустаткування, зобов'язані пройти додатковий інструктаж з техніки безпеки. Також щороку електромонтерам необхідно проходити перевірку знань з технічних правил експлуатації електроустановок споживачів і правил техніки безпеки охорони праці. З особами, які порушують правила технічної експлуатації електроустановок користувача, правила техніки безпеки, або положення цієї інструкції, проводиться спеціальна перевірка знань.

За весь період діяльності електромонтери обов'язково проходять усі види інструктажів та розписуються у журналах навчання згідно з відповідними планами, затвердженими на підприємстві. Вони повинні знати електричну мережу, конструкцію, призначення і правила користування всіма вузлами та окремими вузлами електрообладнання, а також правила користування механізмів, для яких призначене електрообладнання.

Необхідно ознайомитися з переліком робіт, затвердженим замовленням, згідно з документом наряду та поточною порядковістю використання засобів захисту та правил їх використання.

Забороняється використовувати для огляду (повірки) засобів захисту та пристроїв, термін придатності яких закінчився. Електромонтери зобов'язані протягом робочого часу використовувати індивідуальний захист, наданим Компанією.

Електромонтери, які обслуговують електроустановки, працюють під керівництвом керівника або особи, відповідальної за електротехнічне управління агрегату. Особи, які порушують вимоги цих Правил і не притягуються до кримінальної відповідальності, несуть дисциплінарну відповідальність згідно з правилами внутрішнього трудового розпорядку.

#### **4.2. Техніка безпеки під час встановлення та використання сонячних батарей**

Встановлення, експлуатація та обслуговування системи на основі сонячних панелей вимагає відповідних технічних знань. При виконанні електромонтажних і налагоджувальних робіт необхідно дотримуватися правил техніки безпеки.

Фотоелементи слід використовувати виключно за призначенням, без внесення будь-яких змін у їх конструкцію. Щодо виконання монтажних робіт слід виконати всі місцеві норми та правила безпеки. Дотримання вимог безпеки також є обов'язковим правилом встановлювання і використання комплектуючих компонентів.

Під впливом сонячного світла фотоелектричні модулі виробляють постійний струм. При розриві цього струмового кола, наприклад, при відключенні проводів від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга.

При роботі з сонячними панелями потрібно суворо дотримуватися правил безпеки:

- Сонячні батареї, що працюють під навантаженням не відключаються.
- Використовувати можна лише справні кабельні проводи з необхідним перетином.

- Контактні та роз'ємні з'єднання повинні бути завжди сухі та чисті.

Існує ризик по ураженню електричним струмом, бо напруга на виходах сонячних батарей може виникати навіть за мінімального освітлення. Тому, з погляду забезпечення безпекової ситуації обов'язково встановлюються автоматичні вимикачі та декілька запобіжників у легкодоступному місці.

Підключення батарей потрібно виконувати з урахуванням полярності (позитивний контакт до позитивного, негативний — до негативного), в іншому випадку невірне підключення кабелів постійного струму призведе до виходу з ладу устаткування.

Встановлення батарей не здійснюють за сильного чи поривчастого вітру, а робочу зону необхідно підготувати саме так, щоб не сталось травматичних ситуацій.

Під час експлуатації слід дотримуватися допустимих механічних навантажень.

На початку установки потрібно перевірити, чи погодні умови не становлять загрози для батарей, оскільки перевищення допустимого рівня навантажень може викликати їх пошкодження.

#### **4.2.1. Вимоги при монтажних роботах та експлуатаційних заходах електрообладнання**

Монтаж, налаштування, експлуатація електромереж та електроустановок, контроль за технічним станом електроустановок здійснюється згідно з вимогами Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) та Правил технічної експлуатації електроустановок (ПТЕ).

Усі електроустановки мають бути оснащені пристроями захисту від

коротких замикань і перевантажень, що запобігають можливим займанням та пожежам.

Електричне обладнання, як-от струмопровідні елементи, розподільні системи, вимірювальні прилади та запобіжники, встановлюється лише на негорючих основах (наприклад, з мармуру, текстоліту чи гетинаксу).

*Правила по з'єднанню кабелів та проводів.* З'єднання, наконечники та відгалуження проводів і кабелів мають виконуватися таким чином, щоб запобігти виникненню небезпечних перехідних опорів. Для цього використовують методи зварювання, опресування, паяння та спеціальні затискачі.

Усі місця з'єднань і відгалужень проводів необхідно ізолювати з урахуванням рівня ізоляції, еквівалентного цілісному проводу чи кабелю.

З'єднання кабелів та проводів мають виконуватися в спеціальних захищених місцях: у сполучних та освітлювальних коробках; у корпусах з'єднань освітлення та електроустановок, у специфічних областях будівельних конструкцій; всередині корпусів пристроїв та механізмів.

Проводи прокладаються на ізоляційних опорах, відгалуження та з'єднання виконуються безпосередньо на ізоляторах, клинцях або роликах. Коробки, які використовуються для з'єднань, повинні мати захисні кришки для забезпечення додаткової безпеки.

#### **4.3. Техніка безпеки під час установки та експлуатації інверторів (перетворювачів напруги)**

Для забезпечення безпеки працівників та захисту електричних пристроїв від перенапруг в електричних мережах на всіх об'єктах, де застосовуються інвертори, слід встановлювати заземлювальні системи та виконувати заземлювати корпуси обладнання. Перевагу слід надавати

природним заземлювачам, зокрема металевим конструкціям та арматурі залізобетонних споруд, які міцно з'єднані з землею.

У разі використання кількох інверторів з різними рівнями напруги допускається підключення до спільного заземлюючого пристрою. У цьому випадку опір заземлення має відповідати вимогам того інвертора, який потребує найнижчого значення опору.

До компонентів, які потребують заземлення, відносяться: корпуси перетворювальних шаф на напівпровідниках, силові трансформатори, реактори типу Фросі, автоматичні вимикачі ВАТ, а також вторинні обмотки трансформаторів для вимірювань.

Підключення заземлювальних проводів до конструкцій повинно виконуватися методом зварювання, а з'єднання з корпусами - повинно виконуватися методом зварювання, а з'єднання з корпусами зварюванням або за допомогою контактних з'єднань.

Кожен елемент інвертора, який підлягає заземленню, має підключатися до заземлювача через окреме відгалуження. Послідовне підключення кількох заземлених частин до одного провідника не допускається.

*Умови безпечної установки і роботи інверторів.* Усі заземлюючі провідники, що розміщуються всередині приміщень з перетворювачами, мають бути пофарбовані в чорний колір.

Завжди, їх прокладають на відстані 50–100 мм від стін, але допускається також укладання безпосередньо біля поверхні стіни. Ці загальні вимоги поширюються на всі компоненти, які стосуються данного обладнання. Водночас для різних типів електрообладнання передбачено додаткові специфічні заходи безпеки залежно від їх функціонального призначення:

*Умови до секційних інверторів:* висування та встановлення блоків,

налагодження несправностей і підключення контрольно-виміральної апаратури виконується тільки при відключенні перетворювача; під час роботи інвертора дверцята шаф повинні бути закриті та замкнені на ключ.

*Обов'язкові правила до автоматичних вимикачів АВ: якщо вимикач не встановлено в шафі, він має бути захищений огородженням або розташований так, щоб уникнути випадкового дотику; візок вимикача має бути заземлений; працювати з вимикачем дозволено тільки при повному знятті напруги; заборонено виконувати налаштування або операції з регулювання вимикача без ізоляційного екрану, коли керуючі ланцюги знаходяться під напругою.*

*Правила використання силових трансформаторів: трансформатор правильно підключають до заземлювача, розміщеного поруч із ним; виведення нейтралі на щит потрібно здійснювати через нульову шину з провідністю не менш як 50% від фазної (для глухо заземленої нейтралі); опір пристрою що заземлює не повинен перевищувати 4,0 Ом; усі елементи, що потребують заземлення, мають бути якісно з'єднані з нейтраллю трансформатора металом; під час монтажу та експлуатації обладнання потрібно дотримуватись рекомендацій Правил улаштування електричних установок (ПУЕ).*

#### **4.4. Заходи по забезпеченню пожежної безпеки електричного обладнання**

Основні вимоги щодо пожежної безпеки регламентуються ДСТУ 8828-2019. Пожежна безпека реалізується через систему запобігання пожежам та протипожежну систему.

У всіх робочих приміщеннях і на відкритих територіях обов'язково має бути «План евакуації людей при пожежі», який визначає дії персоналу

у разі виникнення займання та доводить до відома місця зберігання пожежного обладнання».

На фотоелектричних станціях (ФЕС) горючими елементами можуть бути:

- ізоляційний матеріал для проводів; трансформаторне масло на комплектних трансформаторних підстанціях (КТП); суха трава на прилеглих територіях.

Протипожежний захист охоплює усілякі заходи для забезпечення людей, запобігання пожежам, обмеження їх розповсюдження та створення умов для ефективної боротьби з вогнем.

Джерела займання є: електронні схеми та прилади, що експлуатуються при технічному обслуговуванні та діагностуванні; електричні іскри; пристрої електричного живлення, які можуть спричинити загоряння.

Окрім того, близьке розташування кабелів і проводів збільшує ризик виникнення пожежі. Проходження електричного струму через провідник супроводжується виділенням тепла, величина якого пропорційна квадрату сили струму приведе до перенагріву та оплавлення ізоляції, що становить збільшення пожежної небезпеки.

Використовують основні заходи гасіння пожеж щодо електроенергетики:

*Вуглекислий сніг, заходи по використанню.* Вуглекислий сніг є ефективним засобом пожежогасіння. Він створюється з рідкої вуглекислоти з високим тиском під час виходу з балона і має температуру близько  $-80^{\circ}\text{C}$ . Такий сніг застосовують при гасінні електричних установок, які знаходяться над напругою, а також для гасіння пожеж у закритих приміщеннях та на відкритих малих майданчиках.

*Піна – засіб гасіння.* Піна є ще одним ефективним засобом гасіння, особливо для горючих рідин. Існують два основних різновиди піни: хімічна піна утворюється внаслідок реакції між лугом і кислотою за участю піноутворювача; повітряно-механічна піна - утворюється шляхом змішування води з піноутворювачем та додаванням повітря або кисню.

Пожежогасіння порошковим засобом. Порошкові засоби виготовляються з неорганічних солей лужних металів із додаванням соди та піску. Вони є єдиним ефективним способом при гасінні лужних металів та їх сполук. Тому, як вони не завжди гасять пожежу, тому зазвичай їх використовують у поєднанні разом з іншими засобами пожежогасіння.

Обов'язкове оснащення сонячної електростанції ручними засобами для гасіння пожеж:

На сонячній електростанції необхідно передбачити наявність ручних засобів пожежогасіння, серед яких: протипожежні щити, пожежні крани, ручні вогнегасники. Вогнегасники класифікуються за типом використовуваної речовини: хімічні, пінні, повітряно-пінні, вуглекислотні, порошкові. Персонал, який працює на електричних установках, має знати алгоритм дій у разі виникнення пожежі та вміти користуватися наявними засобами пожежогасіння.

## **4.5. Основні питання по гігієні праці та санітарії на виробництві**

### **4.5.1. Мікрокліматичні вимоги**

Параметри, які входять до мікрокліматики виробничих приміщень стандартами та нормативним документом ДСН 3.3.6.042-99 .

Основні характеристики включають прийнятну вологість, швидкість повітря, температуру та рівень теплового випромінювання.

У таблиці 4.1 наведені норми допуску за категорією цих параметрів для робочої зони виробничих приміщень.

Таблиця 4.1 Допустимі температурні норми

Період року	Категорія робіт	Температура, °C		Відносна вологість	Швидкість руху, X
		Допустима	Допустима		
		Верхня межа	Нижня межа	Допустима	Допустима
Холодний	Пб	20-24	17-25	75	не більше 0,2
Теплий		21-28	19-30	55 при 27 °C	0,1-0,3



Рисунок 4.1. Вимірювальні прилади мікроклімату: а) Чашковий анемометр «Atmos»; б) Портативна метеостанція ; в) Сигнальна система

#### 4.5.2. Склад повітряного середовища

Чистота повітря робочої зони контролюється за допомогою гранично

допустимих концентрацій (ГДК) забруднюючих речовин, вимірюваних у мг/м<sup>3</sup>. Під час діагностики двигунів у повітрі можна пропускати нетоксичний пил. Крім того, під час роботи вентиляційної системи чи провітрювання приміщення можливе проникнення пилу та інших шкідливих речовин, що містяться в процесі технологічних операцій і містяться в повітрі навколишнього середовища. ГДК цих речовин наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 Гранично допустимі концентрації

Назва речовини	ГДК, мг/м <sup>3</sup>		Клас небезпечності
	Максимально разова	Середньо добова	
Пил	0,5	0,15	4

Для забезпечення робочого місця якісним та чистим повітрям згідно ДСУ 12.1.004-91 (системою стандартів безпеки праці) ССБТ проект передбачає наступні заходи: постійне проведення контролю за вмістом в зоні робочого приміщення шкідливих речовин; застосовувати і слідкувати за роботою вентиляційної системи та природної вентиляції.

#### 4.5.3. Виробниче освітлення

Недостатній рівень освітленості - ризик помилкових дій і випадкових (несчасних) ситуацій саме на робочих місцях. Тобто, якщо проаналізувати це то 4,5% травм обумовлено недостатньою освітленістю, а в 25% випадків освітленість стала супутнім фактором виникнення травм. Погано організоване освітлення може спричинити професійні захворювання, зменшити загальне самопочуття, зменшити фізичну та розумову працездатність.

#### **Висновки до розділу 4**

Були розроблені та рекомендовані ключові заходи охоронні вимоги, яких слід дотримуватися під час монтажу та технічного обслуговування та експлуатації обладнання фотоелектричної станції. Ці заходи спрямовані на попередження виробничим ризикам, мінімізацію впливу шкідливих факторів на працівників і забезпечення безпечних умов праці. Вони охоплюють комплекс організаційних, технічних та профілактичних дій, включаючи використання засобів індивідуального та колективного захисту, дотримання вимог електробезпеки, правил роботи з підвищеною напругою, а також інструкцій щодо безпечного поводження з електрообладнанням. Особливу увагу приділено заходам із запобігання ураженню електричним струмом, ризику пожеж і забезпеченню оперативної евакуації у разі виникнення надзвичайних ситуацій.

## 5. ЕКОЛОГІЯ

Сонячні електростанції (СЕС) відіграють важливу роль у розвитку екологічно чистої енергетики, адже вони генерують електроенергію з відновлюваного джерела – сонячного світла.

**Переваги** сонячних електростанцій для довкілля, зниження викидів парникових газів. Фотосонячні електростанції не використовують викопне паливо, що суттєво знижує викиди CO<sub>2</sub> та інші парникові гази, це захищає озоновий шар від небезпечних викидів та цим самим зменшується вплив по зміні клімату.

Щодо традиційних електричних станцій, СЕС - мінімізована забрудненість повітря, бо не виробляються ними шкідливі викиди, такі як оксиди азоту чи сірки, і таким чином маємо позитивний вплив на якісне повітря.

Збереження водних ресурсів для роботи СЕС, не потрібні великі обсяги води, щодо тих електричних станцій, які відповідно використовують земельні ресурси: вугілля, природний газ. Це знижує навантаження на водні ресурси, які є критично важливими в умовах змін клімату.

**Недоліки** та потенційний вплив на довкілля. Будівництво великих СЕС потребує значних площ землі, що може впливати на місцеві екосистеми, зокрема на ареали проживання тварин. Проблема вирішують шляхом розміщення станцій у менш чутливих регіонах або на дахах будівель.

Виробництво сонячних панелей. Процес виробництва сонячних панелей використовує рідкісні метали та хімічні речовини, що може призводити до забруднення довкілля. Зокрема, видобуток кремнію та інших компонентів може створювати певний вплив на навколишнє середовище.

Утилізація панелей. Сонячні панелі мають термін служби близько 25–30 років. Після закінчення експлуатації важливо забезпечити їхню належну утилізацію та переробку, адже вони містять матеріали, що є небезпечно-шкідлими для всієї природи.

## **5.1 Інновації для підвищення екологічності СЕС**

Розвиток технологій переробки ведеться робота над вдосконаленням процесів переробки використаних панелей, щоб зменшити кількість відходів та підвищити екологічність СЕС.

Покращення матеріалів. Науковці працюють над заміною рідкісних металів та зменшенням використання токсичних речовин, що сприяє безпечнішому виробництву та утилізації сонячних панелей.

Інтеграція у міський простір. Використання дахів, фасадів будівель та інших міських площ для встановлення сонячних панелей мінімізує потребу у використанні сільськогосподарських або природоохоронних земель.

## **5.2 Соціально-економічні переваги для довкілля**

Енергетична незалежність. Сонячні електростанції сприяють розвитку локальної енергетики, що може знижувати залежність від традиційних викопних джерел.

За зеленим тарифним пакетом використовуються відновлювані джерела енергії, такі як СЕС, покращує імідж компаній та країн, які прагнуть дотримуватися екологічних стандартів.

Державні ініціативи та міжнародні екологічні стандарти.

Політика та підтримка. Багато країн стимулюють розвиток сонячної енергетики, пропонуючи гранти та податкові пільги для проектів, що відповідають екологічним вимогам.

Міжнародні стандарт, СЕС підпадають під різні міжнародні екологічні стандарти, прикладом є, такі як ISO 14001, що забезпечують мінімізацію несприятливого впливу на навколишнє середовище.

Сонячні електростанції є одними з найекологічніших джерел енергії, хоча й мають деякі екологічні виклики, пов'язані з виробництвом та

утилізацією панелей. Проте з розвитком нових технологій та стандартів їхній екологічний вплив постійно зменшується, що робить їх перспективним напрямом для сталого розвитку.

## 6. ОБҐРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

### 6.1 Капітальні вкладення

Капітальні вкладення охоплюють витрати на проектування, придбання, доставку, монтаж та налаштування обладнання, загальна сума яких становить 10% від його вартості. Одноразові витрати також включають закупівлю запасних частин і матеріалів [22].

Впроваджувальна система працює на підвищення надійності електропостачання та зменшує експлуатаційні витрати, сприяючи автоматизації для виробників і покращуючи зручність використання для споживачів.

Таблиця 6.1 Капітальні вкладення

Електрообладнання (найменування)	Кошторисна вартість, грн.
Інвертор InfiniSolar5kPlus	102000
Сонячна батарея SolarJAM6PR	177000
Акумулятор ALVA	420000
Сенсори температури	4500
Контролер заряду	25000
Дизельний генератор	330000
Спеціальний інструментарій: зварювальний, вимірювальний (тестери та ін.)	50000
<b>Всього:</b>	<b>1108500</b>
Витрати по транспортуванню (10%)	110850
Роботи: монтаж та наладка електричного обладнання (10%)	110850
<b>Капітальні вкладення</b>	<b>1330200</b>
<b>Всього:</b>	<b>1330200</b>

До складу системи входять: сонячні фотоелектричні модульні панелі, контролери заряду, акумулятори, температурні сенсори і інвертори.

## 6.2. Експлуатаційні затрати

Витрати. Річні витрати, необхідні для підтримки стабільної роботи технічного рішення.

До складу експлуатаційних витрат  $E$  входять:

- амортизація  $E_a$ ;
- ЗП  $E_{zn}$  робітників (аванс, ЗП, премія);
- витрати на споживання електроенергії  $E_e$ ;
- витрати на поточний ремонт  $E_{np}$ ;
- інші витрати  $E_{in}$ .

$$E = E_a + E_{zn} + E_e + E_{np} + E_{in} \quad (12)$$

## 6.3. Амортизація

Амортизаційні відрахування нараховуються на дизель-генератори та акумулятори третьої групи основних засобів. Основні кошти діляться на чотири групи:

- Споруди, конструкції, будинки та їх складові.
- Транспортні засоби, меблі, побутові електроприлади, офісне обладнання.
- Інші основні фонди, не включені до груп 1, 2 або 4.
- Комп'ютерні системи, засоби зв'язку та пов'язані інформаційні технології.

Річна норма амортизації для 3-ї групи приймаємо 23% .

$$E_a = 23\% \cdot (E_{gen} + E_{акум}) \quad (13)$$

$$E_a = 0,23$$

#### **6.4 Обчислення заробітної плати персоналу**

Витрати на ремонт охоплюють оплату праці персоналу, а також витрати на запасні частини та матеріали для ремонту.

Система автоматичного живлення після запуску не потребує постійного обслуговування, тому залучати працівників немає необхідності.

Витрати на встановлення та налаштування підраховані. Лише можна передбачити мінімальну суму на щорічний огляд системи спеціалістом для підтвердження її справності [22].

#### **6.5 Обчислення поточного ремонту**

Поточний ремонт компонентів системи запускається на місці їх встановлення з тимчасовим використанням обладнання.

Витрати на ремонт включають кошти на комплектуючі, запасні частини та елементи, які потребують заміни. Витрати на матеріали та запчастини 2,5% для поточного ремонту надходять на основі амортизаційних відрахувань, а також враховують оплату праці спеціаліста, відповідного за термінове обслуговування обладнання протягом усього терміну його експлуатації.

$$E_{np} = E_a \cdot 0,25 + E_{zn} \quad (14)$$

Графік планово-попереджувальних ремонтних робіт системи електроживлення

Таблиця 5.1 – Графік ремонтних робіт

Обладнання (найменування)	Помісячні види робіт												Трудом-ть, люд/год
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
Сон. панелі		9							8				17
Інвертор			9							8			17
Акумулятори				8				8				8	24
Генератор				9						9			18
Сенсори					8						9		17
Контролер						9				8			17
<b>Загальна трудомісткість Всього:</b>												<b>110</b>	

Ремонтні роботи виконує тільки спеціаліст за фахом (електромонтер 6 розряду). Заробітна платня розраховується відносно трудомісткості виконуваних робіт [22]:

$$C_{зпо} = T_1 \cdot k \cdot \Phi_{рем} \quad (15)$$

де  $k$  – тарифний коефіцієнт 6-го розряду ( $k = 2,8$ );

$T_1$  – годинна тариф на ставку робітника 1-го розряду ( $T_1 = 25$ грн / год);

$\Phi_{рем}$  – трудомісткість ремонтних робіт,

$$C_{зпо} = 25 \cdot 2,8 \cdot 93 = 6510 (\text{грн} / \text{рік}).$$

Додаткова заробітна плата  $C_{зпн}$  становить 15% основної заробітної плати

$$C_{зпн} = 0,15 \cdot C_{зпо}$$

$$C_{зпн} = 0,15 \cdot 6510 = 976,5 (\text{грн} / \text{рік}).$$

Затрати на оплату праці для виконання ремонтних робіт.

$$C_{зпр} = C_{зпо} + C_{зпн} \quad (16)$$

$$C_{рем.з} = 6510 + 976,5 = 7486,5 (\text{грн} / \text{рік}).$$

Інші витрати

Розмір інших витрат зазвичай приймають рівним 5% від загальної суми попередніх витрат.

$$E_{ін} = E_a + E_{зн} + E_e + E_{пр} \quad (17)$$

Зважаючи, що проект спроектований для довготривалої роботи без залучення ремонтного персоналу і, відповідно, без витрат на ремонт та зарплату, встановимо інші витрати – 3 % від вкладень, що складає 39,906 грн.

Таблиця 5.2.-Експлуатаційні витратні кошти

Найменування, грн	Сума
Амортизація $E_{ам}$ , грн	2793,42
Заробітна плата $E_{зп}$ обслуговуючого персоналу, грн	5200
Кошти на ремонт та ТО $E_{тв}$ , грн	5898,36
Інші витрати $E_{ін}$ , грн.	39906
<b>Всього: експлуатаційні витрати <math>E_{ек}</math>, грн</b>	<b>53797,78</b>

### 6.6 Оцінка економічної ефективності роботи

Основним критерієм економічної ефективності нового технічного рішення є термін окупності капітальних інвестицій, позначений як  $T_o$ , та коефіцієнт економічної  $E_{еф}$ .

Термін окупності капітальних інвестицій  $T_o$  за формулою 18:

$$W_{річ} = П_г \times n, \quad (18)$$

Розрахунок прибутку отримується шляхом множення річного обсягу електроенергії, виробленої сонячними панелями, за встановленим тарифом на закупівлю електроенергії.

$$Ц_p = W_{річ} \cdot 7,5 \quad (19)$$

де,  $Ц_{пр}$  - сумарний прибуток за рік,

де,  $W_{річн}$  - залишкова електроенергія згенерована фотоелектричними модульними панелями впродовж року їх роботи.

За рік електростанція виробляє електроенергії:

$$W_{pic} = P_e \times n \quad (20)$$

де,  $P_e$  – показник потенціально виробленої електроенергії;  
 $n$  – потужність фотоелектричної сонячної станції.

Потенційна потужність генерації електроенергії сонячною електростанцією 1 кВт.

Потужності для Тернопільщини становить 1165 кВт/г

Розрахувати за який час окупиться проект:

$$T_o = \frac{E_{kn}}{P_e \cdot n \cdot 7,5}, \quad (21)$$

$$T_o = \frac{1330200}{1165 \cdot 25 \cdot 7,5} = \frac{1330200}{873750} = 1,5$$

Ефективно-економічний коефіцієнт:

$$E_{ef} = \frac{1}{T_o} \quad (22)$$

$$E_{ef} = \frac{1 \cdot 0,6}{1,5} = 0,4$$

## Висновок

У цьому розділі проведено аналіз капітальних вкладень, необхідних як

для розроблення так і для запускаючих дій автоматизованої системи електропостачання для підстанцій Тернопільської області.

Були визначені амортизаційні відрахування та інші витрати. Оцінити точне вигідно-економічне впровадження системи наразі складно, однак результати розрахунків свідчать про економічну доцільність автоматизації системи електропостачання підстанцій. Вона окупиться за півтора року, а надалі не лише забезпечуватиме стабільне електропостачання, але й приносить певний прибуток.

## ВИСНОВКИ

У роботі проведено аналіз стану відновлюваної енергетики за підсумками 2023 року, коли було проаналізовано узагальнену встановлену потужність джерел відновлюваної енергії, яка становила 13878 МВт.

Досить активно відбувається розвиток фотоелектричної галузі як в Україні, так і на міжнародному рівні. Україна демонструвала швидкі темпи зростання сектору, досягнувши 8,5% від загальної встановленої потужності Об'єднаної енергосистеми (ОЕС) України.

Однак, у 2024 році спостерігається значне уповільнення темпів розвитку сонячної енергетики. Основними причинами стали наслідки російсько-української війни, що спричинили економічну нестабільність, а також заборгованість держави перед виробниками ВДЕ, яка стримує інвестиції та розширення проектів у секторі.

У рамках дослідження було проаналізовано статистику по даних енергетичних структур про різні види відмов різного обладнання на 45 фотоелектричних станціях України. Проведено розрахунки втрат електроенергії, спричинених простоями обладнання, що дозволило визначити рівень експлуатаційної ефективності станцій. Для кожної станції було обчислено параметри надійності: MTTR (середній час відновлення) та MTBF (середній час безвідмовної роботи). Ці показники стали важливими для оцінки якості технічного обслуговування та прогнозування надійності роботи систем у майбутньому.

У ході дослідження були ідентифіковані основні причини відмов інверторів під час їх експлуатації. Найбільш поширеними проблемами стали: вихід з ладу вентиляторів охолодження, що призводить до перегріву обладнання; несправності плати вимірювань та компонентів контуру перетворення енергії, а також невідповідність параметрів якості

електромережі встановленим стандартам. Зазначені фактори не лише впливають на стабільність роботи інверторів, але й підвищують ризик аварійних відключень.

Особливу увагу було приділено аналізу несправностей, що виникають під час пуску інверторів. У цей момент найчастіше траплялися відмови через збої в роботі плати вимірювань, що ускладнює процес запуску та потребує додаткових заходів з технічного обслуговування.

На основі зібраних даних вдалося встановити кореляцію між середнім часом ремонту інверторів та типом їх відмов, зокрема при збоях під час запуску та відключеннях під час роботи. Аналіз показав, що середня тривалість відновлення обладнання суттєво залежить від моделі інвертора, що може бути пов'язано з особливостями конструкції, доступністю запасних частин та складністю технічного обслуговування.

Детально розглянуті основні заходи, які підтверджені нормативними документами та стандартами з охорони праці при виконанні монтажу, обслуговуванні та ремонту на сонячних (фотоелектричних) станціях.

Прораховані результатні показники економічної частини, що слугує для автоматизації втратних розрахунків та їх врахування щодо попередньо умовно прогнозованих показників виробітку електроенергії, витрати на які складають 560 тис. грн та окупаємість 1,5 місяців.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Про Стратегію сталого розвитку «Україна – 2020»: Указ Президента України від 12.01.2015 № 5/2015 / Верховна Рада України // Відомості Верховної Ради України. – 2015. (Бібліотека офіційних видань).
2. Hake J.-F. Erneubare Energien: Ein Weg zu einer Nachhaltigen Entwicklung? / J.-F.Hake, R.Eich, M.Kleemann, W.Pfaffenberger. – Vorlesungsmanuscripte des 8. Ferienkurses “Energieforschung” vom 23. bis 27. September 2002 in der Jakob-Kaiser-Stiftung. – S.8.
3. Новікова О.Ф. Сталий розвиток промислового регіону: соціальні аспекти: монографія / О.Ф. Новікова, О.І. Амоша / НАН України, ін-т економ. пром-сті. – Донецьк, 2012. – 534 с.
4. Рожко А.О. Сталий розвиток України в контексті використання відновлювальних та нетрадиційних джерел енергії [Електронний ресурс] / А.О. Рожко // Качество экономического развития: глобальные и локальные аспекты: матеріали I Міжнар. науково-практичної конф. 24-25 травня 2007 р. / Тернопільський національний економічний університет. Режим доступу: [http://www.confcontact.com/2007may/1\\_rozhko.php](http://www.confcontact.com/2007may/1_rozhko.php).
5. Шмідт Г. Нова енергетична політика для Європи / Г. Шмідт // Зелена енергетика. – №1. – 2007. – С.5.
6. Бурячок Т. О. Енергетика: історія, сучасність і майбутнє. Електроенергетика та охорона навколишнього середовища. Функціонування енергетики в сучасному світі / Т.О. Бурячок, В.Н. Клименко, Ю.О. Ландау, І.Я. Сігал]. – Київ: [б. в.], 2013. – 391 с.
7. Шевцов А. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії в Україні у світлі нових європейських ініціатив [Електронний ресурс] / А. Шевцов, М. Земляний, Т. Рязова / Регіональний філіал НІСД. – Дніпропетровськ. – Режим доступу: <http://www.zakon.rada.gov.ua>.
8. Уминський С. М. Альтернативні палива з біомаси / С. М. Уминський, В. П. Чучуй, С. В. Інютін / Мінагрополітики, Одеський держ. аграрний ун-т. – О.: ТЕС, 2014. – 375 с.

9. Мягченко О. П. Основи екології. Підручник / О. П. Мягченко. – К.: Центр учбової літератури, 2010. – 312 с.
10. Flicker, J.; Kaplar, R.; Marinella, M.; Granata, J. PV inverter performance and reliability: What is the role of the bus capacitor? In Proceedings of the IEEE 38th Photovoltaic Specialists Conference (PVSC), Austin, TX, USA, 3–8 June 2012; Volume 2, pp. 1–3.
11. Chan, F.; Calleja, H.; Martinez, E. Grid connected PV systems: A reliability based comparison. In Proceedings of the IEEE International Symposium on Industrial Electronics, Montreal, QC, Canada, 9–13 July 2006; pp. 1–6.
12. Zhang, P.; Li, W.; Li, S.; Wang, Y.; Xiao, W. Reliability assessment of photovoltaic power systems: Review of current status and future perspectives. *Appl. Energy* 2013, 104, 822–833.
13. David, M.; Jahn, U.; Tjengdrawira, C.; Theologitis, I.T. “Technical risks in PV projects—Report on technical risks in PV project development and PV plant operation” Solar Bankability. Available online: [http://www.solarbankability.org/fileadmin/sites/www/files/documents/D1.1\\_2.1\\_Technical\\_risks\\_in\\_PV\\_projects.pdf](http://www.solarbankability.org/fileadmin/sites/www/files/documents/D1.1_2.1_Technical_risks_in_PV_projects.pdf)
14. Халатов А. А. Енергетика України: сучасний стан і найближчі перспективи / А. А. Халатов. – Вісн. НАН України, 2016. – № 6. – С.53-61.
15. Салашенко Т. І. Енергетична безпека України в сфері електроенергетики: системні проблеми та пріоритетні напрями [Електронний ресурс] / Т. І. Салашенко. – Режим доступу: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=4970>.
16. Шевцов А. Ринок електроенергії в Україні. проблеми вдосконалення [Електронний ресурс] / А. Шевцов, М. Земляний, В. Вербинський // Національний інститут стратегічних досліджень. – Режим доступу: <http://old.niss.gov.ua/Monitor/april08/14.htm>.
17. Караван Ю. Перспективи розвитку відновлюваної енергетики в Україні [Електронний ресурс] / Ю. Караван. – Львів. Режим доступу: <http://oldconf.neasmo.org.ua/node/2480>.

18. Жовтянський, В. А. Ключові проблеми енергозбереження у розрізі енергетичної стратегії України / В.А. Жовтянський. - С .30-41.
19. Dhople, S.V.; Davoudi, A.; Chapman, P.L.; Domínguez-García, A.D. Integrating photovoltaic inverter reliability into energy yield estimation with markov models. In Proceedings of the 12th Workshop on Control and Modeling for Power Electronics (COMPEL), Boulder, CO, USA, 28–30 June 2010; pp. 1–5.
20. Sarr, O.N.; Barro, F.I.; Niasse, O.A.; Dia, F.; Mbengue, N.; Ba, B.; Sene, C. Analysis of Failure Modes Effect and Criticality Analysis (FMECA): A stand-alone photovoltaic system. *Sci. J. Energy Eng.* 2017, 5, 40–47.
21. Herman E. Daly Beyond Growth. *Economic Theory of Sustainable Development* / Daly E. Herman. – Boston: Beacon press, 1994. – 264 p.
22. Чмут Т.К. Управління енергетичним підприємством. Навч. посібник. – Харків, 1999. – 358с.

Таблиця 1 – статистичної інформації областей України

Зальні дані					ФЕМ				Інвертор			
Стан-ція	Область	Площа, га	Вст. пот.		Моде-ль	Тип	К-ть	Од. пот.	Модель	К-ть 58нв.. підстанцій	К-ть інверторі	Од. пот. інвертора
			ДС, кВт	АС, кВт								
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Г1Д	Дніпропетровська	2,427	1 374	1 260	1	Poly	5610	245	1	1	2	625
ЧеД	Дніпропетровська	14,973	7 745	7 040	1	Poly	31614	245	1	2	4	500
									1	4	8	625
Г2Д	Дніпропетровська	5,280	2 474	2 260	2	Poly	10296	245	1	2	4	500
									1	1	2	625
Ш1Д	Дніпропетровська	31,380	7 982	7 040	3	Poly	18480	240	1	5	9	800
					2	Poly	12210	245				
					25	Poly	2222	250				
Г3Д	Дніпропетровська	8,004	3 882	3 200	4	Poly	15224	255	1	2	4	800
В13	Закарпатська	11,800	6 504	5 700	4	Poly	25014	260	1	2	4	800
									1	2	4	625
В23	Закарпатська	5,320	2 706	2 500	4	Poly	10406	260	1	2	4	625
ВТ	Тернопільська	6,004	3 180	2 800	4	Poly	12232	260	1	1	2	800
									1	1	2	625
БТ	Тернопільська	11,752	6 818	6 050	4	Poly	26224	260	1	3	6	800
									1	1	2	625
Ч1Т	Тернопільська	15,690	9 853	8 000	5	Poly	37180	265	2	8	16	500
Ч2Т	Тернопільська	18,600	9 818	8 000	6	Poly	37048	265	2	8	16	500

БаГ	Тернопільська	14,442	8 226	7 000	6	Poly	31042	265	2	7	14	500
СТ	Тернопільська	18,000	9 818	8 000	6	Poly	37048	265	2	8	16	500
КТ	Тернопільська	12,778	7 299	6 000	4	Poly	27544	265	2	6	12	500
БіЗ	Закарпатська	19,976	11 001	9 000	7	Mono	30546	330	2	9	18	500
					22	Mono	2790	335				
МЛЗ	Закарпатська	8,660	5 524	4 500	4	Poly	20460	270	2	5	9	500
МикЗ	Закарпатська	10,000	5 762	4 500	4	Poly	21340	270	2	5	9	500

Продовження табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
ДК	Кіровоградська	29,651	16 988	15 000	4	Poly	62920	270	2	15	30	500
РД	Дніпропетровська	32,550	19 982	16 500	8	Poly	74008	270	2	17	33	500
К1Д	Дніпропетровська	10,000	5 958	4 500	8	Poly	20140	270	2	5	9	500
КД	Дніпропетровська	30,000	18 064	15 000	8	Poly	66902	270	2	8	30	500
О1Д	Дніпропетровська	33,000	21 758	17 000	8	Poly	63998	270	2	17	34	500
					4	Poly	16588	270				
О2Д	Дніпропетровська	29,530	17 921	14 000	8	Poly	66374	270	2	14	28	500
К2Д	Дніпропетровська	8,000	4 823	4 000	8	Poly	54468	270	2	4	8	500
МирД	Дніпропетровська	17,076	11 478	9 000	9	Mono	35316	325	3	5	18	500
КиД	Дніпропетровська	25,601	17 702	15 840	10	Mono	13398	325	1	9	18	880
					4	Poly	4466	270				
ПД	Дніпропетровська	26,503	18 819	15 000	11	Poly	57906	325	3	8	30	500
А	Дніпропетровська	31,864	20 463	15 000	12	Mono	62964	325	3	8	15	1000

НМ	Дніпропетровська	16,567	19 034	15 132	13	Mono	40050	365	4	7	13	1165
					23	Mono	11934	370				
БаМ	Миколаївська	26,500	19 199	15 132	14	Poly	58178	330	4	7	13	1165
ЛХ	Дніпропетровська	12,522	11 754	9 312	15	Mono	20160	365	4	4	8	1165
					24	Mono	11880	370				
БіВ	Закарпатська	17,200	7 912	6 984	16	Poly	23978	330	4	3	6	1165
БД	Дніпропетровська	33,000	21 669	16 000	14	Poly	65664	330	3	8	16	1000
СТ	Тернопільська	21,000	13 067	10 476	16	Poly	39596	330	4	5	9	1165
ПТ	Тернопільська	12,000	11 537	9 312	17	Poly	34960	330	4	4	8	1165
Є1М	Миколаївська	18,000	12 415	10 476	18	Poly	37620	330	4	5	9	1165
Є2М	Миколаївська	9,000	6 620	5 820	19	Poly	19760	335	4	3	5	1165
І1М	Миколаївська	56,775	32 836	27 000	4	Poly	12166	270	3	14	27	1000
І2М	Миколаївська	42,248	24 716	20 000	4	Poly	14102	270	3	10	20	1000
					4	Poly	76032	275				
БеМ	Миколаївська	22,000	13 430	10 476	20	Poly	40698	330	4	5	9	1165
ТМ	Миколаївська	20,000	13 290	10 476	21	Poly	39672	335	4	5	9	1165

## Принцип роботи електричної схеми

### 1. Вхідна частина живлення

Схема починається з підключення до трифазної мережі електроживлення:

- **Автоматичний вимикач** – забезпечує захист від перевантажень і коротких замикань.
- **Запобіжник** – додатковий елемент захисту.
- **Заземлення** – підключено для забезпечення безпеки роботи.

### 2. Електродвигун

Позначений як **ТМ-2500/10 Y1**, що вказує на трифазний асинхронний двигун:

- **Трифазне підключення ( $\Delta/Y$ )** – можливість роботи в різних режимах.
- **Обмотки двигуна** підключаються до перетворювача частоти.

### 3. Перетворювач частоти (інвертор 1)

Основний функціональний елемент для регулювання швидкості та керування електродвигуном:

- **Вхідний випрямляч (AC/DC)** – перетворює змінний струм у постійний.
- **Фільтри та конденсатори** – згладжують пульсації постійної напруги.
- **Інверторний каскад (DC/AC)** – знову формує змінну напругу із змінною частотою.
- **Транзисторні ключі (IGBT або тиристори)** – забезпечують комутацію та зміну частоти вихідного сигналу.

### 4. Вихідна частина (керування навантаженням)

Після перетворювача частоти сигнал подається на навантаження через розгалуження:

- **Група захисних елементів** (запобіжники, контактори).
- **Розгалуження живлення на два контури** – кожен з них містить:
  - **Електромеханічні перемикачі** – для керування вмиканням /вимиканням.
  - **Додаткові запобіжники** – для індивідуального захисту ліній.
  - **Керовані вихідні елементи** (можливо, соленоїди, клапани або виконавчі механізми).
  - **Позначення PV-16s** – найімовірніше, це гідравлічні або пневматичні контури, які отримують сигнал керування.

## **5. Призначення схеми**

Дана схема, ймовірно, використовується для:

- 1 Керування насосними агрегатами або вентиляційною системою.**
- 2 Плавного регулювання швидкості двигуна з можливістю зміни частоти обертання.**
- 3 Захисту двигуна та обладнання від перевантажень і аварійних режимів.**
- 4 Автоматизації технологічного процесу через інтелектуальне керування контуром навантаження.**