

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

До захисту  
Допускається  
В.о. завідувача кафедри  
Олександр ЮРЧЕНКО

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
за магістерським рівнем вищої освіти

На тему: «Проектування системи електропостачання майстерні з використання альтернативних джерел енергії»

Виконав

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Дмитро ВЕЛИКОРОД  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Група:


ЕТЕС 2401-1М

Науковий керівник:

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Валерій ЛОБОДА  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Рецензент:

  
\_\_\_\_\_  
(підпис)

Олена ДОВЖИК  
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Суми – 2026

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СУМСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерно-технологічний

Кафедра енергетики та електротехнічних систем

Ступінь вищої освіти «Магістр»

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри  
енергетики та електротехнічних систем

**Андрій ЧЕПІЖНИЙ**  
«6» листопада 2024 року

**З А В Д А Н Н Я**  
на кваліфікаційну роботу  
Дмитра ВЕЛИКОРОДА  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

1. Тема кваліфікаційної роботи: Проектування системи електропостачання майстерні з використання альтернативних джерел енергії
2. Керівник кваліфікаційної роботи: Лобода Валерій Борисович, к.ф.-м.н., професор
3. Строк подання здобувачем роботи: «22» січня 2026 року.
4. Вихідні дані до роботи: паспортні характеристики фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей; вимоги та нормативи ПУЕ та чинні державні стандарти; типові розрахунки гібридних енергетичних комплексів; кліматичні параметри регіону; технічні характеристики інверторів, контролерів заряду та допоміжного електротехнічного обладнання; типові формули та методики для моделювання і розрахунків, методичні рекомендації до виконання проєкту (роботи).
5. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Вступ; Розділ 1. Огляд існуючих способів електричного живлення виробничої майстерні; Розділ 2. Розробка автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів; Розділ 3. Моделювання системи електропостачання майстерні на базі сонячних панелей; Розділ 4. Вибір та розрахунок обладнання автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів; Розділ 5. Економічне обґрунтування; Розділ 6. Охорона праці та безпека життєдіяльності; Розділ 7. Екологічна оцінка проєкту; Висновки; Список використаних джерел.
6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Презентація

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_ (підпис)

**Валерій ЛОБОДА**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Завдання прийняв до виконання

\_\_\_\_\_ (підпис)

**итро ВЕЛИКОРОД**  
(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата отримання завдання «6» листопада 2024 року

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва етапів кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів | Примітка |
|-------|---|------------------------|----------|
| 1.    | Збір інформації про діяльність господарства   | до 02.08.2025 р.       |          |
| 2.    | Аналіз літературних джерел з обраної тематики   | до 08.09.2025 р.       |          |
| 3.    | Складання плану роботи  | до 22.09.2025 р.       |          |
| 4.    | Написання вступу  | до 29.09.2025 р.       |          |
| 5.    | Підготовка розділу «Розділ 1. Огляд існуючих способів електричного живлення виробничої майстерні»<br>Підготовка розділу «Розділ 2. Розробка автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів» | до 03.10.2025р.        |          |
| 6.    | Підготовка розділу «Розділ 3. Моделювання системи електропостачання майстерні на базі сонячних панелей»   | до 13.10.2025 р.       |          |
| 7.    | Підготовка розділу «Розділ 4. Вибір та розрахунок обладнання автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів»  | до 03.11.2025 р.       |          |
| 8.    | Підготовка розділу «Розділ 5. Економічне обґрунтування»   | до 24.11.2025 р.       |          |
| 9.    | Підготовка розділу «Розділ 6. Охорона праці та безпека життєдіяльності»<br>Підготовка розділу «Розділ 7. Екологічна оцінка проекту»   | до 08.12.2025 р.       |          |
| 10.   | Написання висновків та пропозицій   | до 15.12.2025 р.       |          |
| 11.   | Подання роботи на перевірку унікальності до експертної ради факультету  | до 22.01.2026 р.       |          |
| 12.   | Подання роботи на рецензування  | до 25.01.2026 р.       |          |
| 13.   | Подання до попереднього захисту   | до 29.01.2026 р.       |          |

Керівник роботи:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Валерій ЛОБОДА

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Здобувач

\_\_\_\_\_

(підпис)

Дмитро ВЕЛИКОРОД

(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

## АНОТАЦІЯ

**Великород Дмитро Сергійович «Проектування системи електропостачання майстерні з використання альтернативних джерел енергії».**

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня магістра за освітньою програмою «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка». Сумський національний аграрний університет, Суми, 2026.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена дослідженню, проектуванню та оптимізації системи автоматизованого електропостачання майстерні з виготовлення, налаштування та ремонту FPV - дронів із застосуванням відновлюваних джерел енергії. Актуальність теми зумовлена стрімким розвитком безпілотних літальних апаратів, зростанням потреб у їх оперативному обслуговуванні, ремонті та модернізації, а також необхідністю забезпечення надійного, енергоефективного й автономного електроживлення спеціалізованих виробничих і навчальних об'єктів в умовах нестабільного електропостачання.

Забезпечення безперервної роботи майстерень з обслуговування FPV - дронів має важливе практичне значення як для освітнього процесу, так і для виконання прикладних інженерно-технологічних завдань. Використання традиційних централізованих джерел електроенергії не завжди гарантує необхідний рівень надійності, що зумовлює доцільність впровадження автономних і гібридних систем електропостачання на основі сонячної енергії, акумуляторних накопичувачів та резервних дизельних генераторів.

У роботі виконано аналіз існуючих рішень у сфері електропостачання малих виробничих об'єктів, досліджено особливості енергоспоживання майстерні з виготовлення та ремонту FPV - дронів, визначено характер навантажень, режими роботи обладнання та критичні споживачі електричної енергії. Проаналізовано доцільність застосування фотоелектричних модулів у

поєднанні з акумуляторними батареями як основи автономної системи електроживлення.

Особливу увагу приділено розробці структурної та принципової схем автоматизованої системи електропостачання майстерні, яка забезпечує пріоритетне використання відновлюваних джерел енергії, раціональне керування процесами зарядження й розрядження акумуляторних батарей, а також автоматичне підключення резервного дизельного генератора у разі дефіциту енергії. Запропонована система дозволяє забезпечити стабільні параметри електроживлення чутливого електронного обладнання, що використовується для налаштування, тестування та ремонту FPV - дронів.

У процесі дослідження виконано математичне моделювання режимів роботи гібридної системи електропостачання в середовищі MATLAB/Simulink. Моделювання дозволило оцінити вплив змінної сонячної генерації, навантаження майстерні та параметрів акумуляторної системи на загальну ефективність роботи комплексу. На основі отриманих результатів обґрунтовано оптимальні параметри фотоелектричних модулів, ємність акумуляторних батарей та потужність резервного генератора.

Окремо в роботі розглянуто впровадження цифрової (хмарної) системи моніторингу та керування, яка забезпечує віддалений контроль параметрів електропостачання, стану акумуляторних батарей і генерації від сонячних модулів у режимі реального часу, а також зберігання та аналіз експлуатаційних даних для підвищення надійності й ефективності роботи майстерні.

У техніко-економічній частині роботи виконано розрахунок річного енергоспоживання майстерні, визначено капітальні та експлуатаційні витрати, а також оцінено економічний ефект від впровадження гібридної системи електропостачання. Показано, що використання відновлюваних джерел енергії дозволяє зменшити споживання електроенергії з мережі на 60 – 70 %, знизити експлуатаційні витрати та підвищити енергетичну незалежність об'єкта. Додатково враховано можливість залучення грантового

фінансування та державної підтримки проєктів у сфері альтернативної енергетики, що позитивно впливає на термін окупності системи.

Отримані результати підтверджують доцільність упровадження автоматизованих гібридних систем електропостачання для майстерень з виготовлення та ремонту FPV - дронів. Запропоновані технічні рішення можуть бути використані при створенні або модернізації навчально-виробничих лабораторій, інженерних центрів та малих виробничих об'єктів, а також у практиці підготовки фахівців з електроенергетики, електротехніки та електромеханіки.

**Ключові слова:** автономне електропостачання; FPV - дрони; сонячна енергія; гібридна система; акумуляторні батареї; дизельний генератор; автоматизація; енергоефективність; MATLAB/Simulink; відновлювані джерела енергії, цифрова (хмарна) система, техніко-економічна частина.

## ABSTRACT

**Velikorod Dmytro Serhiyovych "Design of a power supply system for a workshop using alternative energy sources".**

Qualification work for a master's degree in the educational program "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics" in specialty 141 "Electrical Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics". Sumy National Agrarian University, Sumy, 2025.

The master's qualification work is devoted to the research, design and optimization of an automated power supply system for a workshop for the manufacture, adjustment and repair of FPV drones using renewable energy sources. The relevance of the topic is due to the rapid development of unmanned aerial vehicles, the growing need for their operational maintenance, repair and modernization, as well as the need to ensure reliable, energy-efficient and autonomous power supply of specialized production and educational facilities in conditions of unstable power supply.

Ensuring the continuous operation of FPV drone maintenance workshops is of great practical importance both for the educational process and for the implementation of applied engineering and technological tasks. The use of traditional centralized sources of electricity does not always guarantee the required level of reliability, which makes it advisable to implement autonomous and hybrid power supply systems based on solar energy, battery storage and backup diesel generators.

The paper analyzes existing solutions in the field of power supply of small production facilities, investigates the features of energy consumption of the FPV drone manufacturing and repair workshop, determines the nature of loads, equipment operating modes and critical consumers of electricity. The feasibility of using photovoltaic modules in combination with batteries as the basis of an autonomous power supply system is analyzed.

Particular attention is paid to the development of structural and schematic diagrams of an automated power supply system for the workshop, which provides priority use of renewable energy sources, rational management of the charging and discharging processes of batteries, as well as automatic connection of a backup diesel generator in case of energy shortage. The proposed system allows to ensure stable power supply parameters of sensitive electronic equipment used for tuning, testing and repairing FPV drones.

In the course of the research, mathematical modeling of the operating modes of the hybrid power supply system was performed in the MATLAB/Simulink environment. The modeling allowed to assess the impact of variable solar generation, workshop load and battery system parameters on the overall efficiency of the complex. Based on the results obtained, the optimal parameters of photovoltaic modules, battery capacity and backup generator power were substantiated.

Separately, the work considers the implementation of a digital (cloud) monitoring and control system that provides remote control of power supply parameters, battery status and solar module generation in real time, as well as storage and analysis of operational data to increase the reliability and efficiency of the workshop.

In the technical and economic part of the work, the annual energy consumption of the workshop was calculated, capital and operating costs were determined, and the economic effect of implementing a hybrid power supply system was assessed. It is shown that the use of renewable energy sources allows reducing electricity consumption from the network by 60-70%, reducing operating costs and increasing the energy independence of the facility. Additionally, the possibility of attracting grant funding and state support for projects in the field of alternative energy was taken into account, which has a positive effect on the payback period of the system.

The results obtained confirm the feasibility of implementing automated hybrid power supply systems for workshops for the manufacture and repair of FPV

drones. The proposed technical solutions can be used in the creation or modernization of educational and production laboratories, engineering centers and small production facilities, as well as in the practice of training specialists in electrical power engineering, electrical engineering and electromechanics.

**Keywords:** autonomous power supply; FPV drones; solar energy; hybrid system; batteries; diesel generator; automation; energy efficiency; MATLAB/Simulink; renewable energy sources, digital (cloud) system, technical and economic part.

## ЗМІСТ

|   |           |
|---|-----------|
| <b>ВСТУП.....</b>   | <b>13</b> |
| <b>Розділ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЖИВЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ МАЙСТЕРНІ.....</b>      | <b>16</b> |
| 1.1. Живлення виробничих об'єктів від централізованої електромережі.....                      | 16        |
| 1.2. Сонячна система – електроживлення майстерні.....   | 16        |
| 1.3. Вітрова система електроживлення.....   | 18        |
| 1.4. Живлення майстерні від генераторної установки.....                                       | 20        |
| 1.5. Основні енергетичні системи.....   | 21        |
| 1.5.1 Гідроелектрична енергія живлення.....   | 21        |
| 1.5.2. Геотермальна енергія живлення.....   | 22        |
| 1.5.3. Біотопливна індустрія електроенергії.....  | 22        |
| 1.5.4. Ядерна система енергії.....  | 23        |
| 1.5.5. Воднева система енергетики.....  | 23        |
| 1.5.6. Енергія припливів і відпливів.....   | 24        |
| 1.5.7. Хвильова система енергетики.....   | 24        |
| 1.6. Актуальність та напрями використання FPV-дронів у сучасних технологіях.....              | 25        |
| 1.7. Висновки та постановка задачі дослідження.....   | 26        |
| <b>Розділ 2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ FPV-ДРОНІВ.....</b> | <b>28</b> |
| 2.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження.....   | 28        |
| 2.2. Концепція побудови гібридної системи електропостачання.....                              | 28        |
| 2.3. Структурна схема автоматизованої системи електропостачання.....                          | 29        |
| 2.4. Принцип роботи системи.....  | 30        |
| 2.5. Система керування та автоматизації.....  | 31        |
| 2.6. Електробезпека та конструктивні вимоги.....  | 32        |
| 2.7. Переваги розробленої системи.....  | 32        |

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Розділ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОС-ТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....</b>                     | <b>34</b> |
| 3.1. Мета та завдання моделювання.....  | 34        |
| 3.2. Структурна схема моделі системи електропостачання.....   | 34        |
| 3.3. Опис принципу роботи моделі.....   | 35        |
| 3.4. Результати моделювання та аналіз ефективності.....   | 39        |
| <b>Розділ 4. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ FPV-ДРОНІВ.....</b> | <b>42</b> |
| 4.1. Загальні принципи вибору обладнання.....   | 42        |
| 4.2. Основне обладнання сонячної системи електропостачання.....   | 42        |
| 4.3. Розрахунок потужності сонячної електростанції.....   | 43        |
| 4.4. Вибір акумуляторної батареї.....   | 44        |
| 4.5. Обладнання майстерні FPV-дронів.....   | 45        |
| 4.6 Розрахунок основних параметрів системи енергопостачання.....  | 46        |
| 4.7. Принципова електрична схема.....   | 49        |
| <b>Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....</b>  | <b>52</b> |
| 5.1. Загальні положення.....  | 52        |
| 5.2. Капітальні витрати.....  | 52        |
| 5.2.1. Обладнання системи енергопостачання.....   | 52        |
| 5.2.2. Технологічне обладнання майстерні FPV-дронів.....  | 53        |
| 5.2.3. Загальний кошторис.....  | 54        |
| 5.3. Експлуатаційні витрати.....  | 54        |
| 5.4. Річна економія електроенергії.....   | 55        |
| 5.5. Річний економічний ефект.....  | 55        |
| 5.6. Строк окупності.....   | 55        |
| 5.7. Економічний ефект за експлуатаційний цикл.....   | 55        |
| <b>Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ .....</b>   | <b>57</b> |
| 6.1. Загальні положення з охорони праці.....  | 57        |

|   |           |
|---|-----------|
|   | 12        |
| 6.2. Характеристика виробничого середовища.....                 | 57        |
| 6.3. Електробезпека.....  | 58        |
| 6.4. Пожежна безпека.....                                       | 59        |
| 6.5. Мікроклімат та санітарно-гігієнічні умови.....             | 59        |
| 6.6. Безпека при експлуатації відновлюваних джерел енергії..... | 60        |
| 6.7. Організаційні заходи з охорони праці.....                  | 60        |
| 6.8. Безпека життєдіяльності та цивільний захист.....           | 60        |
| <b>Розділ 7. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ.....</b>                 | <b>62</b> |
| <b>ВИСНОВКИ.....</b>  | <b>65</b> |
| <b>СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....</b>                     | <b>66</b> |
| <b>ДОДАТКИ .....</b>  | <b>69</b> |

## ВСТУП

**1. Актуальність теми.** Стрімкий розвиток безпілотних літальних апаратів, зокрема FPV-дронів, зумовлює зростання потреби у спеціалізованих виробничих і сервісних майстернях для їх виготовлення, налаштування та ремонту. FPV-дрони широко застосовуються у сільському господарстві, енергетиці, геодезії, охороні об'єктів, логістиці, а також у навчальному процесі закладів вищої освіти інженерно-технологічного профілю. Ефективне функціонування таких майстерень значною мірою залежить від надійного, безперебійного та енергоефективного електропостачання.

В умовах нестабільності електромереж, зростання вартості електроенергії та необхідності підвищення енергетичної незалежності особливої актуальності набуває використання відновлюваних джерел енергії у поєднанні з системами накопичення та резервного живлення. Впровадження автоматизованих гібридних систем електропостачання на базі сонячної енергії дозволяє забезпечити безперервну роботу обладнання майстерні FPV-дронів, зменшити навантаження на зовнішні мережі та підвищити екологічну безпеку об'єкта. У зв'язку з цим тема кваліфікаційної роботи є актуальною та має важливе практичне значення.

**2. Аналіз стану наукової розробки проблеми.** Питання використання відновлюваних джерел енергії (Закон України «Про відновлювані джерела енергії», проєкт Нова енергетична стратегія України до 2035 року :

«Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» [1,2,3]) для електропостачання автономних і напівавтономних об'єктів широко розглядаються у вітчизняних і зарубіжних наукових дослідженнях. Значна кількість робіт присвячена проектуванню сонячних фотоелектричних систем, акумуляторних батарей, резервних дизельних генераторів та їх інтеграції в єдині гібридні енергосистеми.

Разом із тим більшість наукових публікацій мають узагальнений характер і не враховують специфіку електропостачання малих виробничих

майстерень із високою концентрацією електронного обладнання, характерного для виготовлення й ремонту FPV-дронів. Недостатньо дослідженими залишаються питання автоматизації таких систем, використання цифрових (хмарних) рішень для моніторингу та керування, а також адаптації гібридних енергосистем до навчально-виробничих об'єктів. Це зумовлює необхідність подальших прикладних досліджень у даному напрямі.

**3. Мета дослідження.** Метою магістерської роботи є підвищення ефективності та надійності електропостачання майстерні з виготовлення, налаштування та ремонту FPV-дронів шляхом розробки й оптимізації автоматизованої гібридної системи електроживлення з використанням відновлюваних джерел енергії.

**4. Об'єкт дослідження.** Об'єктом дослідження є система електропостачання майстерні FPV-дронів як автономного або частково автономного виробничого об'єкта.

**5. Предмет дослідження.** Предметом дослідження є методи та засоби проектування, розрахунку й автоматизації гібридної системи електропостачання майстерні FPV-дронів на основі сонячних фотоелектричних модулів, акумуляторних батарей, резервного джерела живлення та цифрової (хмарної) системи моніторингу.

**6. Завдання дослідження.** Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати особливості електроспоживання обладнання майстерні з виготовлення та ремонту FPV-дронів;
- дослідити можливості застосування сонячних фотоелектричних систем для електропостачання майстерні;
- виконати моніторинг роботи обладнання за цифровою (хмарною) системою;
- виконати розрахунок параметрів гібридної системи електроживлення, включаючи сонячні модулі, акумуляторні батареї та резервний генератор;

- розробити структурну та принципову схеми автоматизованої системи електропостачання;
- оцінити техніко-економічну ефективність запропонованого рішення.

**7. Методи дослідження.** У роботі застосовано аналітичні та розрахункові методи, методи математичного моделювання та комп'ютерного імітаційного моделювання в середовищі MATLAB/Simulink, цифрового (хмарного), а також елементи техніко-економічного аналізу.

**8. Структура та обсяг роботи.** Кваліфікаційна робота складається зі вступу, семи розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Робота містить 5 таблиць, 26 рисунків та розрахункові матеріали, що ілюструють результати дослідження.

## Розділ 1. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ СПОСОБІВ ЕЛЕКТРИЧНОГО ЖИВЛЕННЯ ВИРОБНИЧОЇ МАЙСТЕРНІ

### 1.1. Живлення виробничих об'єктів від централізованої електромережі

Найпоширенішим способом забезпечення електроживлення виробничих об'єктів є підключення до централізованої електромережі. Такий



спосіб передбачає живлення від регіональних або локальних розподільчих мереж енергокомпаній.

Перевагами централізованого електропостачання є відносна простота підключення, стабільність напруги (за наявності якісної інфраструктури), відсутність необхідності у власному енергетичному обладнанні та технічному обслуговуванні.

Однак для виробничих приміщень, особливо тих, які мають критичне технологічне обладнання (зарядні системи, стенди, лабораторні прилади), централізоване живлення не завжди є надійним. Часті відключення, коливання напруги, перевантаження мережі або аварійні ситуації призводять до простоїв та ризику пошкодження техніки. Крім того, у сільській місцевості або в зонах активних бойових дій, де розташовані багато виробничих майстерень, централізована подача електроенергії часто є нестабільною або тимчасово відсутньою. Саме тому постає питання автономізації та комбінування різних джерел живлення, щоб забезпечити безперебійність роботи майстерні.

### 1.2. Сонячна система – електроживлення майстерні

Одним із найефективніших способів забезпечення автономності електропостачання є *сонячна фотоелектрична система*. Вона базується на

перетворенні сонячного випромінювання в електричну енергію за допомогою фотоелектричних панелей (модулів). У контексті виробничої майстерні сонячна електростанція може бути реалізована як мережева, автономна або гібридна система [4].



*Мережева система* підключається до загальної електромережі та дозволяє частково споживати енергію із сонячних панелей, а надлишки — віддавати у мережу. Така схема є ефективною, коли існує стабільне підключення до енергопостачання.

*Автономна система*, навпаки, функціонує незалежно — живить обладнання без участі мережі, накопичуючи енергію в акумуляторах для використання у нічний час або під час несприятливої погоди.

*Гібридна система* поєднує переваги обох варіантів — вона автоматично перемикається між сонячною генерацією, акумуляторами та мережею, забезпечуючи повну безперервність живлення.

До складових сонячної системи належить:

- фотоелектричні модулі (сонячні панелі);
- контролер заряду (MPPT або PWM);
- акумуляторна батарея для накопичення енергії;
- інвертор для перетворення постійного струму у змінний;
- автоматизований блок керування.

Комутація з мережею (сонячні батареї з акумуляторами). Система працює паралельно із мережею. Може використовуватися як основна, так і у вигляді резервної. АВР дає можливість перемикати з панелей на мережу

за відсутності сонця та розряду акумуляторів, або навпаки – перемикати на сонячні батареї та акумулятори коли вимикається електрика в мережі.

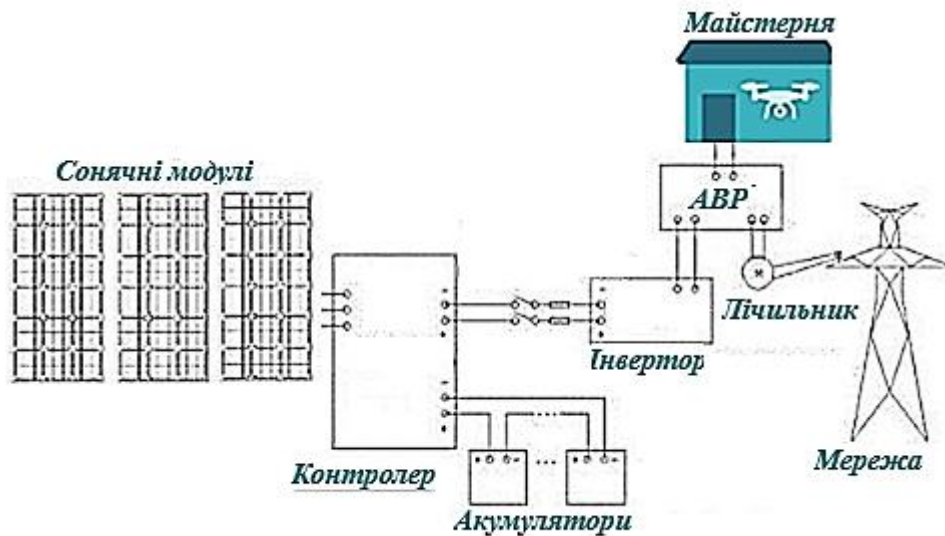


Рисунок 1.1 - Гібридна система енергопостачання

Для виробничої майстерні на 6–10 робочих місць доцільно встановити сонячну систему потужністю 8-10 кВт із акумуляторною ємністю 10–15 кВт год, що забезпечить роботу основного обладнання навіть у нічний час. Переваги сонячних установок — екологічність, безшумність, довговічність, можливість масштабування та незалежність від мережі. Недоліком є залежність від погодних умов і висока початкова вартість обладнання. Проте завдяки зменшенню вартості фотоелектричних модулів і наявності державних програм підтримки, такі системи стають дедалі доступнішими для малого бізнесу та виробничих майстерень.



### 1.3. Вітрова система електроживлення

Другим альтернативним способом є використання енергії вітру. Вітрогенератори

перетворюють кінетичну енергію повітряних потоків у електричну. Вони особливо ефективні в регіонах із середньорічною швидкістю вітру понад 4–5 м/с [5].

Типова вітрова електростанція складається з таких основних елементів:

- турбіна з лопатями (ротор);
- генератор;
- контролер заряду;
- акумуляторна батарея;
- інвертор;
- щогла або опора висотою 10–20 метрів .

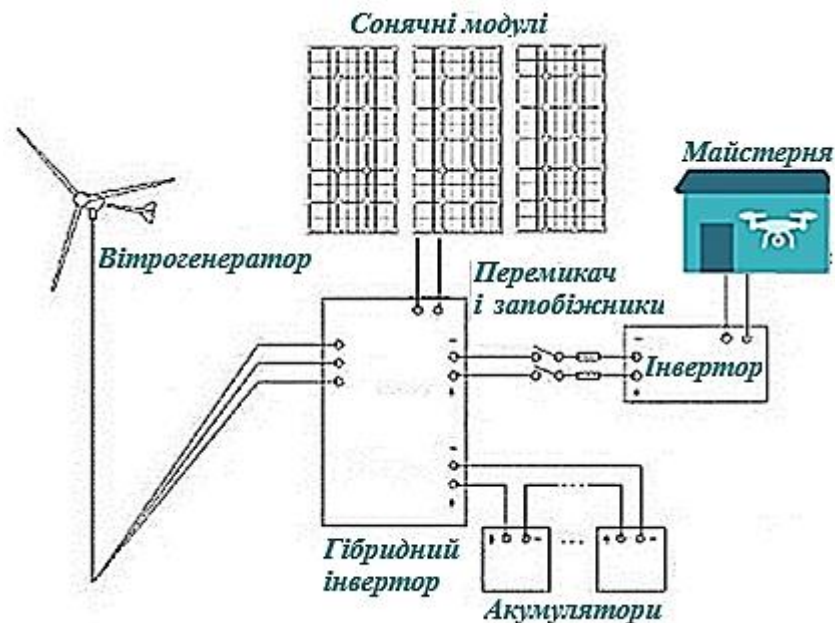


Рисунок 1.2 - Вітрова система у складі гібридної

Для невеликих виробничих приміщень застосовують вітряки потужністю 2–10 кВт, які можуть працювати автономно або в складі гібридної системи із сонячними панелями. Перевагою є стабільна генерація електроенергії вночі або під час хмарності, що компенсує нестачу сонячного випромінювання [5]. До недоліків належать залежність від погодних умов, шум, вібрації, складність монтажу та необхідність періодичного обслуговування.

#### 1.4. Живлення майстерні від генераторної установки

Паливні генератори залишаються популярним рішенням для резервного або аварійного живлення. У виробничих умовах перевага надається дизельним або бензиновим генераторам потужністю 3–10 кВт. Такі установки забезпечують автономність у разі знеструмлення мережі або недостатньої потужності від сонячної/вітрової генерації. Генератори можуть автоматично запускатися через систему АВР (автоматичного введення резерву), що особливо важливо для безперервного живлення критичного обладнання.

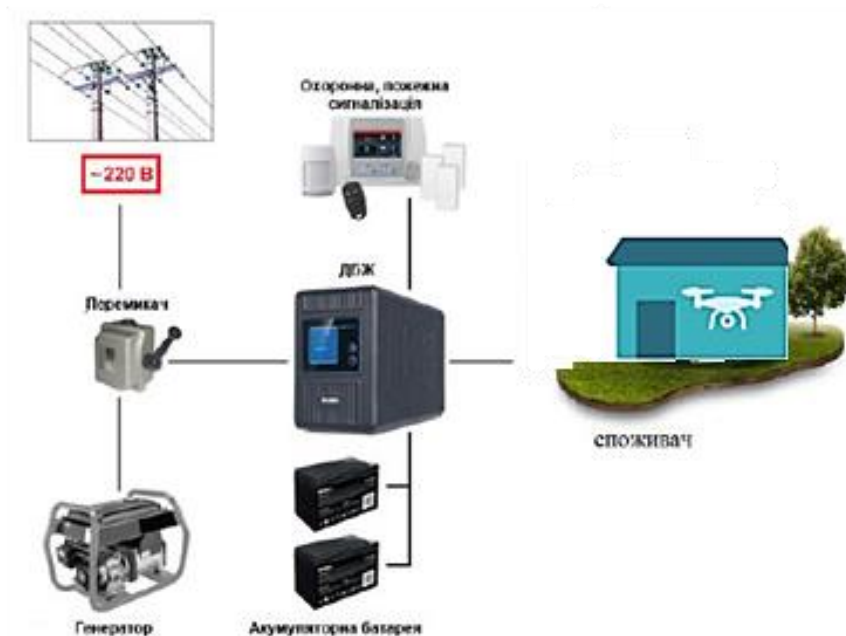


Рисунок 1.3 Живлення від генераторної установки

Переваги генераторів — висока надійність, швидкий запуск, можливість тривалої роботи. Недоліки — витрати палива, шум, викиди  $\text{CO}_2$ , необхідність технічного обслуговування. Тому у більшості сучасних рішень генератори розглядаються як резервний елемент у складі гібридної енергосистеми.

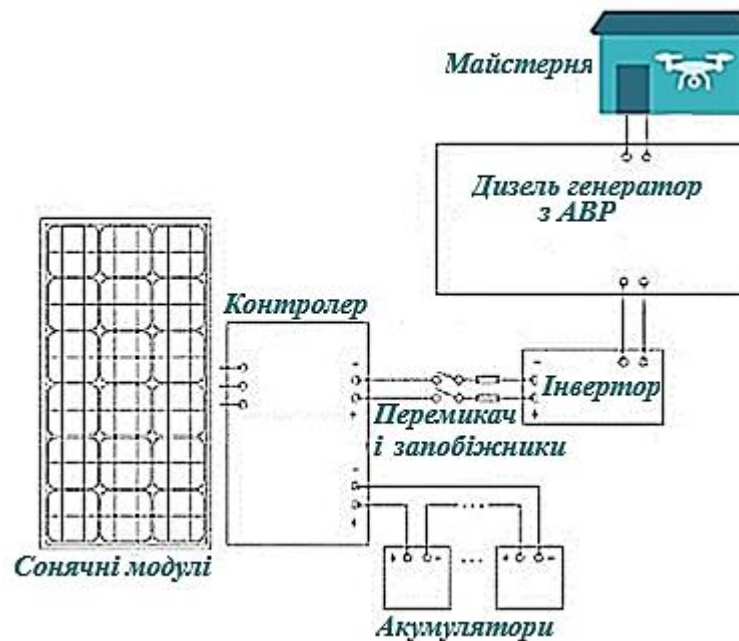


Рисунок 1.4 Генератор у складі гібридної системи живлення

Автономний об'єкт (сонячні батареї з акумуляторами) та дизельгенератор. За відсутності сонця та розряду акумуляторів живлення подається від резервного генератора.

## 1.5. Основні енергетичні системи

### 1.5.1 Гідроелектрична енергія живлення

Гідроелектростанції розташовуються на річках і водосховищах і забезпечують виробництво електроенергії для міст та регіонів [4]. Вони використовують відновлювану енергію води, забезпечують стабільне виробництво та дозволяють регулювати рівень води.

Переваги: за рахунок природного циклу відбувається постійне поновлення енергії води; можна проконтролювати рівень води, ризики повеней.

Недоліки включають вплив на екосистеми та водні ресурси. Гідроенергетика є надійним джерелом відновлюваної енергії, але її розвиток потребує врахування екологічних аспектів.



### **1.5.2. Геотермальна енергія живлення**

Геотермальна енергія отримується з тепла, що міститься у надрах Землі, і використовується на спеціальних електростанціях з паровими або водяними турбінами. Найбільше її застосовують у країнах із гарячими джерелами — Ісландії, Новій Зеландії, Фіджі, Кенії. Це відновлюване, стабільне та екологічно чисте джерело енергії, однак воно має локальний характер і може впливати на навколишнє середовище [8].



### **1.5.3. Біопаливна індустрія електроенергії**

Біопаливо виробляють з органічних матеріалів і використовують у транспорті, для виробництва електроенергії та тепла. Воно є відновлюваним джерелом енергії, допомагає зменшити викиди та дозволяє утилізувати відходи. Водночас вирощування сировини потребує великих площ і може впливати на виробництво продовольства. Біоенергетика є перспективним напрямом, але потребує екологічно й економічно виваженого підходу.



#### **1.5.4. Ядерна система енергії**

Ядерна енергія утворюється під час поділу ядер урану або плутонію, що супроводжується виділенням великої кількості тепла та нейтронів, які підтримують ланцюгову реакцію. Вона використовується переважно для виробництва електроенергії на атомних станціях, а також у медицині та науці. Перевагами є висока потужність, низькі викиди парникових газів і стабільне енергопостачання [10, 11]. Недоліки — ризик аварій, складність утилізації відходів і небезпека поширення ядерних технологій.



#### **1.5.5. Воднева система енергетики**

Воднева енергетика базується на використанні водню як палива, який отримують переважно шляхом електролізу води або з природного газу. Водень застосовують у транспорті, промисловості та енергетиці [12]. Його переваги — висока енергоємність, можливість накопичення енергії та екологічність. Основні недоліки — висока вартість виробництва, складність зберігання й транспортування, а також потреба у розвиненій інфраструктурі.

Воднева енергетика має значний потенціал, але потребує подальшого технічного вдосконалення.



### **1.5.6. Енергія припливів і відпливів**

Енергія припливів і відпливів отримується завдяки руху морської води, спричиненому гравітаційним впливом Місяця та Сонця. Її використовують переважно в прибережних районах із великими коливаннями рівня води. Перевагами є стабільність, передбачуваність і висока ефективність, а недоліками — висока вартість споруд, вплив на морські екосистеми та залежність від місцевих умов. Така енергія має перспективу розвитку за умови екологічно безпечного впровадження технологій.



### **1.5.7. Хвильова система енергетики**

Хвильова енергія отримується з руху хвиль у морях та океанах за допомогою спеціальних плавучих пристроїв. Її переважно застосовують у прибережних зонах з високою хвильовою активністю [12]. Основні переваги — стабільність, великий потенціал і безперервність джерела. Недоліки — висока вартість установок, можливий вплив на екосистеми та залежність від

місцевих умов. Цей напрям має перспективу розвитку за умови вдосконалення технологій.

### **1.6. Актуальність та напрями використання FPV-дронів у сучасних технологіях**

У сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій, роботизації та цифровізації виробничих процесів безпілотні літальні апарати (БПЛА), або дрони, відіграють важливу роль у трансформації технічних галузей [12].

Зокрема, FPV-дрони — це високошвидкісні безпілотники, оснащені системами відеотрансляції в реальному часі, що дозволяє оператору повністю занурюватися у процес керування.

Розвиток дронів відкрив нові можливості для технічних спеціальностей і навчальних лабораторій.

У майстернях (навчальних лабораторіях) типу «FPV Drone Lab» за правильної організації є можливість виконувати такі основні завдання:

- розробка, ремонт і модернізація літальних апаратів з урахуванням специфіки роботи електроприводів, контролерів, систем навігації;
- відпрацювання практичних навичок студентів з електроніки, схемотехніки, програмування мікроконтролерів та аеродинаміки;
- тестування енергетичних систем (акумулятори, сонячні зарядні станції, системи резервного живлення), що поєднує тематику відновлюваної енергетики та електроніки.

FPV-дрони активно застосовуються у таких сферах:

- **сільське господарство** (моніторинг посівів, точкове внесення добрив і ЗЗР, контроль зрошення);
- **енергетика** (огляд стану сонячних панелей, вітрових турбін, ЛЕП, важкодоступних об'єктів);
- **будівництво та промисловість** (аерофотозйомка, контроль якості монтажу);

- *освіта і наукові дослідження* (вивчення основ автоматичного керування, розробка систем позиціонування);
- *оборона та безпека*, де FPV-дрони використовуються для розвідки та технічного забезпечення.

Використання безпілотників в освітніх установах, таких як інженерно-технологічні факультети, має не лише навчальне, а й прикладне значення: студенти отримують практичні навички проектування та енергозабезпечення автономних систем, у тому числі тих, що базуються на відновлюваних джерелах енергії [12].

Таким чином, *інтеграція технологій FPV-дронів у навчальний процес і виробничі майстерні є актуальним напрямом розвитку сучасної інженерної освіти. Це поєднання наукових досліджень, альтернативної енергетики, мехатроніки та автоматизації створює основу для енергоефективних рішень і практичного впровадження інновацій у промисловість.*

### **1.7. Висновки та постановка задачі дослідження**

У ході аналізу існуючих способів електроживлення встановлено, що жодна з розглянутих систем окремо не забезпечує повної надійності та стабільності електропостачання для виробничої майстерні. Централізоване живлення має обмеження через можливі перебої, сонячна енергетика залежить від погодних умов, вітрові установки — від швидкості вітру, а генератори потребують витратного палива.

Найефективнішим рішенням для сучасного виробництва є створення автоматизованої гібридної системи електроживлення, що об'єднує декілька джерел — сонячні панелі (вітрогенератор), акумуляторні батареї, резервний генератор і централізовану мережу. Автоматизація процесів перемикання між джерелами, контроль параметрів енергосистеми, аналіз навантажень та оптимізація споживання енергії дозволяють:

- забезпечити безперебійне електроживлення всіх технологічних процесів майстерні;
- підвищити енергоефективність і економічність системи;

- зменшити вплив на довкілля за рахунок зниження споживання традиційної енергії.

Розібралися з основними актуальними напрямками використання FPV-дронів у сучасних майстернях та лабораторіях.

Таким чином, у подальших розділах роботи доцільно розробити структуру автоматизованої системи енергопостачання майстерні, визначити її функціональні елементи, схему керування та провести моделювання алгоритму роботи з урахуванням реальних режимів навантаження. А також запропоновано створити наукову лабораторію для здобувачів – енергетиків по вивченню дронів та використання їх в області дослідження, контролю щодо роботи сонячних систем.

## **РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ FPV-ДРОНІВ**

### **2.1. Загальна характеристика об'єкта дослідження**

Майстерня з виготовлення та ремонту FPV-дронів — це технологічний комплекс невеликої потужності, у якому здійснюються операції з паяння, калібрування, друку 3D-компонентів, зарядки акумуляторів та випробування готових систем. Такі процеси вимагають стабільного, безперебійного електроживлення з мінімальними коливаннями напруги, адже більшість приладів належить до чутливого лабораторного обладнання.

З метою підвищення енергетичної незалежності, забезпечення стабільності живлення та мінімізації впливу відключень електромережі було прийнято рішення впровадити автоматизовану гібридну систему електропостачання, яка поєднує сонячну генерацію, акумуляторну батарею, інвертор, контролер заряду та систему автоматичного керування [13]. Таке рішення дозволяє не лише стабілізувати енергопостачання, але й знизити експлуатаційні витрати та екологічний вплив.

### **2.2. Концепція побудови гібридної системи електропостачання**

Автоматизована система електропостачання майстерні базується на комбінуванні відновлюваних джерел енергії (сонячних панелей) із резервними (акумуляторна батарея, зовнішня мережа або генератор). Основним джерелом є сонячні панелі, які генерують електроенергію постійного струму, що через контролер MPPT надходить на акумулятори або інвертор [13].

Система керування визначає оптимальний режим роботи — забезпечує живлення споживачів безпосередньо від сонячних панелей у разі достатньої генерації, а вночі або при зниженій інсоляції — від акумуляторної батареї. Якщо рівень заряду батарей зменшується до критичного, вмикається резервне мережеве або генераторне живлення [17, 18].

### 2.3. Структурна схема автоматизованої системи електропостачання

Система складається з таких основних елементів:

1. **Сонячні панелі (PV-модулі)** – перетворюють сонячну енергію в електричну постійну напругу.
2. **Контролер заряду MPPT** – виконує відстеження максимальної потужності, регулює струм заряду АКБ, запобігає перенапрузі.
3. **Акумуляторна батарея (LiFePO<sub>4</sub>)** – накопичує надлишкову енергію та живить навантаження в темний період доби.
4. **Інвертор** – перетворює постійну напругу 48 В на змінну 220 В з чистою синусоїдою.
5. **Система автоматизації** – контролює рівень заряду, споживання, перемикання джерел та захист.
6. **Резервне живлення (мережа або генератор)** – активується автоматично при низькому SOC або відсутності генерації.

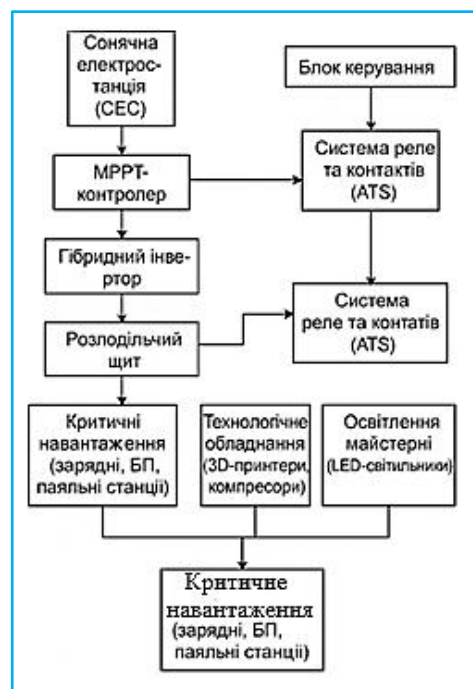


Рисунок 2.1 – Блок-схема автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів

## 2.4. Принцип роботи системи

У світлий час доби сонячні панелі забезпечують живлення майстерні та заряд АКБ. Коли генерація падає нижче споживання або при зниженому SOC, інвертор автоматично перемикає джерело живлення на мережу чи генератор.

Система керування базується на мікроконтролерному модулі, який постійно зчитує основні параметри:

- напругу і струм PV-масиву;
- струм заряду/розряду АКБ;
- потужність навантаження;
- стан SOC батареї;
- наявність живлення з мережі або генератора.

Алгоритм автоматизації (рис. 2.2) забезпечує логічну послідовність щодо перемикань:

1. Якщо  $PV > Pload$  - живлення надходить від панелей з зарядом АКБ;
2. Якщо  $PV < Pload$  та  $SOC > 40\%$  - живлення надходить від АКБ;
3. Якщо  $SOC < 40\%$  - відбувається перемикання на мережу;
4. Якщо  $SOC < 30\%$  та при цьому мережа відсутня, запускається генератор.



Рисунок 2.2 – Алгоритм автоматизованої роботи системи електропостачання

За рис. 22 показуємо схематично блоки станів із параметрами SOC і відповідними переходами; стрілками показуємо логіку керування.

## 2.5. Система керування та автоматизації

Автоматизація виконує такі функції:

- моніторинг усіх електричних параметрів;
- захист від перевантажень, коротких замикань, перенапруги;
- керування зарядом АКБ (через PWM або MPPT);
- реєстрація подій (SOC, напруга, перемикання, аварії);
- зовнішня комунікація (передача даних на монітор, смартфон, ПК через RS-485 або Wi-Fi).

Для моніторингу використовується панель з цифровими індикаторами або LCD-екраном інвертора. Також можлива інтеграція до IoT-платформи для дистанційного контролю [14].

**IoT (Internet of Things)** — це (хмарна платформа) цифрова система, що забезпечує збір, передавання, зберігання та аналіз даних з різних пристроїв енергопостачання (сонячних панелей, акумуляторів, контролерів, датчиків).

Під час автоматизації енергопостачання майстерні FPV-дронів система IoT дозволяє віддалено моніторити (контролювати) параметри роботи елементів (напруга, струм, температура, SOC батареї) через інтернет ресурси[14, 15].



Рисунок 2.3 Схема взаємодії IoT-платформи з елементами системи енергопостачання

Розглянемо основні функціональні аспекти сучасної хмарної IoT-платформи:

1. Моніторинг стану обладнання — контроль напруги, потужності, рівня заряду акумуляторів, роботи інвертора.
2. Аналітика та прогнозування — аналіз споживання енергії, визначення ефективності панелей, виявлення збоїв.
3. Керування та автоматизація — віддалене керування вмиканням/вимиканням вузлів, зміна режимів роботи системи.
4. Зберігання історичних (інформаційних) даних — створення бази даних для подальшої оптимізації роботи системи.
5. Інтеграція з алгоритмами штучного інтелекту — можливість прогнозування енергопотребити та оптимізації режимів роботи.

Прикладами IoT-платформ є: *ThingSpeak*, *Blynk*, *AWS IoT Core*, *Google Cloud IoT*, *Azure IoT Hub* — використовуються для збору даних, візуалізації графіків і керування сучасною системою [15].

## **2.6. Електробезпека та конструктивні вимоги**

Система має відповідати вимогам ПУЕ, ДСТУ ІЕС 60364, із передбаченням таких заходів: захисне заземлення корпусів інвертора, контролера і каркасу PV; встановлення УЗО та автоматів захисту; використання DC-предохранителів і SPD на лініях PV; температурний контроль АКБ і вентиляція акумуляторного відсіку; BMS-модуль з балансуванням і контролем струмів.

## **2.7. Переваги розробленої системи**

Головними перевагами дослідження системи енергопостачання майстерні FPV-дронів є:

1. Автономність — незалежність від централізованого енергопостачання;
2. Безперебійність — завдяки багаторівневій системі резервування;

3. Енергоефективність – використання МРРТ і автоматизованого розподілу навантаження;
4. Екологічність – відсутність шкідливих викидів та зниження споживання електроенергії з мережі;
5. Гнучкість – можливість масштабування системи за рахунок додавання панелей або АКБ.

**Висновок до розділу У** розділі розроблено концептуальну модель автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів із використанням сонячної енергії. Запропонована структура дозволяє забезпечити енергетичну автономність, підвищити надійність живлення технологічного обладнання, мінімізувати ризики відключень електроенергії та зменшити експлуатаційні витрати.

Впровадження автоматизації системи керування дозволяє оптимізувати енергорозподіл між джерелами живлення, підтримувати безпечні режими заряду АКБ і забезпечувати високий рівень моніторингу в реальному часі.

Впровадження хмарної платформи IoT у систему електропостачання майстерні забезпечить інтелектуальний контроль, високу надійність і ефективність використання енергії, що підвищує рівень автоматизації та зменшує ризики відмов обладнання.

## Розділ 3. МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ НА БАЗІ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ

### 3.1. Мета та завдання моделювання

Метою моделювання є створення динамічної комп'ютерної моделі системи електропостачання виробничої майстерні, яка використовує сонячні панелі як основне джерело енергії. Модель дозволяє дослідити стабільність роботи, енергетичний баланс, ефективність перетворення енергії та функціонування автоматизованих елементів керування під час зміни навантаження й зовнішніх умов.

### 3.2. Структурна схема моделі системи електропостачання

На рисунку 3.1 представлено структурну схему автоматизованої системи електропостачання майстерні, побудовану у середовищі Simulink. Основними елементами системи є фотоелектричні панелі (PV Array), контролер відстеження максимальної потужності (MPPT), акумуляторна батарея, інвертор, система навантаження та контролер енергоменеджменту, який керує перемиканням режимів живлення.

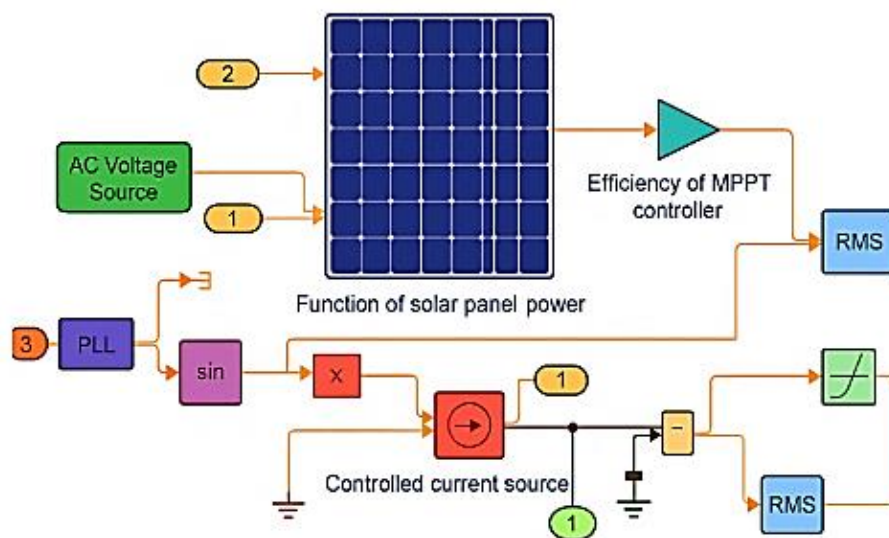


Рисунок 3.1 – Структурна схема системи електропостачання  
майстерні на базі сонячних панелей

Структурна схема на рисунку 3.1 демонструє загальну структуру автоматизованої системи енергопостачання майстерні, яка працює на базі сонячних панелей та інверторного вузла з автоматичним перемиканням джерел живлення.

Основні елементи схеми:

- **Solar panels** – сонячні панелі, що перетворюють сонячне випромінювання на електричну енергію постійного струму.
- **EU (Energy Unit)** – енергетичний блок, що містить MPPT-контролер та схему оптимізації подачі живлення на інвертор.
- **Inverter** – інвертор, який перетворює постійний струм 48 В від панелей або АКБ у змінний струм 220 В для живлення обладнання.
- **ATS (Automatic Transfer Switch)** – автоматичний перемикач джерел живлення, який здійснює автоматичне переключення між сонячною системою, мережею та генератором у разі необхідності.
- **FPV Drone Workshop** – майстерня FPV-дронів, яка виступає основним споживачем енергії.
- **RMS (Root Mean Square Measurement)** – блоки контролю та вимірювання ефективних значень напруги й струму на виході системи для оцінки стабільності та якості електропостачання.
- **Ground (Земля)** – контур заземлення для захисту обладнання та персоналу.

Таким чином, схема відображає принципову побудову гібридної системи, у якій передбачено кілька рівнів резервування живлення та контролю параметрів.

### 3.3. Опис принципу роботи моделі

Фотоелектричні панелі генерують електроенергію під дією сонячного випромінювання. Струм від панелей надходить до MPPT-контролера, який регулює напругу, підтримуючи роботу в точці максимальної потужності. Отримана енергія спрямовується на заряд акумуляторних батарей та

живлення інвертора, що перетворює постійний струм у змінний для живлення навантаження майстерні. У разі недостатності сонячного випромінювання система автоматично переходить на живлення від акумуляторів, а при їхньому розряді активується резервне джерело – генератор або мережа.

Контролер енергоменеджменту аналізує параметри напруги, струму, потужності та рівня заряду батарей (SOC) і здійснює автоматичне перемикання між джерелами живлення. На рисунку 3.2 показано спрощену модель системи у середовищі Simulink.

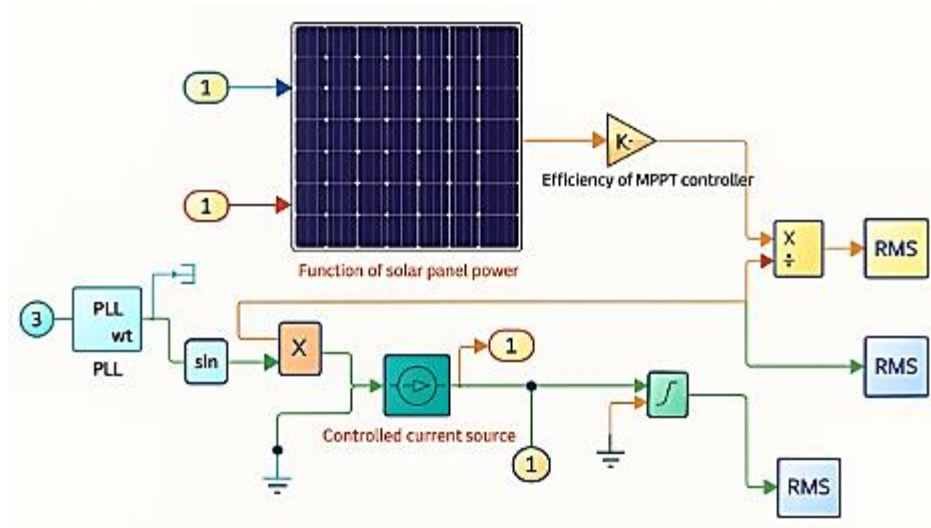


Рисунок 3.2 – Схема системи електропостачання майстерні у середовищі Simulink

Схема на рисунку 3.2 демонструє роботу окремої підсистеми сонячної електростанції, зокрема — логіку взаємодії між сонячними панелями, контролером заряду, інвертором та акумуляторною батареєю.

До основних елементів схеми відносяться:

- **Inverter** – інвертор, який перетворює постійний струм від сонячних панелей у змінний для споживача або підзаряду АКБ.
- **Solar panels** – джерело постійної напруги (PV - модулі), що генерує енергію залежно від рівня сонячної інсоляції.



Battery Storage, DC/AC Inverter (), Load (майстерня), Diesel Generator, Grid Connection, Sensor Blocks (струм, напруга, SOC), Power Flow Monitor.

Система контролює параметри струму, напруги та SOC (State of Charge) батареї, забезпечуючи автоматичне керування потоками енергії для максимальної стабільності живлення майстерні.

На схемі представлено модель автоматизованої системи електропостачання майстерні FPV-дронів, створену у середовищі **Simulink (MATLAB)**. Система поєднує кілька джерел живлення — сонячну фотоелектричну станцію (PV Array), акумуляторну батарею (Battery Bank) [16], резервний дизель-генератор (Diesel Generator) та мережеве підключення (Grid Connection).

Основні функціональні елементи моделі:

- **PV Array** — сонячні панелі, що виробляють постійний струм;
- **MPPT Controller** — контролер відстеження точки максимальної потужності, який оптимізує енерговіддачу панелей;
- **Battery Bank (SOC Sensor)** — акумуляторна система з контролем рівня заряду (SOC), яка забезпечує живлення під час недостатньої генерації;
- **Inverter (DC/AC Converter)** — перетворювач постійного струму в змінний для живлення навантаження;
- **FPV Drone Workshop Load** — умовна модель споживачів електроенергії в майстерні;
- **Diesel Generator (DG Set)** — резервне джерело живлення, яке автоматично вмикається при низькому рівні SOC;
- **Automatic Transfer Switch (ATS)** — автоматичний перемикач джерел живлення, який забезпечує безперервність роботи системи;
- **Measurement Blocks** — сенсори, що контролюють струм, напругу, потужність та ефективність роботи системи;

- **Scope** — блок візуалізації результатів моделювання (графіки зміни потужності, струму, SOC тощо).

Завдяки такій структурі система забезпечує автономність, енергоефективність та стабільне електроживлення майстерні FPV-дронів, навіть за умов перебоїв у мережевому постачанні чи змін інтенсивності сонячного випромінювання.

### 3.4. Результати моделювання та аналіз ефективності

Під час моделювання проведено аналіз роботи системи при різній інтенсивності сонячного випромінювання, змінному навантаженні та різних рівнях заряду акумуляторних батарей [18]. Отримані результати свідчать, що система забезпечує стабільну подачу напруги  $220\pm 3$  В та здатна підтримувати роботу обладнання протягом усього робочого дня. На рисунку 3.3 показано зміну рівня заряду батареї (SOC) та потужності сонячних панелей у процесі добового циклу.

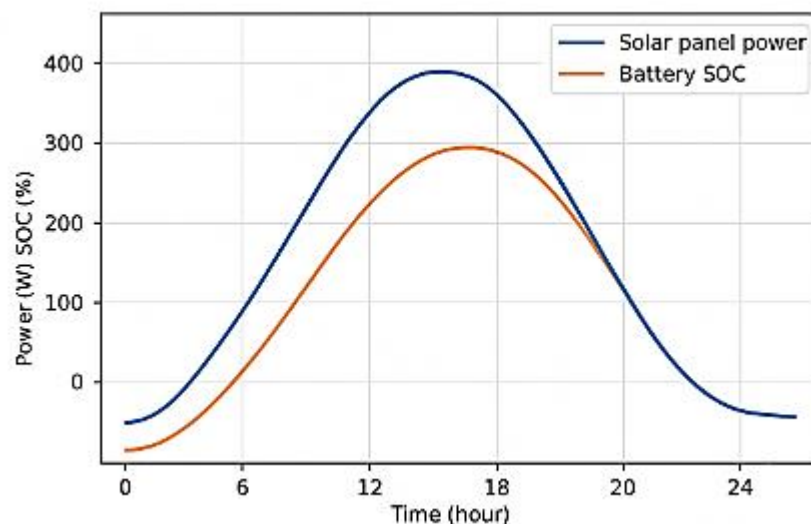


Рисунок 3.4 – Графік зміни потужності сонячних панелей та рівня заряду акумуляторної батареї протягом доби

На рисунку 3.4 наведено результати моделювання динамічної роботи системи енергопостачання майстерні FPV-дронів протягом добового циклу.

Графіки відображають зміну потужності сонячних панелей (PV) та рівня заряду акумуляторної батареї (SOC — State of Charge) залежно від часу доби.

У ранкові години, коли інтенсивність сонячного випромінювання поступово збільшується, потужність сонячних панелей плавно зростає, забезпечуючи заряд акумуляторів і живлення майстерні. MPPT-контролер відстежує оптимальну робочу точку для отримання максимальної потужності від фотоелектричних модулів [17, 21].

У період найбільшої інсоляції, система працює з максимальною ефективністю, акумулятори досягають повного заряду, а надлишок енергії може бути використаний для резервного накопичення або передачі до мережі [21].

Після заходу сонця потужність генерації зменшується, і система переходить у режим автономної роботи — живлення здійснюється від акумуляторної батареї. Рівень SOC поступово знижується, забезпечуючи безперервну роботу майстерні навіть у нічний період.

Отримані графіки свідчать, що система є стабільною, ефективною та саморегульованою, а поєднання сонячних панелей, MPPT-контролера, інвертора та акумуляторів дозволяє повністю забезпечити енергетичну незалежність майстерні FPV-дронів.

**Висновок до розділу** Результати моделювання показали, що гібридна система електропостачання на базі сонячних панелей, акумуляторних батарей та дизельного генератора забезпечує стабільне та безперебійне живлення споживачів майстерні FPV-дронів. Автоматичне керування за допомогою MPPT-контролера та системи ATS дозволяє ефективно перерозподіляти потоки енергії між джерелами відповідно до поточних умов роботи. Під час пікової сонячної генерації надлишкова енергія накопичується в акумуляторах, а при зниженні рівня SOC або відсутності сонячного випромінювання вмикається дизельний генератор. Такий підхід дозволяє підвищити енергоефективність, зменшити споживання палива та забезпечити

сталу роботу технологічного обладнання майстерні навіть у разі перебоїв у централізованому електропостачанні.

Побудована модель автоматизованої системи електропостачання майстерні на базі сонячних панелей підтвердила можливість стабільного забезпечення енергопостачання технологічного обладнання навіть за умов зміни зовнішніх факторів. Автоматизоване керування енергопотокami дозволяє ефективно використовувати енергію, оптимізувати заряд і розряд акумуляторів, а також зменшити навантаження на зовнішню мережу. Результати моделювання свідчать про високу надійність, енергоефективність і екологічність системи.

## Розділ 4. ВИБІР ТА РОЗРАХУНОК ОБЛАДНАННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ МАЙСТЕРНІ FPV-ДРОНІВ

### 4.1. Загальні принципи вибору обладнання

Для забезпечення стабільної роботи майстерні з виготовлення, налаштування та ремонту FPV-дронів необхідно створити систему електроживлення з високим рівнем надійності, автономності та енергоефективності.

Основу системи становить сонячна електростанція потужністю 6,4 кВт, що складається із 16 монокристалічних фотоелектричних модулів по 400 Вт кожен.

Джерелом резервного живлення виступає дизельний генератор, а накопичення енергії забезпечує акумуляторна батарея LiFePO<sub>4</sub>.

Автоматичне керування енергопотоками здійснюється контролером заряду та інвертором з мікропроцесорним управлінням [17].

При проєктуванні враховано сумарну встановлену потужність споживачів — 10 кВт, що включає виробниче, офісне, лабораторне обладнання, а також системи освітлення, вентиляції та комп'ютерну техніку.

Система спроектована з коефіцієнтом запасу потужності 1,25, що дозволяє компенсувати пікові навантаження та можливе розширення виробничої зони [20].

### 4.2. Основне обладнання сонячної системи електропостачання

Таблиця 4.1 Обладнання сонячної системи з характеристиками

| № | Найменування обладнання                 | Модель                            | Кількість | Потужність, Вт | Напруга, В | Примітка                                      |
|---|---|-----------------------------------|-----------|----------------|------------|---|
| 1 | Фотоелектричний модуль монокристалічний | Jinko Solar Tiger Neo N-type 400W | 16 шт.    | 400            | 32–38      | Висока ефективність 21,1 %, гарантія 25 років |

|   |  |   |          |                    |          |  |
|---|--|---|----------|--------------------|----------|--|
| 2 | Інвертор гібридний                       | Growatt SPH6000                                       | 1        | 6000               | 230/400  | 2 МРРТ трекери, робота в гібридному режимі             |
| 3 | Контролер заряду МРРТ                    | Epever Tracer 8420AN                                  | 1        | 80А                | 12/24/48 | Високий ККД до 98 %                                    |
| 4 | Акумуляторна батарея LiFePO <sub>4</sub> | Pylontech US3000C                                     | 4 модулі | 3,55 кВт·год кожен | 48       | Сумарна ємність 14,2 кВт·год, ресурс понад 6000 циклів |
| 5 | Генератор дизельний резервний            | Honda EM5500CXS                                       | 1        | 5,5 кВт            | 230      | Автоматичний запуск при зникненні мережі               |
| 6 | Система автоматичного керування          | Siemens LOGO 8  | 1        | –                  | 24       | Забезпечує комутацію джерел та моніторинг параметрів   |
| 7 | Кабельно-провідникова продукція          | ВВГнг 3×2,5;<br>ВВГнг 3×4;<br>PV1-F 6 мм <sup>2</sup> | –        | –                  | –        | З'єднання модулів, інвертора, батарей, навантаження    |
| 8 | Захисна автоматика                       | Schneider Electric Easy9                              | –        | –                  | –        | Диференційні автомати, УЗО, запобіжники                |

Обладнання сонячної системи та технічні характеристики можна переглянути в додатку.

### 4.3. Розрахунок потужності сонячної електростанції

Розраункова потужність визначається за формулою:

$$P_{\text{системи}} = P_{\text{панелі}} \cdot N_{\text{панелей}} \quad (4.1)$$

де:  $P_{\text{панелі}}$  – номінальна потужність однієї панелі,

$N_{панелей}$  – кількість панелей у системі.

$$P_{системи} = 400 \cdot 16 = 6400 \text{ Вт} = 6,4 \text{ кВт}$$

Для забезпечення надійної роботи в умовах хмарності та короткого зимового дня приймаємо коефіцієнт запасу  $K_{зап} = 1,25$ .

$$P_{еф} = P_{системи} \cdot K_{зап} = 6,4 \cdot 1,25 = 8,0 \text{ кВт}$$

Таким чином, встановлена потужність системи відповідає необхідному навантаженню майстерні з урахуванням резерву [20].

#### 4.4. Вибір акумуляторної батареї

Ємність батарей визначається за виразом:

$$C_{ак} = \frac{P_{спож} \cdot t_{авт}}{U_{ном} \cdot \eta}, \quad (4.2)$$

де:  $P_{спож}$  – середнє споживання майстерні (3,5 кВт),

$t_{авт}$  – необхідний час автономної роботи (4 год),

$U_{ном}$  – робоча напруга батареї (48 В),

$\eta$  – коефіцієнт корисної дії (0,9).

$$C_{ак} = \frac{3500 \cdot 4}{48 \cdot 0,9} = 324 \text{ А}.$$

Вибрано 4 модулі Pylontech US3000С, кожен з ємністю 74 А·год при 48 В, що забезпечує загальну ємність 296 А·год і повністю задовольняє потреби системи [19, 20].

#### 4.5. Обладнання майстерні FPV-дронів

Таблиця 4.2 Обладнання для виробничої майстерні FPV-дронів

| №  | Найменування обладнання          | Модель              | Потужність, Вт | Кількість | Примітка                             |
|----|----------------------------------|---------------------|----------------|-----------|--------------------------------------|
| 1  | Паяльна станція                  | Quick 861DW         | 1000           | 2         | Для ремонту електроніки              |
| 2  | 3D-принтер                       | Creality Ender 3 V3 | 350            | 2         | Друк корпусів і деталей дронів       |
| 3  | Осцилограф цифровий              | Rigol DS1054Z       | 50             | 1         | Діагностика електронних вузлів       |
| 4  | Лабораторний блок живлення       | Korad KA3005P       | 150            | 1         | Тестування електроніки               |
| 5  | Зарядна станція для акумуляторів | ISDT Q8 Pro         | 500            | 3         | Заряд і балансування LiPo            |
| 6  | Компресор                        | Fubag OL 231/24 CM2 | 1100           | 1         | Обдув, продувка деталей              |
| 7  | Витяжна система                  | Vortice Vario 150   | 90             | 2         | Очищення повітря робочої зони        |
| 8  | Робоче освітлення LED            | Osram Batten 40W    | 40             | 10        | Робоче освітлення                    |
| 9  | Комп'ютерне місце оператора      | Dell Optiplex 7010  | 250            | 2         | Моніторинг, програмування            |
| 10 | Витратні матеріали               | –                   | –              | –         | Кабелі, з'єднання, монтажні елементи |

Загальна потужність споживання: 10 кВт . Режим роботи: змінний (8 год/день, 5 днів/тиждень).

## 4.6 Розрахунок основних параметрів системи енергопостачання

### 1. Вибір кількості сонячних панелей

Сумарна встановлена потужність обладнання майстерні становить:

$$P_{\text{спож}} = 8,8 \text{ кВт}.$$

Середній коефіцієнт одночасності навантаження для виробничих майстерень приймається на рівні  $k_0 = 0,8$ .

Отже, необхідна розрахункова потужність споживачів:

$$P_p = P_{\text{спож}} \cdot k_0 = 8,8 \cdot 0,8 = 7,04 \text{ кВт}$$

Середня сонячна інсоляція для центральної України складає близько  $4,2 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^2 / \text{доба}$  [21,22].

Коефіцієнт використання потужності фотомодулів  $k_{\text{вих}}$  приймаємо  $0,75$  (враховуючи втрати на інверторі, пил, температуру).

Для забезпечення денного споживання енергії  $7,0 \text{ кВт}$  при тривалості сонячного випромінювання  $5 \text{ год} / \text{доба}$  потрібно [21, 23]:

$$P_{\text{сум}} = \frac{P_p}{k_{\text{вих}} \cdot t} = \frac{7,0}{0,75 \cdot 5} = 1,87 \text{ кВт}$$

Оскільки реальна генерація змінюється, для стабільності береться коефіцієнт запасу  $1,7-2,0$ , тому:

$$P_{\text{сум}} = 1,87 \cdot 2 = 3,74 \text{ кВт}.$$

Одна панель має номінальну потужність  $400 \text{ Вт}$  ( $0,4 \text{ кВт}$ ).

Для досягнення необхідної потужності потрібно:

$$N = \frac{P_{\text{сум}}}{P_{\text{пан}}} = \frac{3,74}{0,4} = 9,35 \approx 10 \text{ панелей}.$$

З урахуванням можливих хмарних днів та необхідності зарядки акумуляторів приймаємо 16 панелей.

Отже:

$$P_{\text{СЕС}} = 16 \cdot 0,4 = 6,4 \text{ кВт}$$

Ця потужність забезпечує як роботу майстерні вдень, так і заряд акумуляторних батарей для вечірнього споживання.

## 2. Розрахунок ємності акумуляторної батареї

Акумуляторна батарея забезпечує живлення під час відсутності сонця [18].

Прийmemo автономність системи – 6 годин (робота у вечірній час).

$$E_{\text{номп}} = P_p \cdot t_{\text{авт}} = 7,0 \cdot 6 = 42 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Для батареї LiFePO<sub>4</sub> з допустимою глибиною розряду 0,8 (80%) та ККД  $\approx 0,9$ :

$$E_{\text{ак}} = \frac{E_{\text{номп}}}{0,8 \cdot 0,9} = 58,3 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Вибираємо акумулятор LiFePO<sub>4</sub> 51,2 В, 100 А·год

$$E_1 = 51,2 \cdot 100 / 1000 = 5,12 \text{ кВт} \cdot \text{год}$$

Необхідна кількість батарей:

$$N_{\text{ак}} = \frac{58,3}{5,12} \approx 12 \text{ шт.}$$

Отже, система містить 12 батарей LiFePO<sub>4</sub> 51,2 В, 100 А·год із загальною ємністю  $\approx 61$  кВт·год.

### 3. Вибір інвертора

Інвертор підбирається за умовою [17]:

$$P_{инв} \geq P_p = 7,0 \text{ кВт}$$

з урахуванням запасу 20–30%:

$$P_{инв} = 7,0 \cdot 1,3 = 9,1 \text{ кВт}$$

Вибрано гібридний інвертор Growatt MOD 10000TL3-X (10 кВт, 3-фазний), який забезпечує:

- перетворення постійного струму в змінний 380 В;
- підтримку роботи від сонячних панелей, АКБ і мережі;
- синхронізацію з мережею для роботи за «зеленим тарифом».

### 4. Перевірка балансу енергії

У середньому сонячна генерація:

$$E_{ген} = P_{СЕС} \cdot t_{сон} \cdot k_{вик} = 6,4 \cdot 5 \cdot 0,75 = 24 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{доба}$$

Споживання майстерні (при 8 год роботи):

$$E_{спож} = 7,0 \cdot 8 = 56 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{доба}$$

Отже, 24 кВт·год виробляє сонце, решта 32 кВт·год покривається АКБ та частково мережею або генератором у похмурі дні.

Це дозволяє працювати в напівавтономному режимі з економією 60–70% електроенергії від централізованої мережі.

Проведені розрахунки підтверджують, що:

- використання 16 монокристалічних панелей по 400 Вт забезпечує номінальну потужність 6,4 кВт, достатню для роботи майстерні FPV-дронів;
- обрані 12 літій-залізо-фосфатних АКБ LiFePO<sub>4</sub> 51,2 В, 100 А·год гарантують 6 год автономності;
- гібридний інвертор Growatt 10 кВт забезпечує стабільну подачу електроенергії, автоматичне перемикання джерел живлення та можливість продажу надлишків за «зеленим тарифом» [9].

Таким чином, система має оптимальний запас потужності, високу надійність і відповідає технічним вимогам до виробничої майстерні сучасного типу.

#### 4.7. Принципова електрична схема

На рисунку представлено структурно-принципову електричну схему роботи сонячної енергосистеми виробничої майстерні FPV-дронів.

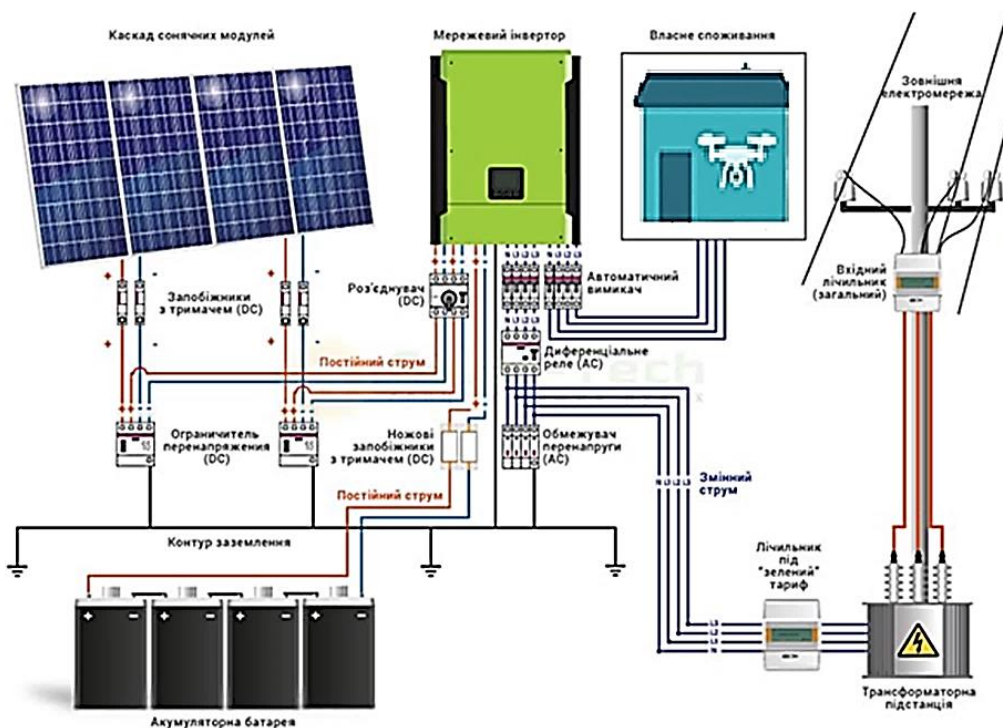


Рисунок 4.5 – Принципова електрична схема автономної системи енергопостачання майстерні FPV-дронів

Принцип роботи: каскад сонячних модулів генерує постійний струм (DC), який через запобіжники, розрядники та обмежувачі перенапруги подається до мережевого інвертора. Інвертор перетворює постійну напругу у змінну (AC), синхронізуючи її з параметрами зовнішньої електромережі.

Змінний струм розподіляється двома напрямками: на власні потреби майстерні FPV-дронів (через автоматичний вимикач, диференціальні реле та систему контролю навантаження).

До зовнішньої мережі (згідно з «зеленим тарифом» [9]) — через лічильник обліку енергії, якщо вироблена потужність перевищує споживану.

Надлишок електроенергії акумулюється у акумуляторних батареях, які забезпечують живлення у нічний час або за відсутності сонячної радіації.

Контур заземлення гарантує електробезпеку роботи системи, запобігаючи пошкодженню обладнання при аварійних режимах.

Була розроблена структурно-принципова електрична схема роботи сонячної системи.

Проведені були розрахунки основних параметрів енергопостачання: ємності акумуляторної батареї та вибір кількості фотомодулів, інвертора та перевірка балансу енергії.

Таким чином, схема забезпечує безперебійне живлення майстерні, автоматичне перемикання режимів генерації/накопичення енергії та можливість передачі надлишків у мережу.

Структурно-принципова схема гібридної автономної системи електропостачання майстерні FPV - дронів є в додатку А.

**Висновки до розділу У** даному розділі було виконано вибір і техніко-енергетичне обґрунтування обладнання для автономної та гібридної системи електроживлення майстерні FPV-дронів. Проведено розрахунок встановленої потужності фотоелектричної системи (6,4 кВт), вибрано оптимальну кількість акумуляторів і резервний генератор. Враховано особливості

технологічного процесу, пікові навантаження, режим роботи обладнання та вимоги до безперебійності живлення.

Вибрані моделі обладнання (Jinko Solar, Growatt, Pylontech, Honda, Siemens) забезпечують високу ефективність, низькі експлуатаційні витрати та екологічність. Розроблена система дозволяє повністю забезпечити енергопотреби майстерні, зберігаючи автономність у разі зникнення мережевої напруги до 4 годин, а також можливість розширення системи в майбутньому.

## Розділ 5. ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

### 5.1. Загальні положення

Економічне обґрунтування проекту автоматизованої системи енергопостачання майстерні FPV-дронів проводиться з метою визначення доцільності впровадження гібридної енергосистеми, що базується на сонячних панелях, акумуляторних батареях LiFePO<sub>4</sub>, інверторі та резервному дизельному генераторі. Враховано також капітальні витрати на технологічне обладнання майстерні [23], де виконується збірка, тестування та обслуговування безпілотних літальних апаратів. Метою є підвищення енергоефективності, зниження залежності від зовнішніх мереж і мінімізація операційних витрат.

### 5.2. Капітальні витрати

Капітальні витрати визначають сумарні кошти, необхідні для закупівлі, монтажу та налаштування обладнання. З урахуванням тендерної знижки 30 %, розрахунок виконується за формулою:

$$C_{\text{заг}} = \sum C_i \cdot (1 - 0,3), \quad (7.1)$$

де:  $C_i$  — вартість окремої одиниці обладнання.

#### 5.2.1. Обладнання системи енергопостачання

Таблиця 5.1 Обладнання

| № | Найменування обладнання                             | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|---|---|-----------|----------------------|---------------|
| 1 | Сонячна панель Jinko Solar 625 Вт (монокристал)     | 16        | 7 800                | 124 800       |
| 2 | Інвертор Hybrid Growatt 10 кВт 48 В                 | 1         | 47 000               | 47 000        |
| 3 | Акумулятор LiFePO <sub>4</sub> 48 В × 200 А·год (10 | 4         | 38 000               | 152 000       |

|   |  |   |        |        |
|---|--|---|--------|--------|
|   | кВт·год)   |   |        |        |
| 4 | Кабельно-провідникова продукція, автоматика, кріплення | – | –      | 28 000 |
| 5 | Резервний дизельний генератор 10 кВт                   | 1 | 62 000 | 62 000 |
| 6 | Монтаж, проектування та пусканалагодження              | – | –      | 33 000 |

Разом до знижки: 446 800 грн. Після знижки 30 %:

$$C_{енерг} = 446800 \cdot 0,7 = 312760 \text{ грн}$$

### 5.2.2. Технологічне обладнання майстерні FPV-дронів

Таблиця 5.2 Обладнання виробничої майстерні

| № | Найменування обладнання                              | Кількість | Ціна за одиницю, грн | Вартість, грн |
|---|--|-----------|----------------------|---------------|
| 1 | 3D-принтер Creality Ender 3 V2                       | 2         | 10 000               | 20 000        |
| 2 | Паяльна станція Quick 861DW                          | 1         | 9 500                | 9 500         |
| 3 | Лабораторний блок живлення UNI-T UTP1306S            | 1         | 6 000                | 6 000         |
| 4 | Мультиметр цифровий UNI-T UT61E                      | 2         | 2 800                | 5 600         |
| 5 | Осцилограф Rigol DS1054Z                             | 1         | 25 000               | 25 000        |
| 6 | Верстак монтажний з LED-освітленням                  | 2         | 8 000                | 16 000        |
| 7 | Система вентиляції (витяжна установка з фільтрацією) | 1         | 15 000               | 15 000        |
| 8 | Комп'ютерне робоче місце (ПК, монітор)               | 3         | 18 000               | 54 000        |
| 9 | Інструмент, кабелі, витратні матеріали               | –         | –                    | 20 000        |

Під час закупівлі обладнання для системи енергопостачання приватної виробничої майстерні було застосовано тендерну систему придбання. Завдяки участі декількох постачальників та вибору найоптимальнішої пропозиції, вартість основних компонентів (сонячні панелі, інвертор, акумуляторні батареї, кабельна система) зменшено приблизно на 30 % від середньоринкової ціни [24].

Крім того, частина монтажних робіт виконувалася власними силами працівників майстерні, що дозволило додатково скоротити витрати. У результаті отримано загальне зниження капітальних витрат та скорочення терміну окупності проекту до 6–7 років, що підтверджує економічну доцільність реалізації системи автономного енергопостачання.

Разом до знижки: 171 100 грн. Після знижки 30 %:

$$C_{\text{майстерні}} = 171100 \cdot 0,7 = 119770 \text{ грн}$$

### 5.2.3. Загальний кошторис

Таблиця 7.3 Таблиця кошторису

| Категорія  | Вартість до знижки, грн | Після знижки, грн |
|--|-------------------------|-------------------|
| Система енергопостачання (СЕС, акумулятори, генератор) | 446 800                 | 312 760           |
| Обладнання майстерні FPV-дронів                        | 171 100                 | 119 770           |
| <b>Разом:</b>  | <b>617 900</b>          | <b>432 530</b>    |

### 5.3. Експлуатаційні витрати

Експлуатаційні витрати враховують обслуговування [25], сервіс акумуляторів, дрібний ремонт і технічну підтримку. Визначаються за формулою:

$$C_{\text{експ}} = 0,02 \cdot C_{\text{заг}} = 0,02 \cdot 432530 = 8651 \text{ грн / рік}$$

#### 5.4. Річна економія електроенергії

Річна економія від генерації власної енергії:

$$E_{\text{річн}} = P_{\text{еф}} \cdot T \cdot K_{\text{еф}} \cdot C_T,$$

де:

$P_{\text{еф}} = 10 \text{ кВт}$  – встановлена потужність;

$T = 4,5 \text{ год} / \text{день} \cdot 365 = 1642,5 \text{ год} / \text{рік}$ ;

$K_{\text{еф}} = 0,8$  – коефіцієнт самоспоживання;

$C_T = 6,0 \text{ грн} / \text{кВт}$  – тариф на електроенергію.

$$E_{\text{річн}} = 10 \cdot 1642,5 \cdot 0,8 \cdot 6,0 = 78840 \text{ грн} / \text{рік}$$

#### 5.5. Річний економічний ефект

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{річн}} - C_{\text{експ}} = 78840 - 8651 = 70189 \text{ грн} / \text{рік}$$

#### 5.6. Строк окупності

$$T_{\text{ок}} = \frac{C_{\text{заг}}}{E_{\text{еф}}} = \frac{432530}{70189} \approx 6,16 \text{ років}$$

Отже, система повністю окупається приблизно за 6–7 років, що є оптимальним показником для ВДЕ-проектів цього масштабу.

#### 5.7. Економічний ефект за експлуатаційний цикл

$$E_{\text{еф}} = E_{\text{еф}} \cdot 25 = 70189 \cdot 25 = 1754725 \text{ грн}$$

Таким чином, за весь термін експлуатації система забезпечує економію понад 1,7 млн грн, зменшує викиди CO<sub>2</sub> та підвищує енергетичну автономність майстерні.

**Висновки** Впровадження гібридної системи енергопостачання забезпечує зменшення витрат на електроенергію до 80 %. Термін окупності проєкту — 6–7 років, при строку служби панелей понад 25 років.

Економічний ефект за життєвий цикл — понад 1,7 млн грн. Система створює умови для енергонезалежної роботи майстерні FPV-дронів, підтримує можливість інтеграції в «зелений тариф» та знижує екологічне навантаження на довкілля. Застосування тендерного механізму закупівель дозволило зменшити капітальні витрати на 30 %, що значно підвищило економічну ефективність реалізації проєкту.

## **Розділ 6. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ**

### **6.1. Загальні положення з охорони праці**

Охорона праці є невід'ємною складовою функціонування будь-якого виробничого об'єкта і спрямована на створення безпечних та здорових умов праці, запобігання травматизму, професійним захворюванням і аварійним ситуаціям. Основні положення у сфері охорони праці в Україні регламентуються Законом України «Про охорону праці», Кодексом законів про працю та НПАОП 0.00-1.28-10 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів».

Метою заходів з охорони праці є забезпечення оптимальних умов для виконання працівниками професійних обов'язків у межах виробничої майстерні, запобігання виникненню небезпечних та шкідливих виробничих факторів, а також гарантування безпечної експлуатації електрообладнання та систем енергопостачання [26,27].

Згідно з чинним законодавством, роботодавець зобов'язаний створити безпечне виробниче середовище, забезпечити працівників засобами індивідуального захисту, провести навчання, інструктаж і перевірку знань з питань охорони праці та пожежної безпеки.

### **6.2. Характеристика виробничого середовища**

Виробнича майстерня з виготовлення та ремонту FPV-дронів є приміщенням, у якому виконуються технологічні операції з паяння, складання, калібрування та тестування електронних пристроїв [29, 30].

Робочі місця обладнані столами для монтажу, паяльними станціями, зарядними пристроями, вимірювальною технікою та комп'ютерними робочими станціями.

Під час експлуатації електроустановок у приміщенні діють такі потенційно небезпечні та шкідливі фактори:

- електричний струм підвищеної напруги;

- перегрівання елементів обладнання;
- випаровування флюсів і розчинників;
- шум від вентиляторів і компресорів;
- недостатнє або надмірне освітлення;
- можливість пожежі при короткому замиканні або порушенні ізоляції.

Для запобігання впливу цих факторів передбачено комплекс організаційних і технічних заходів безпеки, а також відповідне облаштування робочих місць.

### **6.3. Електробезпека**

Оскільки діяльність майстерні пов'язана з роботою електротехнічного та електронного обладнання, особлива увага приділяється електробезпеці.

Усі електроустановки виконані відповідно до Правил улаштування електроустановок (ПУЕ) [26], мають заземлення, ізоляційний контроль і захисні автомати.

До основних заходів електробезпеки належать:

- використання трипровідних розеток із заземленням корпусів обладнання;
- перевірка опору ізоляції кабелів не рідше ніж раз на рік;
- застосування автоматичних вимикачів, диференційних реле (ПЗВ);
- забезпечення працівників діелектричними килимками, рукавичками, інструментом із ізольованими ручками;
- інструктаж з правил надання першої допомоги при ураженні електричним струмом.

У системі електропостачання відновлюваного типу (сонячні панелі — контролер — АКБ — інвертор) передбачено автоматичне вимкнення живлення у разі короткого замикання, контроль струмів витоку та ізоляцію постійного та змінного контурів [26].

#### 6.4. Пожежна безпека

Майстерня належить до категорії В за пожежною небезпекою. Основними причинами займання можуть бути коротке замикання, перегрів електропроводки, неправильне зберігання легкозаймистих матеріалів (флюси, розчинники) [27].

Для запобігання пожежам передбачено:

- використання кабелів з негорючою ізоляцією;
- обладнання приміщення автоматичною системою пожежної сигналізації;
- наявність вогнегасників типу ВВК-2, ВП-5, ВВП-6 у доступних місцях;
- проведення інструктажів щодо дій при пожежі;
- розміщення евакуаційних виходів та плану евакуації на видимих ділянках [27].

При виникненні займання працівники зобов'язані негайно відключити електроживлення, використати первинні засоби пожежогасіння та повідомити чергові служби.

#### 6.5. Мікроклімат та санітарно-гігієнічні умови

Робоче середовище майстерні повинно відповідати вимогам ДСП 9.2.5.162-2010. Температура повітря підтримується у межах +18...+24°C, відносна вологість — 40–60%, швидкість руху повітря — не більше 0,2 м/с.

Для цього використовується система вентиляції з фільтрацією повітря, а також кондиціонування у літній період.

Освітлення робочих місць виконується комбінованим — *природним і штучним*. Для штучного освітлення застосовуються енергоефективні *LED-світильники з температурою світла 4000–5000 К*, що забезпечують освітленість не менше 300 лк на робочій поверхні.

Під час пайки та роботи з флюсами обов'язковим є використання витяжних пристроїв або місцевої вентиляції, щоб уникнути концентрації шкідливих парів у повітрі.

## **6.6. Безпека при експлуатації відновлюваних джерел енергії**

У проєкті використовується сонячна фотоелектрична установка, яка живить частину обладнання майстерні. Для забезпечення безпеки її експлуатації передбачено:

- дотримання електричної ізоляції всіх струмопровідних частин;
- заземлення металевих конструкцій сонячних модулів;
- контроль температури батарей і контактів;
- встановлення захисних автоматів на постійній та змінній стороні;
- регулярне технічне обслуговування та перевірка з'єднань.

При проведенні монтажних або ремонтних робіт забороняється доторкатися до елементів системи під напругою. Персонал допускається до роботи лише після проходження інструктажу та перевірки знань правил безпечної експлуатації [27].

## **6.7. Організаційні заходи з охорони праці**

Організація охорони праці включає:

- проведення *вступного, первинного, повторного, цільового та позапланового інструктажів*;
- медичні огляди працівників;
- навчання правилам безпечного користування електроінструментом;
- забезпечення працівників засобами індивідуального захисту (окуляри, рукавички, антистатичний одяг).

Відповідальний за охорону праці здійснює контроль дотримання норм безпеки, веде журнал реєстрації інструктажів і проводить аналіз можливих ризиків [29].

## **6.8. Безпека життєдіяльності та цивільний захист**

Безпека життєдіяльності у межах виробничої майстерні полягає у створенні умов, що унеможливають виникнення аварійних ситуацій, а також у готовності персоналу до дій у разі надзвичайних подій [30].

Працівники повинні знати:

- місце розташування аварійного виходу;
- порядок евакуації;
- правила поведінки під час пожежі, вибуху чи ураження струмом;
- контакти екстрених служб (101, 103, 112).

Крім того, у приміщенні має бути *аптечка першої допомоги, засоби зв'язку та автономне аварійне освітлення* у разі відключення живлення.

### **Висновок до розділу «Охорона праці та безпека життєдіяльності»**

Розроблена система охорони праці та безпеки життєдіяльності забезпечує мінімізацію професійних ризиків під час експлуатації автоматизованої системи електропостачання майстерні.

Застосування технічних, організаційних та санітарно-гігієнічних заходів гарантує відповідність умов праці чинним нормативам і створює безпечне середовище для персоналу.

Реалізація системи моніторингу, автоматичного вимкнення живлення та контролю параметрів сонячної установки підвищує рівень безпеки, надійності й екологічності виробничого процесу.

## Розділ 7. ЕКОЛОГІЧНА ОЦІНКА ПРОЄКТУ

Сучасні тенденції розвитку енергетики ґрунтуються на принципах сталого розвитку, що передбачають гармонійне поєднання економічних, соціальних та екологічних складових. У контексті проєкту автоматизованої системи електропостачання виробничої майстерні з виготовлення та ремонту FPV-дронів важливим аспектом є екологічна безпечність функціонування системи та мінімізація негативного впливу на довкілля [31].

Використання альтернативних джерел енергії — зокрема сонячних панелей та акумуляторних систем зберігання енергії — дозволяє суттєво знизити споживання електроенергії з централізованої мережі, яка значною мірою базується на викопному паливі. Це безпосередньо сприяє скороченню викидів парникових газів ( $\text{CO}_2$ ,  $\text{CH}_4$ ,  $\text{NO}_x$ ), зменшенню залежності від теплових електростанцій і формуванню екологічно орієнтованого енергетичного балансу.

Однією з ключових переваг сонячних енергетичних систем є відсутність шкідливих викидів у процесі експлуатації. Фотоелектричні модулі працюють без спалювання палива, не утворюють пилу, диму чи токсичних газів [31]. Це особливо важливо для виробничих приміщень, розташованих у межах населених пунктів, де екологічні норми щодо чистоти повітря та рівня шуму є суворими.

Встановлення гібридної енергосистеми - сонячна генерація; акумуляторна батарея; автоматизоване керування забезпечує: зменшення навантаження на електричні мережі в години пікового споживання;

- зниження витрат електроенергії з традиційних джерел на 30–50 %;
- збереження природних ресурсів (газу, вугілля, нафти);
- зменшення шумового та теплового забруднення;

створення умов для формування локальної зеленої енергосистеми.

Важливим напрямом екологічної безпеки є також правильна утилізація акумуляторних елементів після завершення терміну їх експлуатації. Використання літій-залізо-фосфатних ( $\text{LiFePO}_4$ ) батарей у порівнянні з традиційними свинцево-кислотними є більш екологічним рішенням, оскільки такі акумулятори не містять токсичних сполук свинцю та кадмію, а їхній життєвий цикл перевищує 10 років [31].

Для підтримання екологічної рівноваги на території виробничої майстерні передбачається [31]:

- роздільне збирання твердих побутових і технічних відходів;
- повторне використання придатних матеріалів;
- енергозберігаюче освітлення з використанням LED-технологій;
- мінімізація використання шкідливих хімічних речовин під час обслуговування обладнання.

Таким чином, реалізація проєкту автоматизованої енергосистеми з використанням відновлюваних джерел енергії забезпечує не лише енергоефективність, але й екологічну стабільність виробничого процесу, зменшуючи антропогенне навантаження на навколишнє середовище.

Застосування подібних технологій відповідає Цілям сталого розвитку програми ООН (до 2030 року), яка включає 17 загальних цілей. Зокрема Цілі №7 — «Доступна та чиста енергія» та Цілі №13 — «Боротьба зі зміною клімату».

#### **Висновок до розділу «Екологічна оцінка проєкту»**

Проведена екологічна оцінка свідчить, що впровадження системи електропостачання майстерні на базі альтернативних джерел енергії має позитивний вплив на стан навколишнього середовища та відповідає принципам сталого розвитку.

Застосування фотоелектричних модулів і акумуляторних батарей у поєднанні з автоматизованим керуванням енергоспоживанням дозволяє не лише оптимізувати роботу технологічного обладнання, але й суттєво

скоротити шкідливі викиди в атмосферу, що притаманні традиційним енергосистемам.

Використання відновлюваних джерел енергії забезпечує:

- зменшення антропогенного навантаження на екосистеми за рахунок скорочення споживання енергії з ТЕС;
- економію природних ресурсів, зокрема викопного палива;
- зниження рівня шумового та теплового забруднення виробничого середовища;
- збереження екологічної рівноваги та покращення санітарно-гігієнічних умов праці персоналу;
- створення основи для формування локальної “зеленої” енергетики в межах малих виробництв.

Додатковою екологічною перевагою проєкту є тривалий термін експлуатації сонячних панелей (понад 20 років) та можливість повторного використання компонентів системи після модернізації. При дотриманні належних умов утилізації акумуляторних батарей вплив проєкту на довкілля залишається мінімальним, а його екологічна ефективність — високою.

Отже, запропонована автоматизована система електропостачання майстерні на базі сонячної енергії є екологічно безпечною, енергоефективною та перспективною з погляду розвитку відновлюваної енергетики в Україні. Її впровадження сприяє не лише підвищенню автономності виробництва, але й формуванню екологічної культури використання енергоресурсів у промисловому секторі.

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі розроблено й обґрунтовано систему автоматизованого електропостачання майстерні з виготовлення та ремонту FPV-дронів, яка базується на використанні відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних панелей та акумуляторних батарей типу LiFePO<sub>4</sub>.

В результаті проведених досліджень здійснено аналіз сучасних джерел енергопостачання та визначено переваги гібридних систем; розроблено блок-схему системи керування енергопостачанням з резервним дизельним генератором; створено модель роботи системи в середовищі MATLAB/Simulink, що дозволила дослідити перехідні режими, зміни потужності сонячних панелей та стан заряду батарей; виконано розрахунок параметрів обладнання для реальних умов роботи майстерні, включаючи навантаження виробничих та офісних зон; проведено економічний аналіз проєкту, який підтвердив доцільність впровадження системи з терміном окупності близько 8–10 років; розроблено рекомендації щодо екологічної та енергетичної безпеки, які забезпечують зниження викидів CO<sub>2</sub> та підвищення ефективності використання енергії.

Отримані результати мають практичне значення для впровадження у малих виробничих підприємствах, навчальних лабораторіях і сервісних майстернях, що прагнуть енергетичної автономії та екологічної стабільності.

Запропонована система сприяє формуванню сучасних підходів до «зеленої енергетики», розвитку енергоефективних технологій та підвищенню конкурентоспроможності вітчизняних підприємств.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України. Про альтернативні джерела енергії. Із змінами і доповненнями, внесеними Законами України від 3 грудня 2025 року. 2003. № 555 – IV (Чинний).
2. Проект. Нова енергетична стратегія України до 2035 року: «Безпека, Енергоефективність, Конкурентоспроможність» Режим доступу: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>.
3. BDO Renewables in Ukraine Report (BDO в Україні з питань відновлюваної енергетики в Україні у 2025 році: огляд ситуації, виклики та перспективи). [https://home.kpmg/content/dam/kpmg/ua/pdf/2019/09/Renewables-Report\\_2019-ua.pdf](https://home.kpmg/content/dam/kpmg/ua/pdf/2019/09/Renewables-Report_2019-ua.pdf).
4. Енергоощадність та альтернативні джерела енергії. М. С. Сегеди. Видавництво: Львівська політехніка, Львів: 2020 – 184 с.
5. Beck H.-P., Hou M.Z., Wang Q. та ін. A comprehensive review of sustainable energy systems in the context of the German energy transition—part 2: renewable energy and storage technologies. Carbon Neutral Systems, vol. 1, article 13, 2025.
6. Malik F.H. Integrating Energy Storage Technologies with Renewable Electricity Systems. Sustainability, vol. 17, no. 9, 2025. – 160p.
7. Enasel E. Storage Solutions for Renewable Energy: A Review. Elsevier — Renewable Energy Research, 2025. - 189 p.
8. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / [Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В., Саченко А.І.]; за редакцією доктора технічних наук, професора Клименка В. В. – М-во освіти і науки України, Центральноукр. нац. техн. ун-т. – Кропивницький : ПП Ексклюзив-Систем, 2023. – 268с.
9. Net billing замість зеленого тарифу. Які зміни очікують на сонячну енергетику у 2023 році? URL: <https://inteleng.com.ua/blog-uk/net-billing-zamistzelenogo-tarifu-yaki-zmini-o/>.
10. Integration of renewable energy sources in buildings: a review of technologies and implementation. ScienceDirect Renewable Energy, 2025. - 410p.

11. Zavrzhnyi, K., Kulyk, A., Voronenko, V., Sokolov, M., & Antunes de Abreu, O. (2024). Formation of strategic directions for the use of artificial intelligence in the enterprise to achieve the goals of sustainable development. *Financial and Credit Activity Problems of Theory and Practice*, 5(58), 470–483. <https://essuir.sumdu.edu.ua/handle/123456789/97179>.
12. Луговська А.В. Відновлювані джерела енергії в промисловості: Бібліографічний список № 6903 – К.: інформаційно-бібліографічний відділ Книги, журн. статті, статті із зб. наук. праць, автореф. дис. (2014 - 2020 рр.).– 2020. – 22с.
13. Гальчак В.П., Гринько О. М. Основи автоматизованого проектування системи автоматичного управління. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 568 с.
14. Цифрова епоха та роль хмарних технологій Режим доступу: <https://gigacloud.ua/articles/hmarni-tehnologiyi-shho-cze-ta-yaki-perevagy-nadayut-lyudyam-ta-biznesu/>.
15. Як розумне обладнання та хмарне програмне забезпечення підвищують ефективність? Режим доступу: <https://ecolog-ua.com/news/yak-rozumne-obladnannya-ta-hmarne-programne-zabezpechennya-pidvyshchuyut-efektyvnist>.
16. Свинцево-кислотні акумулятори. Режим доступу: [https://pulsar.kiev.ua/ostar\\_battery\\_general\\_series](https://pulsar.kiev.ua/ostar_battery_general_series)
17. Цикл статей «Сонячні панелі та АКБ для інверторів». Частина 1. URL: <https://www.bezpeka-shop.com/ua/blog/obzor/solnechn-e-panely-y-akb-dlya-invertorov/>
18. Як вибрати акумулятор для сонячної електростанції. URL: <https://www.solargarden.com.ua/yak-vybraty-akumulyator-dlya-sonyachnoielektrostantsii/>
19. Балюта С.М., Люлька Д.М., Серьогін О.О., Осмак О.О. Альтернативні джерела енергії в системах електропостачання. Підручник. [Електронний ресурс]. –К.: НУХТ, 2024. –397 с. 20. Встановлена потужність енергосистеми України на 01/2021. Режим доступу: <https://ua.energy/vstanovlenna-potuzhnist-energosityemy-ukrayiny/#>.

21. Розрахунок сонячних кутів та приходу сонячної радіації. Режим доступу: [http://vde.kpi.ua/images/articles/gaevskii/educ/photoen/RR\\_PVpower.pdf](http://vde.kpi.ua/images/articles/gaevskii/educ/photoen/RR_PVpower.pdf)
22. Сонячні батареї в Україні. URL: <http://ukrenerho.com/sonyachnibatareyi-kupiti-v-ukrayini/>.
23. Інноваційні джерела енергії: навч. посіб. / О.О. Азюковський, Д.В. Циценков, О.В. Бобров, Н.С. Дрешпак, С.І. Федоров; Мін-во освіти і науки України, Нац. техн. ун-т «Дніпровська політехніка». Дніпро: НТУ "ДП", 2024. – 336 с. ISBN 978-966-981-935-2 9.
24. . Інноваційно-інвестиційна діяльність у розвитку альтернативних джерел енергії [Електронний ресурс] / Г. М. Христенко, І. С. Гурська // Наукове фахове видання Ефективна економіка. – 2021. – 115с.
25. Barrera-Singaña C. A Comprehensive Review on the Integration of Renewable Energy Sources into Power Systems. *Energies*, vol. 18, no. 11, 2025. - 232p.
26. Будстандарт. Правила улаштування електроустановок (перше переглянуте, перероблене, доповнене та адаптоване до умов України видання), Міненерговугілля України. Київ: 2017 - 617 с.
27. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів (2-е видання) зі змінами від 11.01.2017 р. – Х.: Видавництво «Індустрія», 2006.– 320 с.
28. Основи охорони праці: підручник / В.І. Голінько; М-во освіти і науки України; Нац. гірн. ун-т. – 2-ге вид. – Д.: НГУ, 2014. – 271 с.
29. В.М. Курепін. Безпека життєдіяльності та цивільний захист : підручник / О. Г. Левченко, О. В. Землянська, Н. А. Праховнік, В. В. Зацарний, К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2025. - 77 с.
30. Трофимов В. Є., Підлісний О. М. Охорона праці при автоматизації технологічних процесів : навчальний посібник. Житомир : ЖДТУ, 2014. 312с.
31. Маленко Я. В., Ворошилова Н. В., Кобрюшко О. О., Перерва В. В. Загальна екологія: навчальний посібник. Кривий Ріг: КДПУ, 2023. 231 с.

# ДОДАТКИ

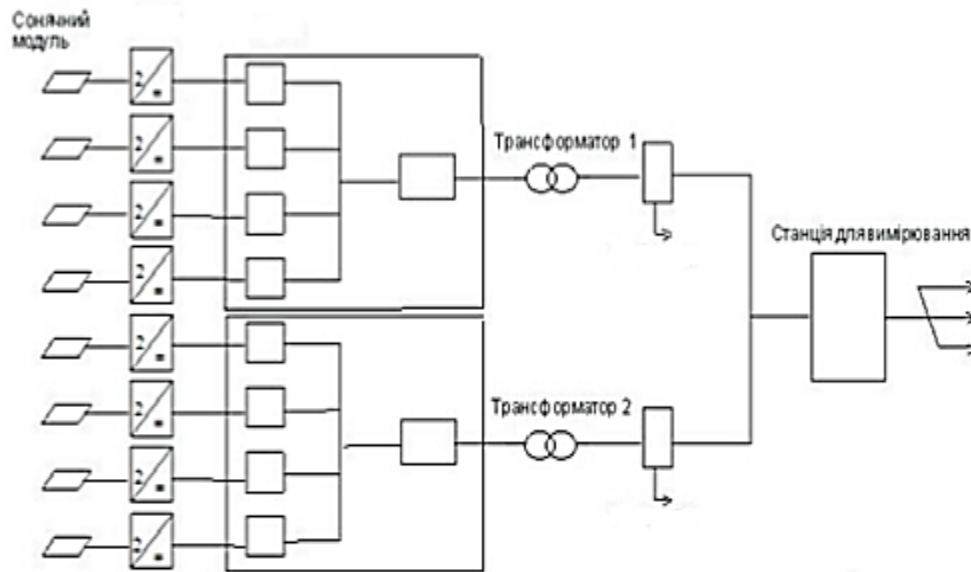


Рис. 4.6 - Структурно - принципова схема гібридної автономної системи електропостачання майстерні FPV - дронів

### Опис роботи гібридної електричної принципової схеми для майстерні з ремонту дронів

Подана електрична принципова схема призначена для забезпечення надійного та безперервного електропостачання майстерні з виготовлення, налаштування та ремонту FPV-дронів на основі використання відновлюваних джерел енергії.

Основним джерелом генерації електричної енергії в системі є сонячні фотоелектричні модулі, які згруповані у декілька паралельно-послідовних стрінгів. Кожен стрінг підключений до вхідного перетворювача постійної напруги, який виконує функції стабілізації параметрів, узгодження напруги та захисту фотоелектричних панелей від перевантажень і зворотних струмів.

Згенерована постійна напруга з фотоелектричних модулів надходить до інверторних модулів, де відбувається перетворення постійного струму у змінний з параметрами, необхідними для подальшої трансформації та живлення споживачів. Для підвищення надійності системи передбачено два

незалежні інверторно-трансформаторні канали, кожен з яких працює через власний трансформатор.

Трансформатори 1 та 2 забезпечують:

- гальванічну розв'язку джерел генерації та навантаження;
- узгодження рівнів напруги;
- підвищення електробезпеки під час експлуатації майстерні.

Після трансформації електрична енергія подається до станції для вимірювання, яка виконує функції контролю напруги, струму, активної та реактивної потужності, а також параметрів якості електроенергії. Дані зі станції можуть використовуватися для автоматизованого керування навантаженням, аналізу енергоспоживання та оптимізації режимів роботи системи.

Вихідна частина схеми забезпечує живлення внутрішніх споживачів майстерні, зокрема:

- зарядних станцій для акумуляторів дронів;
- паяльного та вимірювального обладнання;
- комп'ютерних робочих місць;
- вентиляційних та освітлювальних систем.

Гібридно – автономний характер схеми дозволяє у подальшому інтегрувати акумуляторні батареї та резервний дизельний або бензиновий генератор, що забезпечує безперебійну роботу майстерні в умовах відсутності сонячної генерації або аварійних відключень зовнішньої мережі.

**Схема добре підходить для майстерні:**

- модульна та масштабована;
- забезпечує стабільну напругу для чутливої електроніки;
- легко інтегрується з акумуляторними системами;
- відповідає концепції автономної або напівавтономної майстерні;
- підходить для навчально-виробничих об'єктів.

### Схема підключення сонячних панелей

Ефективне функціонування сонячної електростанції значною мірою залежить від правильно спроектованої схеми підключення сонячних панелей. Детально розглянемо різні способи з'єднання фотоелектричних модулів, їх переваги та недоліки, а також особливості підключення сонячних батарей до інвертора та акумуляторів.

### Основні принципи роботи сонячних панелей

Сонячні панелі перетворюють енергію сонячного світла на електрику завдяки фотоелектричному ефекту. Монокристалічні, полікристалічні та аморфні панелі виготовляються з кремнію — напівпровідника, здатного перетворювати сонячне випромінювання на постійний струм. Кремнієвий напівпровідник має р-п перехід, де сторона «р» містить надлишок дірок, а сторона «п» — надлишок електронів. Під впливом світла виникає упорядкований рух електронів, що призводить до виникнення електричного струму.

Однак потужність однієї панелі зазвичай недостатня для забезпечення потреб будинку чи підприємства, тому їх об'єднують у масиви за допомогою різних схем підключення. Правильно спроектована схема підключення сонячних панелей є запорукою ефективної роботи всієї системи.

### Способи підключення сонячних батарей

Існує три основні способи підключення сонячних батарей: послідовне, паралельне та комбіноване (послідовно-паралельне) з'єднання. Кожен спосіб має свої особливості та сфери застосування.

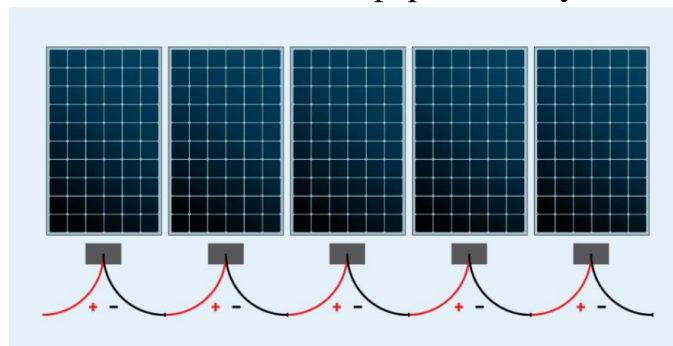


Рисунок 1.1 - Послідовне з'єднання сонячних панелей

При послідовному з'єднанні сонячних панелей плюсова клемма одного модуля з'єднується з мінусовою клеммою іншого. Таким чином створюється єдиний ланцюг, через який проходить струм. Така схема підключення сонячних панелей має наступні характеристики: напруга панелей

підсумовується; сила струму залишається незмінною; загальна потужність дорівнює сумі потужностей кожної панелі.

Послідовне з'єднання дозволяє досягти необхідного рівня напруги для ефективної роботи інвертора. Більшість мережевих інверторів потребують досить високої вхідної напруги (180-600 В), яку можна забезпечити саме послідовним з'єднанням достатньої кількості панелей.

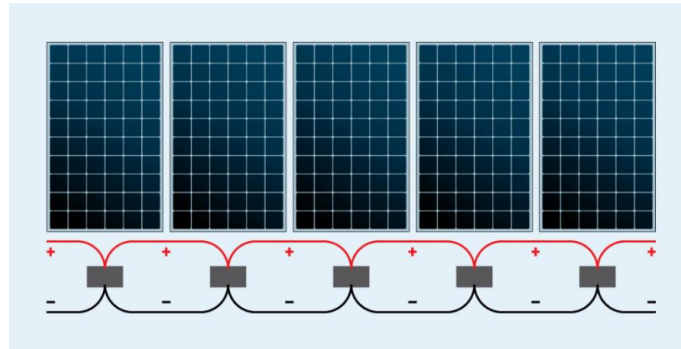


Рисунок 1.2 – Паралельне з'єднання сонячних панелей

При паралельному з'єднанні плюсові клеми всіх модулів з'єднуються між собою, так само як і мінусові. Основні характеристики такої схеми: напруга залишається на рівні однієї панелі; сила струму підсумовується; загальна потужність дорівнює сумі потужностей кожної панелі.

Паралельне з'єднання особливо корисне в системах з низьковольтними інверторами або контролерами заряду, які розраховані на роботу з високими струмами і відносно низькою напругою. Також паралельне підключення забезпечує більшу надійність системи, оскільки вихід з ладу однієї панелі не призводить до зупинки роботи всього масиву.

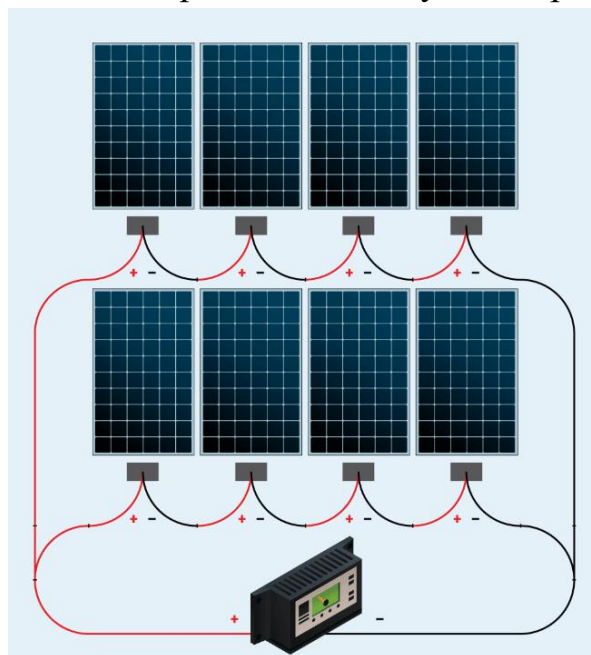


Рис. 1.3 - Послідовно-паралельне підключення

Цей тип з'єднання комбінує обидва попередні способи і дозволяє оптимізувати як напругу, так і силу струму системи. Спочатку панелі об'єднуються в послідовні «стрінги» (ланцюги), а потім ці стрінги з'єднуються паралельно. Така схема найчастіше використовується для потужних сонячних електростанцій.

Послідовно-паралельне з'єднання дає змогу досягти оптимального співвідношення напруги та струму, що важливо для ефективної роботи інверторів з кількома МРРТ-входами.

### **Схема підключення сонячних панелей до інвертора**

Інвертор є ключовим елементом сонячної електростанції, що перетворює постійний струм від панелей на змінний струм для живлення побутових приладів. Схема підключення сонячних панелей до інвертора має враховувати технічні характеристики обох компонентів: робочий діапазон напруги інвертора (МРРТ); максимальну силу струму на вході інвертора; максимальну потужність інвертора; кількість МРРТ – трекерів.

Сучасні інвертори часто мають кілька незалежних МРРТ-входів, що дозволяє підключати до них окремі стрінги панелей. Це особливо корисно, коли панелі розташовані на різних схилах даху або мають різну орієнтацію відносно сонця. Кожен МРРТ - трекер оптимізує роботу свого стрінга незалежно від інших, що підвищує загальну ефективність системи.

### **Важливі аспекти підключення до інвертора:**

1. **Відповідність напруги:** Напруга стрінга панелей повинна знаходитись в межах робочого діапазону МРРТ інвертора. Занадто низька напруга не дозволить інвертору запуснитись, а занадто висока може пошкодити пристрій.
2. **Відповідність струму:** Максимальний струм, що генерується стрінгом або паралельно з'єднаними стрінгами, не повинен перевищувати максимально допустимий струм входу інвертора.
3. **Відповідність потужності:** Загальна потужність підключених сонячних панелей зазвичай може перевищувати номінальну потужність інвертора на 10-30%, оскільки панелі рідко працюють на повну потужність через різні фактори (кут нахилу, забруднення, температура).

### **Схема підключення акумуляторних батарей**

У автономних та гібридних сонячних системах важливу роль відіграють акумуляторні батареї, які накопичують надлишкову енергію для використання в нічний час або в періоди недостатньої сонячної активності.

### **Послідовне з'єднання акумуляторів**

При послідовному з'єднанні акумуляторних батарей: напруга підсумовується; ємність залишається незмінною; використовується, коли потрібна більша напруга системи.

### **Паралельне з'єднання акумуляторів**

При паралельному з'єднанні акумуляторних батарей: напруга залишається незмінною; ємність підсумовується; збільшується час автономної роботи системи.

З'єднавши паралельно два акумулятори напругою 12 В і ємністю 100 Ач, отримаємо систему з напругою 12 В і ємністю 200 А год.

### **Схема підключення двох акумуляторних батарей**

Для збільшення ємності дві акумуляторні батареї з однаковими характеристиками підключаються паралельно. Якщо потрібно збільшити напругу системи, їх з'єднують послідовно. Важливо використовувати акумулятори однакового типу, ємності та виробника для запобігання втрат енергії та збільшення терміну служби системи.

### **Послідовно-паралельне з'єднання акумуляторів**

Для створення акумуляторного блоку з більшою напругою та ємністю використовується послідовно-паралельне з'єднання. Наприклад, для отримання батареї 24 В / 200 Ач з акумуляторів 12 В / 100 Ач потрібно: з'єднати послідовно дві батареї, отримавши дві групи по 24 В / 100 А год; з'єднати ці дві групи паралельно, отримавши один блок 24 В / 200 А год.

### **Особливості підключення сонячних панелей**

#### **Контролери заряду**

В залежності від схеми з'єднання сонячних панелей використовуються різні типи контролерів заряду: для паралельного підключення — ШІМ-контролери (широко-імпульсна модуляція); для послідовного підключення — МРРТ-контролери (відстеження точки максимальної потужності).

МРРТ-контролери дають змогу отримати максимальну ефективність навіть при різноспрямованому розташуванні сонячних панелей або частковому затіненні окремих модулів. Вони відстежують точку максимальної потужності кожної панелі і оптимізують процес перетворення енергії, збільшуючи ККД системи на 20-30% порівняно з ШІМ-контролерами.

#### **Вплив затінення на різні схеми підключення**

При використанні послідовної схеми підключення затінення однієї панелі може значно знизити продуктивність усього ланцюга. Це відбувається тому, що найслабший елемент обмежує струм у всьому ланцюзі. Сучасні сонячні панелі обладнані байпасними діодами, які дозволяють струму обходити затінені елементи, але ефективність все одно знижується.

При паралельному з'єднанні затінення однієї панелі практично не впливає на роботу інших, що робить таку схему більш стійкою до часткового затінення.

### **Переваги та недоліки різних схем**

#### **Послідовне з'єднання:**

- Високий ККД при рівномірному освітленні всіх панелей;
- Менші втрати в кабелях за рахунок нижчого струму;
- Простіша проводка, менші витрати на кабелі;
- При виході з ладу однієї панелі знижується ефективність усього ланцюга;
- Висока чутливість до затінення.

#### **Паралельне з'єднання:**

- Стабільна робота навіть при частковому затіненні;
- При виході з ладу однієї панелі інші продовжують працювати;
- Низька напруга системи (безпечніше при монтажі та обслуговуванні);
- Більші втрати в кабелях через високу силу струму;
- Потреба у товстіших і дорожчих кабелях;
- Обмеження по максимальній потужності системи.

#### **Послідовно-паралельне з'єднання:**

- Оптимальне співвідношення напруги і струму;
- Вища надійність порівняно з чисто послідовним з'єднанням;
- Можливість створення потужних систем;
- Ефективна робота з інверторами, що мають кілька МРРТ-входів;
- Складніше проектування та монтаж;
- Вища вартість комплектуючих.



Рис. 1.4 – Монтаж сонячних панелей

Правильний монтаж сонячних панелей є критично важливим для максимізації виробництва електроенергії: орієнтація на південь для максимального уловлювання сонячного світла; оптимальний кут нахилу відповідно до географічного положення; уникнення затінення від дерев,

будівель та інших об'єктів; забезпечення достатньої вентиляції для запобігання перегріву.

### **Особливості монтажу для різних типів панелей**

#### **Монокристалічні панелі:**

- Вищий ККД (до 22%)
- Менша площа для тієї ж потужності
- Краща робота при прямому сонячному світлі
- Менша чутливість до високих температур

#### **Полікристалічні панелі:**

- Нижча ціна
- Хороша ефективність при розсіяному світлі
- Нижчий ККД (14-16%)
- Більша площа для тієї ж потужності

#### **Аморфні панелі:**

- Найнижча ціна
- Найкраща робота при розсіяному світлі
- Низький ККД (6-8%)
- Значно більша площа для тієї ж потужності

### **Технічне обслуговування сонячних систем**

Регулярне технічне обслуговування сонячної електростанції забезпечує її тривалу ефективну роботу:

1. **Очищення панелей** від пилу, листя та інших забруднень підвищує їх продуктивність на 10-25%.
2. **Перевірка електричних з'єднань** допомагає виявити та усунути місця з підвищеним опором, які можуть призводити до значних втрат енергії та нагрівання.
3. **Моніторинг продуктивності системи** дозволяє вчасно виявити проблемні панелі або інші компоненти, що потребують заміни.
4. **Перевірка стану акумуляторів** включає контроль рівня електроліту (для відкритих типів), вимірювання напруги та внутрішнього опору для оцінки залишкової ємності.

**Висновок** Вибір оптимальної схеми підключення сонячних панелей залежить від багатьох факторів: типу та потужності обладнання, умов монтажу, особливостей розташування та бюджету проекту. Правильно спроектована схема з'єднання сонячних батарей забезпечить максимальну ефективність системи, мінімізацію втрат енергії та тривалий термін служби всіх компонентів.

Встановлення сонячних батарей — це інвестиція в енергетичну незалежність та екологічне майбутнє. Для отримання максимальної віддачі від сонячної електростанції.