

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського  
Навчально-науковий інститут муніципального управління  
та міського господарства  
Кафедра інженерних систем та технологій

На правах рукопису

Кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

## ТЕМА РОБОТИ

«Автоматизована система моніторингу електропостачання  
житлових будинків з використанням технології інтернету речей»

Здобувача вищої освіти  
Алексєєнка Валерія Олександровича  
Освітня програма  
**«Автоматизоване управління  
технологічними процесами»**  
(Спеціальність 174  
«Автоматизація, комп'ютерно-  
інтегровані технології та  
робототехніка»)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник:  
к.т.н., доцент, Мошенський А.О.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Національна шкала \_\_\_\_\_  
Кількість балів \_\_\_\_\_  
Оцінка: ECTS

Київ – 2025

Таврійський національний університет імені В. І. Вернадського  
Навчально-науковий інститут муніципального управління  
та міського господарства  
Кафедра інженерних систем та технологій  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані  
технології та робототехніка»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри

Наталія ОМЕЦІНСЬКА

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2025 року

## ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Алексєенку Валерію Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Автоматизована система моніторингу електропостачання житлових будинків з використанням технології інтернету речей  
керівник роботи: к.т.н., доцент, Мошенський А.О.  
затверджені Наказом ТНУ імені В.І Вернадського:  
від « 02 » жовтня 2025 р. № 116
2. Строк подання здобувачем вищої освіти роботи: 05.12.2025
3. Вихідні дані до роботи: Перелік літератури та інтернет-джерел щодо використання технології Інтернету речей для оптимізації системи моніторингу електропостачання.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:
  - 4.1. Провести аналітичний огляд розподілених мереж з використанням IoT-технологій.
  - 4.2. Провести аналітичний огляд існуючих фотоелектричних систем, вітрових електростанцій та централізованої системи енергопостачання.
  - 4.3. Розробити функціональну схему системи моніторингу.
  - 4.4. Розробити інтерфейс розподіленої мережі управління енергією для житлового котеджу.
  - 4.5. Розкрити питання охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
5. Перелік графічного матеріалу: графічний матеріал виконаний у вигляді мультимедійної презентації.

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	к.т.н., доцент, Мошенський А.О.		
Розділ 2	к.т.н., доцент, Мошенський А.О.		
Розділ 3	к.т.н., доцент, Мошенський А.О.		
Розділ 4	к.т.н., доцент, Мошенський А.О.		

7. Дата видачі завдання 03 жовтня 2025 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи	Заключний документ етапу	
1	Вибір теми магістерської роботи, призначення керівника	до 08.09.2025	Затвердження переліку тем магістерських робіт та наукових керівників	
2	Пошук і відбір літератури по темі роботи, складання плану магістерської роботи	до 15.09.2025	Список літературних (інформаційних) джерел, план роботи	
3	Визначення об'єкта, предмета, мети, завдань та методів дослідження, написання вступу до теми магістерського дослідження	до 22.09.2025	Текст вступу	
4	Написання тексту магістерської роботи відповідно до її структури:		Текст розділів	
	4.1	I розділ		23.09.2025 – 05.10.2025
	4.2	II розділ		06.10.2025 – 20.10.2025
	4.3	III розділ		21.10.2025 – 03.11.2025
	4.4	IV розділ		04.11.2025 – 10.11.2025
5	Підготовка графічних матеріалів чи іншого унаочнення	11.11.2025 – 14.11.2025	Роздатковий матеріал, презентація	
6	Оформлення кінцевого списку використаних джерел та додатків	15.11.2025 – 21.11.2025	Список літературних джерел	
7	Оформлення та попередній захист магістерської роботи	24.11.2025 – 28.11.2025	Магістерська робота, рішення кафедри про допуск до захисту	
8	Внесення коректив та кінцеве редагування магістерської роботи	01.12.2025 – 05.12.2025	Магістерська робота	
9	Реєстрація магістерських робіт на кафедрі	до 05.12.2025	Магістерська робота внесена до журналу реєстрації випускових робіт	
10	Захист магістерської роботи	15.12.2025 – 26.12.2025	Рішення Екзаменаційної комісії про захист	

## АНОТАЦІЯ

**Алексєєнко В. О. Автоматизована система моніторингу електропостачання житлових будинків з використанням технології інтернету речей – Рукопис.**

Кваліфікаційна магістерська робота за спеціальністю 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». – Таврійський національний університет імені В.І. Вернадського, Київ, 2025 рік.

Магістерська кваліфікаційна робота присвячена розробці інтелектуальної системи моніторингу та керування енергопостачанням типового житлового котеджу (100 м<sup>2</sup>) на основі відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та технологій Інтернету речей (ІоТ).

Актуальність дослідження зумовлена необхідністю переходу до розподіленої та стійкої енергетики на тлі зростаючих тарифів та структурних недоліків централізованого енергопостачання, що особливо важливо для забезпечення енергетичної автономності в умовах сучасних викликів.

Метою роботи є розробка системи, що забезпечує безперебійну та оптимізовану роботу гібридного енергетичного комплексу (сонячні панелі та вітрова турбіна) через інтелектуальне балансування генерації та споживання.

У процесі роботи проведено аналітичний огляд існуючих ФВ-систем та розподілених мереж, виконано розрахунок енергоспоживання та вибір оптимального обладнання, а також розроблено технологічну схему (P&ID) та алгоритм автоматичного вибору джерел енергії.

Ключовим елементом реалізації є програмно-апаратний комплекс, що включає настільний (на C#) і мобільний (Energy Home) додатки для моніторингу та управління, а також систему керування сонячним трекером на базі Arduino для підвищення ефективності фотоелектричних панелей.

Запропоновані рішення демонструють практичну цінність для проектування енергоавтономних житлових будинків, підвищуючи їхню енергоефективність, надійність та впроваджуючи макроскопічні принципи децентралізації, цифровізації та інтелектуалізації енергосистем.

**Ключові слова:** Відновлювані джерела енергії (ВДЕ), Інтернет речей (ІоТ), система моніторингу, сонячний трекер, розподілена генерація, енергоменеджмент (EMS), фотоелектричні системи.

## ABSTRACT

### **Alekseenko V. O. Automated system for monitoring electricity supply to residential buildings using Internet of Things technology – Manuscript.**

Master's thesis in the specialty 174 “Automation, Computer-Integrated Technologies and Robotics.” – V.I. Vernadsky Tavria National University, Kyiv, 2025.

The master's thesis is devoted to the development of an intelligent system for monitoring and controlling the energy supply of a typical residential cottage (100 m<sup>2</sup>) based on renewable energy sources (RES) and Internet of Things (IoT) technologies.

The relevance of the research is determined by the need to transition to distributed and sustainable energy against the backdrop of rising tariffs and structural shortcomings of centralized energy supply, which is especially important for ensuring energy autonomy in the face of modern challenges.

The aim of the work is to develop a system that ensures the uninterrupted and optimized operation of a hybrid energy complex (solar panels and wind turbine) through intelligent balancing of generation and consumption.

In the course of the work, an analytical review of existing PV systems and distributed networks was conducted, energy consumption was calculated, and optimal equipment was selected. A technological diagram (P&ID) and an algorithm for automatic selection of energy sources were also developed.

The key element of implementation is a software and hardware complex that includes desktop (C#) and mobile (Energy Home) applications for monitoring and control, as well as an Arduino-based solar tracker control system to increase the efficiency of photovoltaic panels.

The proposed solutions demonstrate practical value for the design of energy-autonomous residential buildings, increasing their energy efficiency and reliability and implementing macroscopic principles of decentralization, digitalization, and intellectualization of energy systems.

Keywords: Renewable energy sources (RES), Internet of Things (IoT), monitoring system, solar tracker, distributed generation, energy management (EMS), photovoltaic systems.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ.....	12
1.1 Розподілена енергетика.....	12
1.2 Перспективи використання відновлювальної енергетики в Україні ..	16
1.3 Огляд фотоелектричних станцій.....	19
1.4 Огляд вітроенергетики: конструкція та принцип роботи.....	25
1.5 Живлення від мережі.....	30
1.6 Технологія Інтернету Речей (IoT) .....	31
1.7 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1.....	35
РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ .....	37
2.1 Розробка структурної схеми енергопостачання житлового котеджу .	37
2.2 Розрахунок енергоспоживання та потреби в потужностях .....	40
2.3 Порівняльний аналіз та вибір комплексу технічних засобів .....	42
2.4 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2.....	57
РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ .....	58
3.1 Розробка програмного забезпечення системи моніторингу енергопостачання .....	58
3.2 Розробка системи керування сонячним трекером на базі мікроконтролера Arduino Uno.....	67
3.3 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3.....	82
РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	83
4.1 Аналіз засобів безпеки при обслуговуванні домашніх сонячних фотовольтаїчних станцій .....	83
4.2 Правила експлуатації сонячних панелей .....	87
4.3 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників.....	88
4.4 Блискавкозахист .....	89
4.5 Експлуатація сонячних панелей, включених до системи автономного енергопостачання .....	90
4.6 Особливості проведення пожежно-рятувальних робіт під час гасіння пожеж сонячних електростанцій у приватних домоволодіннях.....	91
4.7 ВИСНОВОК РОЗДІЛУ 4 .....	95
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ .....	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	99

## ВСТУП

Відновлювані джерела енергії (ВДЕ), які часто позначаються як нетрадиційні джерела, охоплюють спектр природних ресурсів, зокрема сонячне випромінювання, кінетичну енергію вітру, гідроенергію малих річок та водотоків, енергію припливів та відпливів, біомасу, геотермальне тепло, а також розсіяну теплову енергію (тепло повітря, океанічних та морських вод, а також водойм). Для реалізації проекту локального енергозабезпечення житлового котеджу (100 м<sup>2</sup>) найбільшу практичну значимість мають фотоелектричні системи та, за наявності відповідних умов, вітрові установки. При цьому, включення до визначення розсіяної теплової енергії повітря вказує на потенційне застосування теплових насосів. Такі системи є значними електричними навантаженнями, що потребують інтеграції в комплексну систему керування енергоспоживанням (Energy Management System, EMS) для ефективного балансування.

Підвищення енергетичної ефективності установок, що використовують відновлювані джерела енергії, є критично важливою проблемою, вирішення якої вимагає комплексного підходу. Ці рішення включають вдосконалення техніко-економічних показників основного енергетичного обладнання, а також оптимізацію його енергетичних балансів та режимів експлуатації, що є особливо важливим з огляду на динамічні зміни навантаження споживачів та варіативність генерації від самого відновлюваного джерела. Сучасні інженерні розробки свідчать про те, що ключовим викликом є не стільки підвищення ККД обладнання (наприклад, сонячних панелей), скільки забезпечення ефективного керування потоками енергії. Нестабільність генерації від ВДЕ, яка є невід'ємною характеристикою цих джерел, у поєднанні зі змінним профілем споживання вимагає високоточної системи керування, яка забезпечить оптимізацію режимів роботи, акумулювання та подачі енергії. Це слугує прямим технічним обґрунтуванням необхідності впровадження інтелектуальних систем моніторингу на базі Інтернету речей.

З огляду на зростаючі вимоги споживачів до надійності та якості

енергопостачання, а також на тлі активного розвитку новітніх технологій, чітко проявилися структурні недоліки традиційної вітчизняної моделі, що ґрунтується на централізованому електропостачанні від великих генеруючих об'єктів та теплопостачанні від котелень. Постійне зростання тарифів на централізовані послуги з постачання електричної та теплової енергії стимулює кінцевих споживачів до створення власних локальних (автономних) джерел енергозабезпечення. Економічна доцільність інвестицій у власну генерацію значною мірою залежить від вартості послуг централізованого енергопостачання. Збільшення цих витрат є основним економічним драйвером, що прискорює перехід до моделі активного споживача-виробника (prosumer). У довгостроковій перспективі це вимагає ретельного техніко-економічного розрахунку для підтвердження скорочення терміну окупності інвестицій.

Розподілене виробництво енергії є ключовим каталізатором та визначальним чинником енергетичної трансформації національних систем від традиційного укладу ХХ століття до впровадження інноваційних технологій та практик ХХІ століття. Цей вектор розвитку енергетики підкреслює перехід від монополії великих джерел до множини локальних генераторів, здатних працювати як у режимі паралелізму з мережею, так і автономно. Розвиток розподіленого виробництва енергії неминуче призводить до формування мікромереж (мікрогрідів) та, як наслідок, актуалізує такі технічні виклики, як забезпечення кібербезпеки та уникнення ефекту острівкування (тобто, відключення генерації при зникненні зовнішньої мережі), що є критичним для безпеки обслуговуючого персоналу.

Концепція «енергетичного переходу» базується на трьох фундаментальних принципах: децентралізації, цифровізації та інтелектуалізації систем енергопостачання. Цей перехід передбачає активну участь споживачів та використання всіх типів енергетичних ресурсів, характеризується підвищеною енергоефективністю та суттєвим зменшенням викидів парникових газів, переважно завдяки інтеграції відновлюваних

джерел енергії. Міжнародний досвід демонструє успішне вирішення проблем енергозабезпечення низкою країн та регіонів шляхом цілеспрямованого розвитку ВДЕ. Впровадження ВДЕ вирішує не лише питання економіки та надійності, але й забезпечує важливе екологічне обґрунтування, сприяючи зниженню вуглецевого сліду. Розробка системи для житлового котеджу є мікромасштабною реалізацією цих макроскопічних принципів, де децентралізація представлена локальною генерацією, цифровізація — IoT-технологіями, а інтелектуалізація — алгоритмами EMS.

Сучасний рівень розвитку інформаційних технологій уможливорює ефективно застосування кількох типів джерел енергії в межах одного житлового котеджу для розбудови розподілених мереж із залученням технологій Інтернету речей (IoT). IoT являє собою мережу фізичних об'єктів, які оснащені вбудованими технологіями, що дозволяють їм взаємодіяти із зовнішнім середовищем, передавати інформацію про свій стан і отримувати зовнішні дані для адаптивного керування. У контексті енергетики, IoT є критично важливим для моніторингу та адаптивного керування. Це не просто збір даних (телеметрія), а можливість двостороннього зв'язку, де контролери отримують дані (прогноз погоди, стан акумуляторів) та віддають команди актуаторам (керування інверторами, перемикання навантажень, позиціонування сонячного трекера). Така функціональність вимагає надійної архітектури зв'язку та відповідних протоколів, наприклад, MQTT, для забезпечення швидкої та безпечної передачі даних між фізичним рівнем та хмарною платформою.

Актуальність даного дослідження полягає у необхідності використання відновлюваних джерел енергії для забезпечення автономного енергопостачання та розробці інтелектуальної системи моніторингу, яка гарантує безперебійну та оптимізовану роботу цього комплексу. Пріоритет автономності визначає ключові вимоги до апаратної частини системи: необхідність використання гібридного інвертора з функцією резервування (UPS) та обов'язкову інтеграцію системи накопичення енергії (ESS). Без

інтелектуального моніторингу та керування неможливо досягти безперервності та максимальної оптимізації, оскільки будь-яка гібридна система з ВДЕ, що має власну динаміку генерації, повинна мати механізм балансування.

Метою дослідження є розробка системи моніторингу енергопостачання типового житлового котеджу площею 100 м<sup>2</sup> з використанням цифрових технологій та Інтернету речей.

Реалізація цієї мети вимагає ретельної координації між установками ВДЕ та профілем споживання. В процесі роботи необхідно вирішити наступні технічні завдання:

1. провести аналітичний огляд розподілених мереж із IoT-технологіями;
2. провести аналітичний огляд існуючих фотоелектричних систем (ФЕС), вітрових установок та централізованої системи енергопостачання;
3. розробити систему моніторингу енергопостачання житлового котеджу (100 м<sup>2</sup>) з використанням технологій IoT:
  - розробка структурної схеми системи моніторингу енергозабезпечення житлового котеджу;
  - розрахунок енергоспоживання;
  - розробка схеми автоматизації (P&ID);
  - вибір обладнання для системи енергопостачання;
  - розробка алгоритму системи моніторингу енергопостачання;
  - розробка керуючої програми;
  - розробка інтерфейсу розподіленої мережі енергоменеджменту для житлового котеджу.
4. розробити систему керування сонячним трекером на базі Arduino:
  - розробка функціональної принципової схеми автоматизації;
  - розробка принципової схеми з'єднань;
  - розробка алгоритму та керуючих програм;
  - розробка інтерфейсу в NI LabVIEW.

### **Методи дослідження**

Робота базується на комплексному підході, який включає використання порівняльного аналізу для оцінки існуючих рішень, експериментальні дослідження для калібрування датчиків, математичне моделювання для аналізу стійкості системи, а також розробку фізичного прототипу та програмного забезпечення для взаємодії пристрою із системою моніторингу.

### **Елементи наукової новизни**

У роботі запропоновано інтегровану концепцію енергопостачання котеджу на основі комбінування сонячної та вітрової генерації з інтелектуальною системою керування. Удосконалено підхід до проєктування гібридних систем ВДЕ шляхом розробки P&ID-схеми та алгоритму автоматичного вибору джерел енергії. Створено програмно-апаратний комплекс, що поєднує настільний і мобільний додатки з сонячним трекером на Arduino.

### **Практична цінність дослідження**

Отримані результати можуть бути використані для реального проєктування енергоавтономних житлових будинків. Розроблені програми забезпечують моніторинг та управління енергосистемою, а сонячний трекер може застосовуватися як готовий модуль для підвищення ефективності фотоелектричних панелей. Схеми, алгоритми й розрахунки становлять практичну базу для впровадження гібридних систем ВДЕ.

## РОЗДІЛ 1 ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

### 1.1 Розподілена енергетика

Інноваційний розвиток електроенергетичного сектору є одним із головних пріоритетів державної політики у розвинених країнах. Технології розподіленої енергетики є одним із ключових напрямів інноваційної еволюції енергосистем. Енергетична галузь зазнає стрімких змін. Якщо ще десять років тому єдиним способом отримання енергії було підключення до централізованої системи, то сьогодні все більше споживачів обирають власні генеруючі рішення (невеликі підстанції, об'єкти відновлюваної енергетики тощо).

Розподілена енергетика передбачає, що невеликі електростанції споживачів, потужність яких зазвичай не перевищує 20 МВт, інтегруються в єдину енергетичну систему або функціонують в автономному режимі [1]. Сьогодні розподілене виробництво енергії має високий попит у багатьох сферах: у важкодоступних регіонах, у житлово-комунальному секторі, серед мобільних споживачів, а також на промислових підприємствах, які висувають особливі вимоги до характеристик споживаної енергії.

До технологій розподіленої енергетики належать:

- газопоршневі та дизельні установки;
- газотурбінні та парогазові установки;
- установки для прямого спалювання та газифікації вугілля й твердих відходів;
- сонячні панелі;
- вітрові турбіни;
- малопотужні гідротурбіни;
- теплові насоси;
- технології накопичення енергії;
- технології «розумних мереж»;
- інші технології (використання атомної енергії, паливні елементи

на основі природного та генераторного газу тощо).

Розподілена енергетика є зіставною за показниками енергоефективності з великими електростанціями, але завдяки своїй наближеності до споживача характеризується нижчим рівнем втрат у розподільних мережах. Вона також здатна забезпечити більш високі вимоги споживачів щодо доступності, якості та надійності енергопостачання. Розподіл джерел енергопостачання є важливим чинником підвищення енергетичної безпеки, оскільки він мінімізує ризик тотальних знеструмлень та дозволяє швидше відновлювати постачання енергії після, наприклад, стихійних лих, катастроф чи кібератак. У цьому сенсі розвиток розподілених джерел енергії як нового формату енергетичної інфраструктури можна порівняти з розвитком інформаційної інфраструктури на базі розподілених систем зберігання та обробки даних, яка згодом перетворилася на всесвітню мережу. Новий підхід до організації енергосистем дедалі частіше називають «Інтернет енергії». [2]

Поєднання розподіленої енергетики з сучасними інструментами управління активами, інтелектуалізацією мережевої інфраструктури та розвитком сервісів для споживачів може призвести до значних економічних ефектів, включаючи довгострокове обмеження зростання цін на електроенергію. Крім енергетичних результатів, розвиток виробничих потужностей та компетенцій у сфері розподіленої енергетики стимулює розробку технологій управління, обладнання та послуг, які забезпечують їхнє максимально ефективне використання в контурі енергосистеми та на енергетичному ринку. Це створює технологічну основу для масової появи ключових елементів інтелектуальної енергетики – активних споживачів (prosumers), а також формує можливості для виходу на масштабний світовий ринок.

Згідно з визначенням, наведеним в одному зі стратегічних документів Казахстану, до інтелектуальних енергетичних систем майбутнього належать розумні системи енергопостачання. Передбачається інтеграція різних видів енергетичних ресурсів і засобів розподіленої генерації енергії. Очікувані

результати таких проєктів включають якісне підвищення керованості, надійності та ефективності основних енергетичних систем, зокрема електроенергетичних систем.

Розумна мережа («Smart Grid») — це сукупність інформаційно-комунікаційних застосунків, які об'єднують технології генерації, передачі, розподілу та кінцевого споживання. По суті, це системна інтеграція. Це мережа, яка трансформувалася з аналогових технологій ХХ століття до використання цифрових технологій для зв'язку, моніторингу, обчислення та керування; більшість ситуаційної інформації, необхідної для забезпечення безпечної, ефективної та надійної роботи мережі, міститься в її цифровій інформаційній інфраструктурі. Розумну мережу також визначають як «систему постачання електроенергії від енергогенеруючих підприємств до споживачів, яка інтегрована з комунікаційними та інформаційними технологіями і забезпечує покращену прозорість енергосистеми, високоякісне обслуговування клієнтів та екологічні переваги». Також можна стверджувати, що Smart Grid — це технологія, що дозволяє передавати та розподіляти енергію на новому технологічному рівні між розподіленими джерелами генерації та споживачами, які використовують електроенергію як стаціонарно (будівлі, промислові об'єкти), так і в процесі руху (електромобілі, гаджети).

Парадигма сучасної електроенергетики не заперечує та не виключає існування централізованої системи енергопостачання, але вона включає елементи інтелектуальної електроенергетики, які не були значущими для енергетики ХХ століття:

- мікромережі, які розподіляють електроенергію на невелику групу споживачів, не інтегрованих у централізовану енергосистему;
- розподілена генерація, включно з відновлюваними джерелами енергії;
- розумний облік;
- споживачі, в тому числі з власною (зокрема резервною) генерацією;

- сучасні системи накопичення енергії.
- управління попитом;

У сучасній електроенергетиці розподілена генерація зазвичай розглядається як генерація з використанням відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Світовий досвід демонструє, що розвиток енергосистем на основі розподіленої енергетики не лише вирішує типові проблеми енергопостачання віддалених споживачів, але й є одним із найбільш актуальних інноваційних напрямків. Завдяки застосуванню нових технологій, це може суттєво підвищити ефективність електроенергетичного комплексу [3].

За кордоном розподілена енергетика переважно базується на відновлюваних джерелах енергії (ВДЕ). Згідно з даними Bloomberg New Energy Finance, до 2040 року 72% інвестицій у нові генеруючі потужності припадатиме на об'єкти, що використовують сонячну та вітрову енергію. Просування технологій відновлюваної енергетики призвело до того, що такі генеруючі об'єкти зрівнялися з традиційними джерелами енергії за вартістю виробництва електроенергії, а за деяких обставин навіть стали дешевшими. Загалом, вартість генерації електроенергії на сонячних панелях знизилася на 88% з 2010 по 2023 рік, а на вітрових турбінах — на 69%. Є ймовірність, що до 2050 року світова енергосистема складатиметься на 100% з відновлюваних джерел енергії, а вартість виробленої електроенергії буде нижчою, ніж сьогодні [4].

Такі значні досягнення у сфері відновлюваної енергетики стали можливими завдяки політиці багатьох країн, яка передбачає субсидування масштабного використання технологій шляхом встановлення спеціальних тарифів, податкових пільг та інших механізмів. Основна ідея полягає у використанні ефектів навчання та інвестицій у підготовку кадрів, а також у зниженні вартості обладнання та збільшенні обсягів виробництва. Наразі вже існують системи розподілених мереж, енергетичними джерелами яких є ВДЕ.

## 1.2 Перспективи використання відновлювальної енергетики в Україні

Традиційна енергетична система України, сформована історично, була побудована на моделі високої централізації, що включала значні потужності атомних електростанцій (АЕС), теплових електростанцій (ТЕС) та гідроелектростанцій (ГЕС). Ця модель, попри забезпечення великих обсягів генерації, характеризувалася фундаментальною стратегічною вразливістю, оскільки концентрація критичної інфраструктури у невеликій кількості великих вузлів робила її легкою мішенню.

Повномасштабне військове вторгнення стало не просто актом пошкодження, а каталізатором для незворотної структурної трансформації. Цілеспрямовані атаки, спрямовані на максимальне знищення великих генераційних об'єктів, наочно продемонстрували, що концепція енергетичної безпеки більше не може ґрунтуватися на загальній встановленій потужності. Натомість, життєздатність системи тепер визначається рівнем її розподіленості (децентралізації) та складністю її повного виведення з ладу. Таким чином, перехід до розподіленої архітектури став не просто економічним чи екологічним, а екзистенційним пріоритетом національної безпеки, змушуючи країну перейти від стратегії "відновлення" до стратегії "трансформації" [5].

Стратегічна трансформація енергосистеми України націлена на підвищення фізичної стійкості через децентралізацію та забезпечення повної інтеграції з європейським енергетичним ринком. Основними векторами є масове впровадження відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та виконання зобов'язань, відображених у Національному плані з енергетики та клімату (НПЕК) до 2030 року [6]. Цей перехід має забезпечити гнучку та сучасну систему, що відповідає стандартам ЄС щодо декарбонізації та прозорості ринку.

Масштаб руйнувань централізованих потужностей є критичним, що

підтверджує незворотність структурних змін. Втрати охоплюють всі ключові сектори, відповідальні за базове, маневрене та пікове навантаження.

Теплова генерація, що використовує переважно вугілля як основне паливо, зазнала найбільш значних фізичних та територіальних втрат. До січня 2022 року встановлена потужність ТЕС становила 21,5 ГВт, а ТЕЦ – 6,1 ГВт (без урахування потужностей, окупованих до 2014 р.). Ситуація погіршилася до такої міри, що на кінець квітня 2023 року на підконтрольній території не лишалось жодної ТЕС чи великої ТЕЦ, які б не зазнали пошкоджень різного ступеня.

Фактичні витрати на відновлення зруйнованої централізованої інфраструктури свідчать про зміну пріоритетів. Оцінка пошкоджень обладнання ТЕС/ТЕЦ становила 29,9 млрд грн, але на аварійно-відновлювальні роботи до середини 2023 року було витрачено лише 482 млн грн. Цей дисбаланс демонструє, що вкладення значних фінансових та матеріальних ресурсів у відновлення великомасштабних, легко ідентифікованих цілей, є стратегічно недоцільним. Це закріплює необхідність швидкого переходу до нової, розподіленої архітектури.

Військові виклики трансформували ВДЕ з бажаного екологічного напрямку у стратегічну необхідність для забезпечення фізичної стійкості. Сонячна енергетика, зокрема, має ключові переваги для цієї трансформації.

Децентралізація, реалізована через розподілені системи, є найбільш ефективною відповіддю на загрозу військових атак:

- Децентралізовані системи, включаючи СЕС, можуть функціонувати незалежно від централізованої мережі, значно підвищуючи енергетичну безпеку. Вони є складнішими цілями для атак, ніж великі центральні вузли.
- Сонячні станції характеризуються низьким рівнем зносу, потребують мінімального обслуговування (наприклад, очищення панелей) і можуть бути встановлені у короткі терміни, що забезпечує економічну ефективність [7].

- Сонячна енергія є чистим, відновлюваним джерелом, що сприяє зменшенню викидів парникових газів і виконанню кліматичних зобов'язань [8].

Децентралізована енергетика забезпечує відчутний економічний ефект, зокрема для кінцевих споживачів, зменшуючи їхні витрати на електроенергію на 30–60%. Цей сектор також стимулює розвиток місцевого ринку енергетичних технологій та сприяє створенню нових робочих місць у сфері обслуговування.<sup>5</sup>

Україна має сприятливі кліматичні умови, де середньорічний потенціал сонячної енергії становить 1235 кВт·год/м<sup>2</sup>. Цей показник є вищим, ніж у більшості країн ЄС, що є лідерами у впровадженні ВДЕ, наприклад, Німеччини (1000 кВт·год/м<sup>2</sup>) або Польщі (1080 кВт·год/м<sup>2</sup>). Ця перевага забезпечує вищу віддачу від інвестицій у сонячні проекти [9].

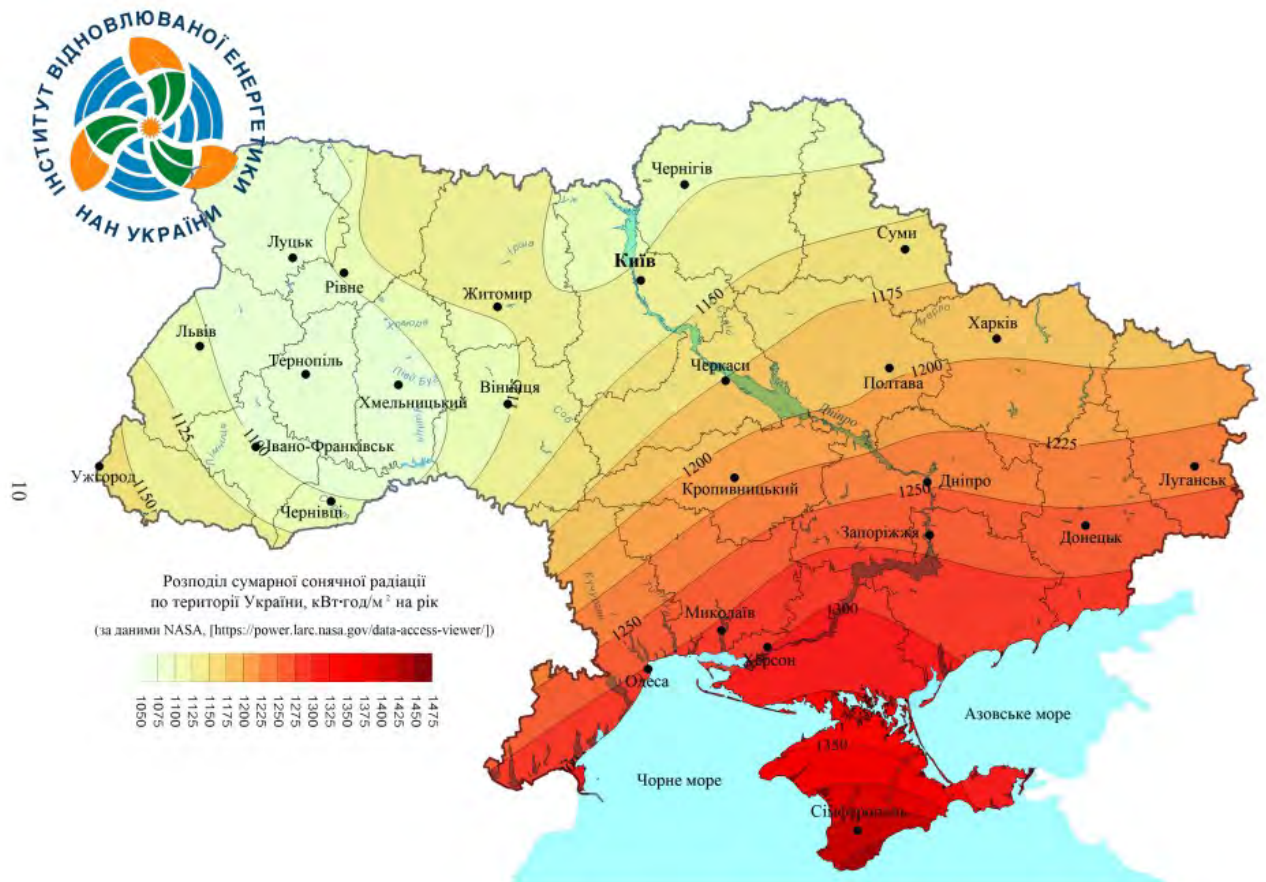


Рис. 1.1 Розрділ сумарної сонячноїрадіації па території України.

Попри війну та втрату інфраструктури, встановлена потужність ВДЕ зросла приблизно на 650 МВт (+6,73%) за період 2022–2024 років.

Національний план з енергетики та клімату (НПЕК) передбачає, що частка ВДЕ в Україні до 2030 року має досягти 27%.

Зміна енергетичного ландшафту, спричинена масованим впровадженням ВДЕ, вимагає вирішення проблеми балансування. СЕС максимально ефективні протягом дня, але їхня продуктивність різко падає під час вечірнього піку споживання (17:00 – 22:00).

В умовах, коли гідрогенерація, яка традиційно покривала ці піки, зазнала значних руйнувань, єдиним життєздатним технічним рішенням для інтеграції цільових 27% ВДЕ є масове впровадження систем зберігання енергії (BESS). Таким чином, BESS стають не просто доповненням, а критично необхідним елементом, що забезпечує гнучкість, необхідну для стійкості енергосистеми.

### **1.3 Огляд фотоелектричних станцій**

Фотоелектричні системи (ФЕС) мають широкий спектр застосувань: вони використовуються для перекачування води, забезпечення нічного освітлення, заряджання акумуляторних батарей, а також для подачі електроенергії в загальну електромережу. Крім того, ФЕС застосовуються для забезпечення автономного електропостачання житлових будинків. Вони здатні працювати за будь-яких погодних умов: при мінливій хмарності їхня продуктивність може досягати 80% від потенційної, у туманну погоду — близько 50%, і навіть при суцільній хмарності вони генерують до 30% енергії.

У сільській місцевості фотоелектричні системи знаходять додаткове застосування, зокрема для заряджання та освітлення електричних огорож, а також для забезпечення циркуляції води, вентиляції, освітлення та кондиціонування повітря в теплицях та гідропонних установках.

Електричне освітлення на основі фотоелементів є надзвичайно ефективнішим, а встановлення фотоелектричної системи зазвичай виявляється дешевшим, ніж прокладання нової лінії електропередач. Крім того, багато країн, що розвиваються, розташовані в регіонах з високим рівнем сонячної

радіації, що забезпечує їх цілорічним доступом до значного запасу безкоштовної енергії. Виробництво "сонячної електрики" є простим та надійним, про що свідчить досвід експлуатації десятків тисяч фотоелектричних систем у всьому світі.

Існує три основні типи сонячних фотовольтаїчних систем та систем зберігання енергії: підключені до мережі (grid-tied), гібридні (grid/hybrid) та автономні (off-grid). Кожен із них має свої переваги та недоліки, і вибір конкретного типу залежить від поточного забезпечення клієнта енергією та його очікувань від системи (рис. 1.2) [10].

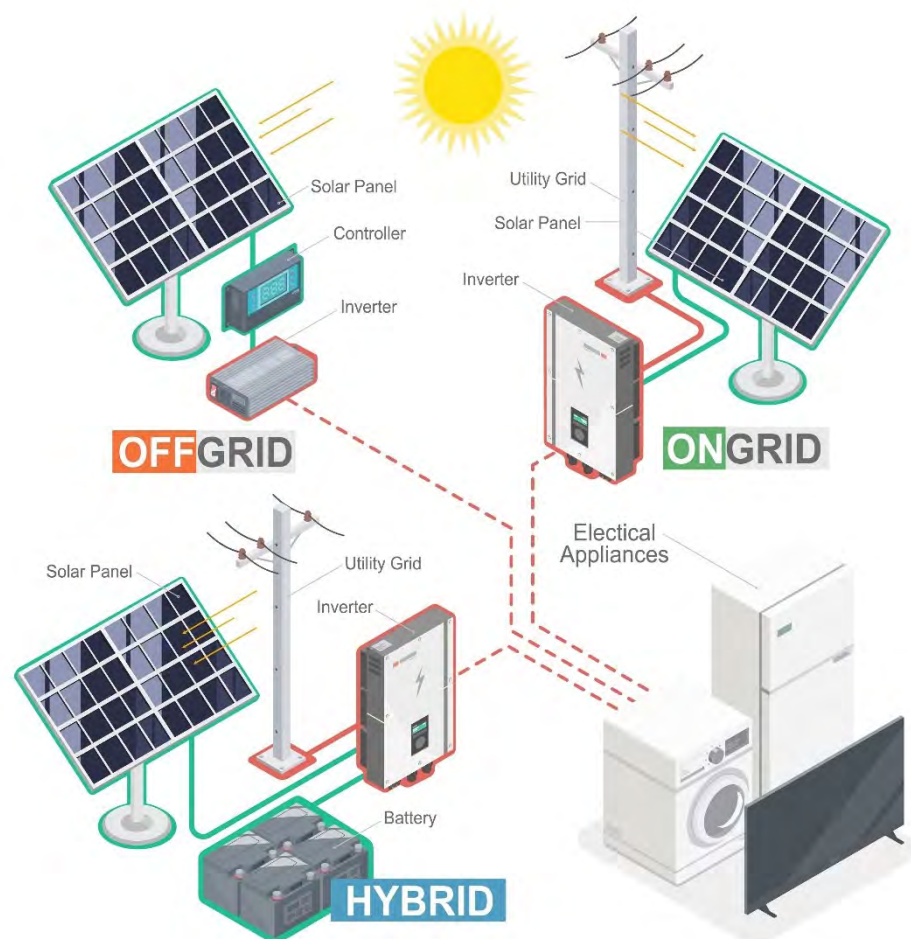


Рис. 1.2. Поширені типи сонячних фотоелектричних систем.

Наразі існують такі типи ФЕС [11] :

1. Автономна фотоелектрична система є повністю незалежною від централізованих мереж електропостачання. За винятком деяких

спеціалізованих застосувань, де енергія від сонячних панелей використовується споживачами безпосередньо (наприклад, водопідіймальні установки, сонячна вентиляція тощо), усі автономні системи обов'язково повинні включати акумуляторні батареї. Енергія з акумуляторів використовується тоді, коли сонячної радіації недостатньо або коли навантаження перевищує поточну генерацію сонячних панелей.

2. Фотоелектрична система з підключенням до мережі та резервним живленням від акумуляторів (або гібридна) подібна до автономної. Вона також використовує акумулятори, але одночасно підключена до централізованих мереж електропостачання. Завдяки цьому надлишок енергії, згенерованої сонячними панелями, може бути спрямований на навантаження або в мережу (для цього потрібні спеціальні інвертори, здатні працювати паралельно з мережею, які часто називають "гібридними"). Якщо ж споживання перевищує виробництво електроенергії сонячними панелями, відсутня енергія добирається з мережі (рис. 1.3).

3. Фотоелектрична система, підключена до мережі, без акумуляторів є найпростішою з усіх. Вона складається з сонячних панелей (або вітрових турбін, чи МІКРОГЕС) і спеціального інвертора, підключеного до мережі. Акумулятори в такій системі відсутні, тому вона не може використовуватися як резервна. При зникненні зовнішньої мережі припиняється і генерація електроенергії сонячними панелями. Це може бути обмеженням даної системи, але її головною перевагою є висока ефективність, низька ціна (через відсутність акумуляторів і використання менш дорогого мережевого інвертора) та висока надійність.

Grid-Interactive System with Battery Backup - (Grid/Hybrid Systems)

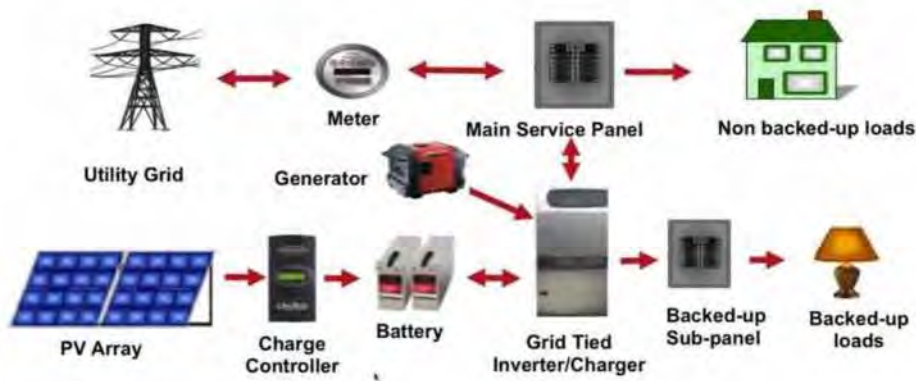


Рис. 1.3. Система, підключена до мережі, з резервним живленням від акумуляторів.

Наступний тип системи — це система з підключенням до мережі та резервним живленням від акумуляторів, інакше відома як гібридна система. Цей тип системи ідеально підходить для клієнтів, які вже підключені до електромережі, але прагнуть мати резервне живлення від акумуляторів. Хорошими кандидатами для встановлення такої системи є споживачі, в чиїх регіонах часто трапляються відключення електроенергії, або ті, хто просто бажає бути завжди готовим до перебоїв у електропостачанні.

До найпростіших фотоелектричних систем належать:

- Сонячні насоси: Фотоелектричні насосні установки є бажаною альтернативою дизельним генераторам і ручним помпам. Вони перекачують воду саме тоді, коли вона особливо необхідна — у ясний сонячний день. Сонячні насоси прості в монтажі та експлуатації. Невеликий насос може встановити одна людина всього за кілька годин.

- Фотоелектричні системи з акумулятором: Акумулятор заряджається від сонячного генератора, накопичує енергію і робить її доступною в будь-який час. Навіть у найнесприятливіших умовах та у віддалених місцях електроенергія, накопичена в акумуляторах, може живити необхідне обладнання. Завдяки акумуляції електроенергії фотоелектричні системи слугують надійним джерелом живлення, вдень і вночі, за будь-якої погоди.

Фотоелектричні системи з живленням від акумуляторів по всьому світу живлять освітлювальні прилади, сенсори, звукозаписне обладнання, побутову техніку, телефони, телевізори та електроінструменти.

- Фотоелектричні системи з генераторами: Якщо електроенергія потрібна безперервно, або виникають періоди, коли її необхідно більше, ніж може згенерувати лише фотоелектрична батарея, її можна ефективно доповнити генератором. У денний час фотоелектричні модулі задовольняють добову потребу в енергії та заряджають акумулятор. Коли акумулятор розряджається, вмикається двигун-генератор і працює до повного перезарядження батарей. У деяких системах генератор компенсує нестачу енергії, коли споживання електроенергії перевищує загальну потужність акумулятора. Двигун-генератор виробляє електроенергію в будь-який час доби. Таким чином, він є чудовим резервним джерелом живлення для дублювання роботи фотоелектричних модулів уночі або в дощовий день, залежно від примх погоди. З іншого боку, фотоелектричний модуль працює безшумно, не вимагає обслуговування та не виділяє забруднюючих речовин в атмосферу. Комбіноване використання сонячних елементів та генераторів може знизити початкову вартість системи. За відсутності резервної установки, ФЕ-модулі та акумулятори повинні бути досить великими, щоб забезпечити живлення вночі.

- Фотоелектричні системи, підключені до мережі: В умовах централізованого електропостачання підключена фотоелектрична система може забезпечувати частину необхідного навантаження, тоді як інша частина надходить із мережі. У цьому випадку акумулятор не використовується. Тисячі власників будинків по всьому світу використовують такі системи. Енергія фотоелементів або використовується на місці, або подається в мережу. Коли власнику системи потрібно більше електроенергії, ніж вона виробляє — наприклад, увечері, — то підвищений попит автоматично задовольняється мережею. Коли система генерує більше електроенергії, ніж може спожити домогосподарство, надлишок відправляється (продається) у мережу. Таким

чином, мережа загального користування діє як резерв для фотоелектричної системи, подібно до акумулятора для автономної установки.

- Промислові фотоелектричні установки: Фотоелектричні станції працюють безшумно, не споживають викопне паливо та не забруднюють повітря і воду. На жаль, фотоелектричні станції поки що не дуже динамічно включаються до арсеналу комунальних мереж, що можна пояснити їхніми особливостями. При сучасному методі розрахунку собівартості енергії, сонячна електрика все ще значно дорожча за продукцію традиційних електростанцій. Крім того, фотоелектричні системи генерують енергію лише в денний час, а їхня продуктивність залежить від погоди [12].

Таблиця 1.1.

Зведена таблиця типів фотоелектричних систем

Тип ФЕС	Основна Функція	Основні Компоненти	Переваги	Обмеження / Примітки
1. Автономна ФЕС	Повне електропостачання без централізованої мережі.	Сонячні панелі, Акумуляторні батареї, Інвертор.	Повна незалежність від централізованого електропостачання.	Потрібні акумулятори. Енергія доступна в будь-який час, але кількість обмежена ємністю батарей.
2. Гібридна ФЕС (з батареєю та підключенням до мережі)	Забезпечення резервного живлення та оптимізація споживання / генерації.	Сонячні панелі, Акумуляторні батареї, Гібридний інвертор.	Резервне живлення при відключенні мережі. Можливість продажу надлишків енергії в мережу.	Складніша та дорожча, ніж системи без акумуляторів.
3. Мережева ФЕС (без батареї)	Зменшення споживання з мережі та продаж надлишків енергії.	Сонячні панелі, Мережевий інвертор.	Найвища ефективність, низька вартість, висока надійність.	Не має резервного живлення: при зникненні мережі генерація припиняється.
4. Сонячні Насоси	Перекачування води.	Сонячні панелі, Насосний агрегат.	Працюють безпосередньо в сонячний день (коли вода особливо потрібна). Простий монтаж.	Працюють лише при наявності сонця (якщо немає акумулятора).

## Продовження таблиці 1.1.

5. ФЕС з Генератором	Безперервне живлення, доповнене дизельним/бензиновим генератором.	Сонячні панелі, Акумулятор, Генератор.	Генератор забезпечує живлення вночі або в похмуру погоду, коли батарея розряджена. Зниження початкової вартості системи порівняно з дуже великими батареями.	Генератор вимагає палива та обслуговування, є джерелом шуму та викидів.
6. Промислові Установки	Промислове виробництво електроенергії (для мережі).	Великі масиви сонячних панелей.	Працюють безшумно, не забруднюють повітря/воду, не споживають викопне паливо.	Виробляють енергію лише вдень, залежать від погоди. Собівартість поки що вища, ніж у традиційних електростанцій.

#### 1.4 Огляд вітроенергетики: конструкція та принцип роботи

Сьогодні в Україні, говорячи про розвиток відновлюваних джерел енергії (ВДЕ), особлива увага приділяється вітроенергетичному потенціалу країни. Вітроенергетика є одним із найбільш комерційно швидкозростаючих сегментів ВДЕ [13]. Зацікавленість у вітроенергетиці зумовлена такими факторами:

- Поновлюване джерело енергії, що не залежить від вартості палива та його транспортування;
- Відсутність викидів шкідливих речовин та парникових газів у процесі генерації;
- Конкурентна вартість електроенергії, незалежна від ціни палива;
- Короткі терміни будівництва вітрової електростанції (ВЕС);
- Можливість децентралізованого забезпечення електроенергією віддалених регіонів країни.

Географічне розташування України є досить сприятливим для збору вітрової енергії. Значна частина нашої республіки знаходиться у вітровому поясі північної півкулі та має сильні вітрові потоки, переважно північно-західного та південно-східного напрямків. У низці регіонів, зокрема на узбережжях та високогір'ї, спостерігаються інтенсивні рухи повітря, середньорічна швидкість яких часто перевищує 6 м/с [14].

За експертними оцінками, технічно досяжний вітроенергетичний потенціал України оцінюється у сотні мільярдів кВт·год електроенергії на рік. Найперспективнішими регіонами є прибережні зони Чорного та Азовського морів, Карпатський регіон, а також степові райони на Півдні та Сході. Дослідження вітроенергетичного потенціалу, які проводилися в рамках національних та міжнародних програм, демонструють сприятливий вітровий клімат та умови для будівництва ВЕС у Південній зоні (Одеська, Миколаївська, Херсонська області), Західній зоні (Львівська, Івано-Франківська, Закарпатська області), а також у Північній та Центральній зоні (високі плато та відкриті ділянки). Наявність великих вільних просторів дозволяє розвивати потужності вітрових електростанцій до тисяч МВт. Подальші дослідження розподілу вітроенергетичного потенціалу України мають бути продовжені для точного виявлення найбільш перспективних майданчиків [15].

Вітрогенератори (або вітрові турбіни) — це спеціальні пристрої, які перетворюють кінетичну енергію вітру на електричну. Це автономні джерела живлення, які ідеально підходять для встановлення у приватних будинках, невеликих та середніх фермерських господарствах, а також на виробничих базах.

Насправді, енергія від вітрової установки не надходить безпосередньо до споживача. Система має бути підключена до спеціальних пристроїв для перетворення електричного струму.

Більшість вітрових турбін складаються з трьох лопатей, які кріпляться до вежі, виготовленої з трубчастої сталі

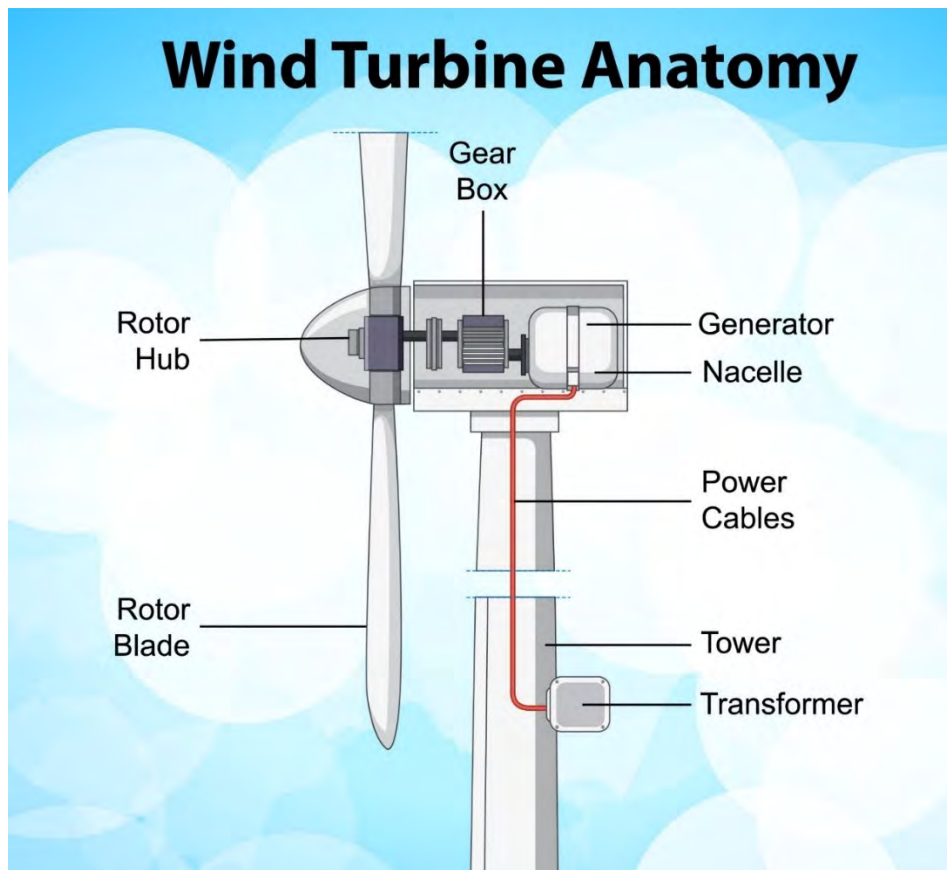


Рис. 1.5. Конструкція вітрових турбін

Існують менш поширені різновиди з двома лопатями або з бетонними чи сталевими ґратчастими вежами. Розміщення вежі на висоті 100 футів (близько 30 метрів) і більше над землею дозволяє турбіні використовувати більш швидкісні потоки вітру, що спостерігаються на великих висотах.

Турбіни вловлюють енергію вітру за допомогою своїх лопатей, схожих на пропелер, які працюють майже як крило літака. Коли дме вітер, на одній стороні лопаті утворюється зона зниженого тиску повітря. Ця кишеня низького тиску тягне лопать до себе, змушуючи ротор обертатися. Це явище називається підймальна сила (*Lift*). Сила підймання значно сильніша за силу вітру, що діє на передню частину лопаті (яка називається лобовий опір — *Drag*). Комбінація підймальної сили та лобового опору змушує ротор обертатися як пропелер.

Контролер розміщується в ланцюзі після генератора. Він перетворює змінний струм (AC) на постійний (DC). У цій формі електроенергія накопичується і зберігається в акумуляторах, а потім із них, через інвертор, що

перетворює постійний струм назад на змінний, енергія подається до приватної електромережі.

Ця схема дозволяє згладжувати нестабільність напруги, а також накопичувати енергію в періоди повної відсутності споживання. Це, своєю чергою, дає змогу використовувати вітрогенератори меншої потужності, ніж сукупна потужність побутових приладів.

Вітрові потоки обертають лопаті вітрогенератора: вони проходять крізь турбіну, приводять її в рух, і вона починає обертатися. Вал турбіни генерує енергію, яка пропорційна силі вітрового потоку. Чим сильніший вітер, тим більше енергії виробляється. Потім енергія передається по валу на ротор генератора через мультиплікатор (*редуктор*), якщо він є. Слід зазначити, що пристрої без мультиплікатора, який прискорює обертання осі, можуть бути продуктивнішими, оскільки не відбувається зайвих втрат енергії, а швидкості вітру достатньо для оптимальної роботи вітрогенератора.

Генератор перетворює механічну енергію на електричну. Потужність вітряка вимірюється за площею, яку "описує" турбіна. Чим більший розмір лопатей, тим більшу потужність він створює.

Серія шестерень (редуктор) збільшує швидкість обертання ротора приблизно з 18 обертів на хвилину до приблизно 1800 обертів на хвилину — швидкості, яка дозволяє генератору турбіни виробляти змінний струм.

Обтічний корпус, який називається гондолою (нацелою), містить ключові компоненти турбіни — зазвичай це редуктор, ротор та генератор. Гондола розташована на вершині вежі турбіни, деякі з них настільки великі, що на них може приземлитися гелікоптер.

Ще одним ключовим компонентом є контролер турбіни, який запобігає перевищенню швидкості обертання ротора 90 (км/год), щоб уникнути пошкоджень від сильного вітру. Анемометр безперервно вимірює швидкість вітру і передає дані контролеру. Гальмо, також розташоване в гондолі, механічно, електрично або гідравлічно зупиняє ротор у надзвичайних ситуаціях.

Бажаєте отримати детальнішу інформацію про принцип роботи інвертора у вітроенергетичній системі?

#### 1.4.1 Типи вітрових турбін.

Існує два основних типи вітрових турбін: з горизонтальною віссю та з вертикальною віссю, які показані на рисунку 1.6 [16].

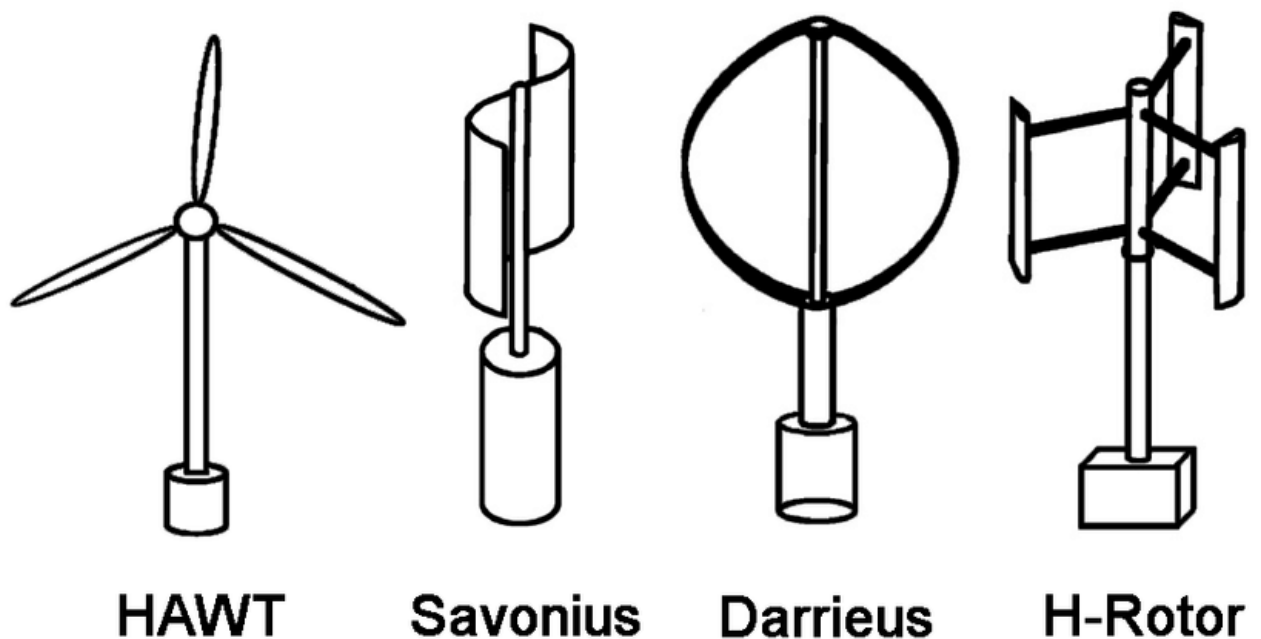


Рис. 1.6. Типи вітрових турбін

Більшість сучасних вітрових турбін мають горизонтальну вісь обертання: це конструкція пропелерного типу з лопатями, що обертаються навколо горизонтальної осі. Турбіни з горизонтальною віссю поділяються на два типи: «за вітром» (upwind), коли вітер потрапляє на лопаті раніше, ніж на вежу, і «проти вітру» (downwind), коли вітер спочатку обдуває вежу, а потім лопаті. Турбіни типу «за вітром» також включають механізм повороту (yaw drive) та двигун — компоненти, які повертають гондолу, щоб постійно тримати ротор обличчям до вітру при зміні його напрямку.

Хоча існує кілька виробників вітрових турбін із вертикальною віссю, вони не змогли проникнути на ринок промислових масштабів (100 кВт

потужності та більше) тією мірою, як це вдалося турбінам із горизонтальною віссю. Вертикальні турбіни поділяються на дві основні конструкції:

- На основі опору (Drag-based), або турбіни Савоніуса (Savonius): Вони зазвичай мають ротори з суцільними лопатями (крилами), які обертаються навколо вертикальної осі.
- На основі підйімальної сили (Lift-based), або турбіни Дар'є (Darrieus): Вони мають високу, вертикальну аеродинамічну форму (деякі нагадують форму вінчика для збивання). Турбіна «Windspire» є одним із типів турбін, заснованих на підйімальній силі, яка проходить незалежне тестування в Національному центрі вітрових технологій при Національній лабораторії відновлюваної енергії.

## 1.5 Живлення від мережі

На сучасному етапі формування максимально сприятливих умов для здійснення виробничої та соціальної діяльності залежить від якісного та стабільного електропостачання житлових, громадських, промислових та допоміжних об'єктів. Система електропостачання, будучи провідною сферою енергетичного комплексу, включає кілька досить масштабних та трудомістких етапів: виробництво електричної енергії, її передачу та збут кінцевому споживачеві.

Сучасні нормативи трактують систему електропостачання як сукупність джерел енергії, систем перетворення, а також передачі та розподілу. Електрична енергія передається високовольтними лініями електропередачі (ЛЕП) із використанням трансформаторних підстанцій, які знижують напругу з 6-35 кВ до 380/220 В для її подальшого побутового використання. Після цього електроенергія від підстанцій розподіляється між споживачами.

Підключення житлового будинку до мережі відбувається шляхом організації повітряного відгалуження, коли провід монтується на обладнаних стовпах, або у вигляді підземного відгалуження. Останній спосіб є більш надійним, оскільки кабель повністю захищений від несприятливих погодних

впливів (вітру та обмерзання), а також виключає можливе пошкодження транспортними засобами. При цьому, хоча такі прилади, як електричні плити, обігрівачі, електричні котли, водонагрівачі, пральні машини та будь-яке інше обладнання, не підпадають під визначення системи електропостачання приватного будинку, їхня сумарна потужність є ключовою при визначенні загальної потужності всієї системи.

Резервне (аварійне) електропостачання доповнює центральне і вмикається лише у разі відключення електроенергії для забезпечення мінімальних потреб власників будівлі.

Як правило, єдина централізована мережа виступає джерелом електрики для будівель і споруд. Однак, із розширенням заміського будівництва в ще не освоєних районах, все частіше постає питання про необхідність використання автономного джерела електроенергії. Це пов'язано з тим, що проблеми з електрикою є тут звичайною ситуацією. Автономна система електропостачання є дуже вигідною для приватних будинків, у яких енергоспоживання є невеликим, а потужність усіх навантажень не перевищує кількох кВт. У таких випадках створення автономної системи живлення виявляється більш рентабельним, ніж підключення до магістральної мережі [17].

## **1.6 Технологія Інтернету Речей (IoT)**

Інтернет речей (Internet of Things, IoT) описує мережу фізичних об'єктів — «речей» — які оснащені сенсорами, програмним забезпеченням та іншими технологіями з метою підключення та обміну даними з іншими пристроями і системами через Інтернет [18].

Світ рухається до майбутнього, побудованого на «розумних системах», що складаються з різномірних «речей», включаючи кіберфізичні системи, вбудовані системи, промислові системи керування, підключені медичні пристрої, підключені автомобілі та «розумне» все, і цю тенденцію неможливо зупинити. Однак, для реалізації цього майбутнього галузі повинні належним

чином інтегрувати підключені, програмно-керовані, інтерактивні пристрої та системи реального світу, які ми називаємо Промисловим Інтернетом Речей (IoT), у цілісну систему [19].

Існує кілька прикладів інтелектуальних систем, де Інтернет речей вже здатний змінювати технологічні та інформаційні процеси управління міським та комунальним господарством:

- «Розумний облік» (Smart Metering). Технологія інтелектуальних вимірювань споживання енергії (електрики, газу, води, тепла) крім встановлення розумних лічильників передбачає створення інформаційних мереж для передачі даних. Це рішення є одним із типів міжмашинних комунікацій M2M і, відповідно, органічно вписується в концепцію IoT. Ефект від впровадження «розумних лічильників» та мереж збору даних від них, за оцінками експертів, дозволить скоротити необхідну кількість нових енергетичних потужностей на 20%. Завдяки інтелектуалізації операційних і технологічних операцій можна підключати більше споживачів до наявних потужностей, зменшити втрати від крадіжок енергії на 95 %, технічні втрати на 50%, а також скоротити заборгованість споживачів на 50-70%. Кожен із цих параметрів є критично важливим для ринку енергопостачання [20].

- «Розумний дім» (Smart Home) є одним із найбільш актуальних рішень IoT, оскільки мешканці отримують доступ до інтегрованого управління системами життєзабезпечення будинку чи квартири. Такий контроль дозволяє координувати роботу систем опалення та вентиляції, охоронної та пожежної сигналізації, відеоспостереження, комунікацій та телефонії, освітлення, електропостачання тощо. Ситуацією у приміщеннях будинку можна керувати дистанційно, що запобігає або суттєво знижує ризик аварій, пов'язаних із витоків води чи газу, увімкненими в мережу електроприладами тощо. Однак, головною перевагою рішень IoT у «розумному домі» є можливість зниження витрат на електроенергію та опалення. Система управління «розумним домом», використовуючи сенсори, датчики, прилади обліку та побутову техніку, включені в єдину мережу IoT,

автоматично підтримує оптимальний режим споживання енергії та тепла в приміщеннях, інформує про залишене увімкненим освітлення, відкриті вікна, вибирає відповідний режим увімкнення електроприладів, виходячи з часу доби та поточних тарифів.

- «Розумні мережі» (Smart Grids). Енергетика є типовим прикладом того, як нові технології можуть вирішити безліч проблем міського господарства, у цьому випадку — проблеми транспортування та споживання енергоресурсів. Smart Grid забезпечує моніторинг та управління енергетичними мережами в режимі реального часу, а також реалізує зв'язок між споживачами та постачальниками енергоресурсів. І тут йдеться не лише про розумні лічильники та мережеві пристрої: Інтернет речей підключить до Smart Grid електромобілі, домашні акумулятори, сонячні панелі, термостати та побутову електроніку (таку як телевізори та кондиціонери). Постійний моніторинг енергоспоживання в реальному часі дозволить, за необхідності, направляти потік енергії у зворотному напрямку — від споживача до електромережі, та враховувати це у розрахунках зі споживачем. Це допоможе планувати постачання та споживання енергії, а також спростить процес обслуговування споживачів. У майбутньому принципи Smart Grid можуть бути поширені на мережі тепло-, газо- та водопостачання, а також каналізаційні мережі [21].

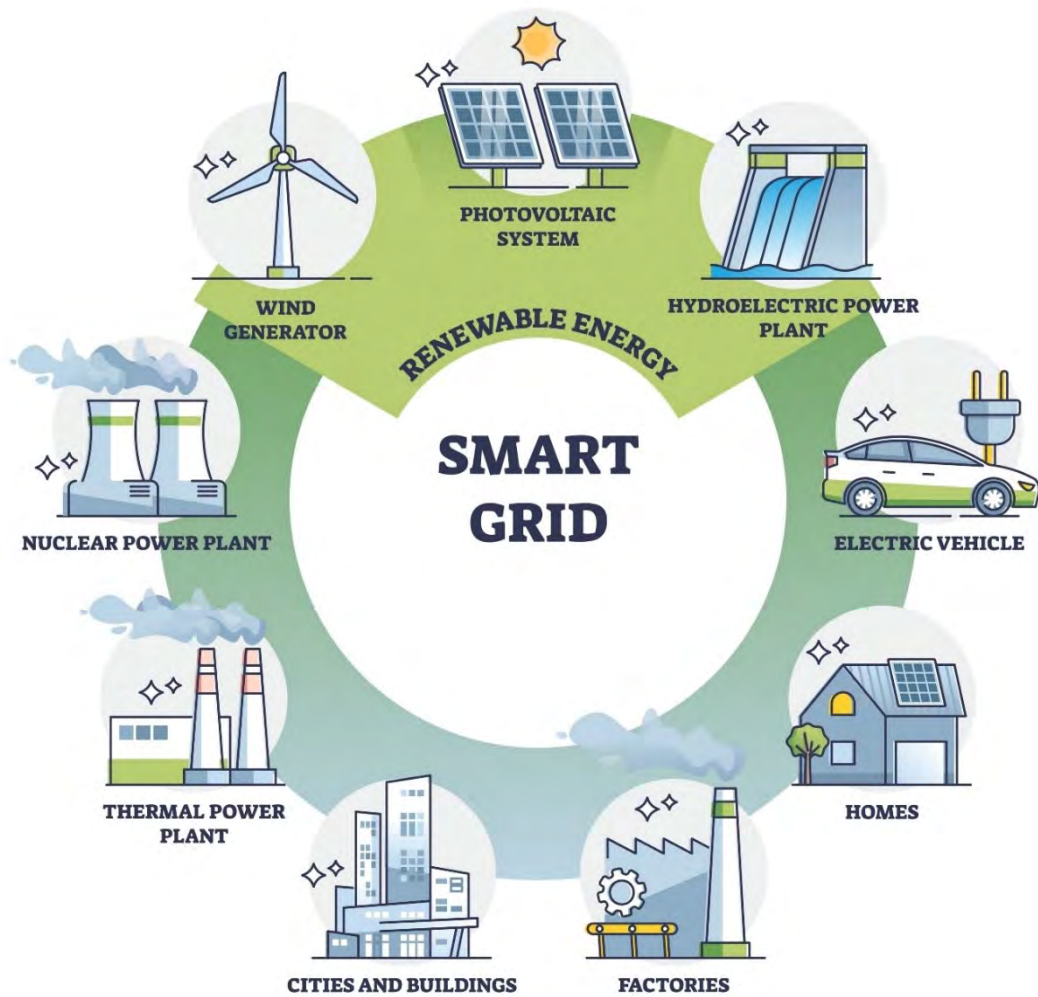


Рис. 1.6. «Розумні мережі» (Smart Grids)

На жаль, разом із обіцянками про великі технічні можливості та бізнес-перспективи, з'являється підвищена складність і, своєю чергою, вища вразливість до загроз кібербезпеки, які можуть порушити роботу всієї системи. Безпека IoT не може розглядатися ізольовано, а має бути частиною системних характеристик, що підтримують очікування щодо безпеки, надійності, стійкості та конфіденційності, які можна описати як довіру до системи. Ця довіра також має узгоджуватися з культурним зіткненням між зближенням інформаційних технологій (IT) та операційних технологій (OT), що створює як виклики, так і можливості для організацій та галузей, які їх підтримують та постачають [22].

Промисловий Інтернет Речей (IoT) прискорюється, оскільки як короткострокові, так і довгострокові переваги його впровадження є очевидними. Рішення IoT можуть допомогти знизити витрати та підвищити продуктивність, що відображається у відчутному поверненні інвестицій (ROI). Наприклад, прогнозне обслуговування (*Predictive Maintenance*) тепер стало реальністю завдяки використанню інтелектуальних і часто високоспеціалізованих сенсорів, які збирають якісніші дані про обладнання швидше та застосовують математичні моделі, аналітику даних та машинне навчання, щоб визначити, коли саме машині знадобиться обслуговування. Водночас IoT стикається зі значними викликами. Кібератаки на підключені активи можуть призвести до втрати інтелектуальної власності; втрати виробництва через збої або пошкодження фізичного обладнання, систем та продукції; величезних фінансових втрат; а також серйозних травм або смерті.

## **1.7 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 1**

Технологічний аналіз показує, що сучасна енергетика переходить від централізованої моделі до розподіленої, ґрунтованої на відновлюваних джерелах та цифрових технологіях. Розподілена енергетика забезпечує підвищену надійність, ефективність та стійкість енергосистем завдяки мінімізації втрат, гнучкості та здатності працювати автономно. Smart Grid та мікромережі формують нову інфраструктурну парадигму — «Енергетичний інтернет», де споживачі стають активними учасниками ринку.

В українських реаліях перехід до розподіленої та відновлюваної енергетики набуває екзистенційного значення через масові руйнування централізованих об'єктів. ВДЕ, зокрема сонячна енергетика, забезпечують децентралізацію, стійкість до атак, економічну доцільність та відповідність європейським кліматичним стандартам. Масове впровадження систем накопичення енергії (BESS) стає критично важливим для балансування генерації та інтеграції 27% ВДЕ до 2030 року.

Фотоелектричні системи демонструють універсальність застосування — від автономних до мережових і гібридних рішень. Вони дозволяють ефективно забезпечувати електропостачання як у побутовому, так і в промисловому чи сільськогосподарському секторі, підвищуючи енергетичну доступність навіть у важкодоступних регіонах.

У цілому, технологічний розвиток розподіленої енергетики та ВДЕ формує нову архітектуру енергосистеми, що є більш стійкою, економічно вигідною та здатною забезпечити енергетичну безпеку України в умовах сучасних викликів.

## РОЗДІЛ 2 ДОСЛІДНИЦЬКО-АНАЛІТИЧНИЙ РОЗДІЛ

### 2.1 Розробка структурної схеми енергопостачання житлового котеджу

Природні джерела енергії вважаються екологічно чистими та з кожним роком набувають все більшої популярності. Такі системи є комбінацією джерел перетворення електроенергії, які можуть існувати окремо від центрального електропостачання.

У магістерській роботі стоїть завдання розробити систему моніторингу енергопостачання для житлового котеджу з використанням технології IoT (Інтернету речей). Основними джерелами енергії є відновлювані джерела, а саме сонячні панелі та вітрові турбіни. На основі цих вимог була розроблена блокова схема енергопостачання даного котеджу (рис. 2.1).

Ця система включає кілька джерел відновлюваної енергії – фотовольтаїчну станцію (ФВС) та вітротурбіну, які генерують електричну енергію для споживача, контролер, підключений до сонячних панелей та акумулятора, який забезпечує своєчасне підзарядження батареї, а також інвертор (перетворювач напруги), який забезпечує необхідну напругу на виході системи. Отримана потужність від кожного джерела передається до системи моніторингу, де відбувається розподіл та управління енергією та джерелами залежно від погодних умов. У майбутньому надлишки електроенергії можна буде продавати в загальну мережу за допомогою розподіленої мережі.

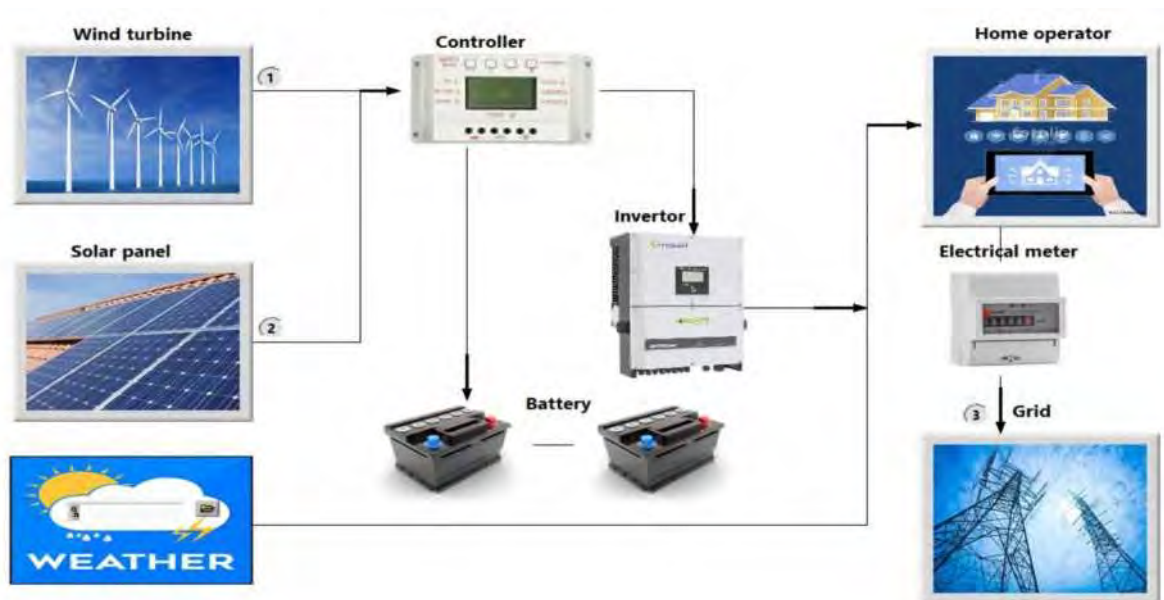


Рис. 2.1. Блокова схема системи моніторингу енергопостачання житлового будинку

Комбінування вітрової турбіни із сонячними панелями здійснюється для зниження залежності від єдиного джерела енергії та погодних умов, оскільки бувають періоди затишшя за яскравого сонця і, навпаки, сильний вітер дме за хмарної погоди.

А в разі несприятливих погодних умов є можливість використовувати накопичений «резервний» запас електроенергії навіть під час споживання.

Ємність акумуляторних батарей також зроблена надмірною та розрахована виходячи з необхідного часу роботи у періоди затишшя та хмарної погоди. У системі використовуються герметичні необслуговувані AGM-акумулятори, які не вимагають періодичного додавання електроліту та не виділяють шкідливих газів. Термін служби цього типу акумуляторів становить від 3 до 5 років, залежно від режиму експлуатації.

Інвертор (перетворювач напруги) видає необхідну напругу на виході системи – 220 В (1 фаза) або 380 В (3 фази). Потужність інвертора обирається виходячи з типу підключеного навантаження – активне (освітлення, нагрівачі тощо) або реактивне (холодильники, пральні машини та будь-які інші пристрої, що мають електродвигуни). За наявності реактивного навантаження потужність інвертора розраховується з урахуванням п'ятикратного

перевантаження. Це робиться через високий пусковий струм електродвигунів [8].

## 2.1 Розробка технологічного та інструментального креслення (P&ID)

Технологічна та приладова схема (Piping and Instrumentation Diagram, P&ID) є основним технічним документом, який визначає функціональну та блокову структуру окремих вузлів для автоматичного контролю, управління та регулювання технологічного процесу та обладнання об'єкта управління за допомогою засобів і пристроїв автоматизації (включаючи телемеханіку та комп'ютерну техніку). На рисунку 2.2 описана P&ID системи моніторингу житлового котеджу.

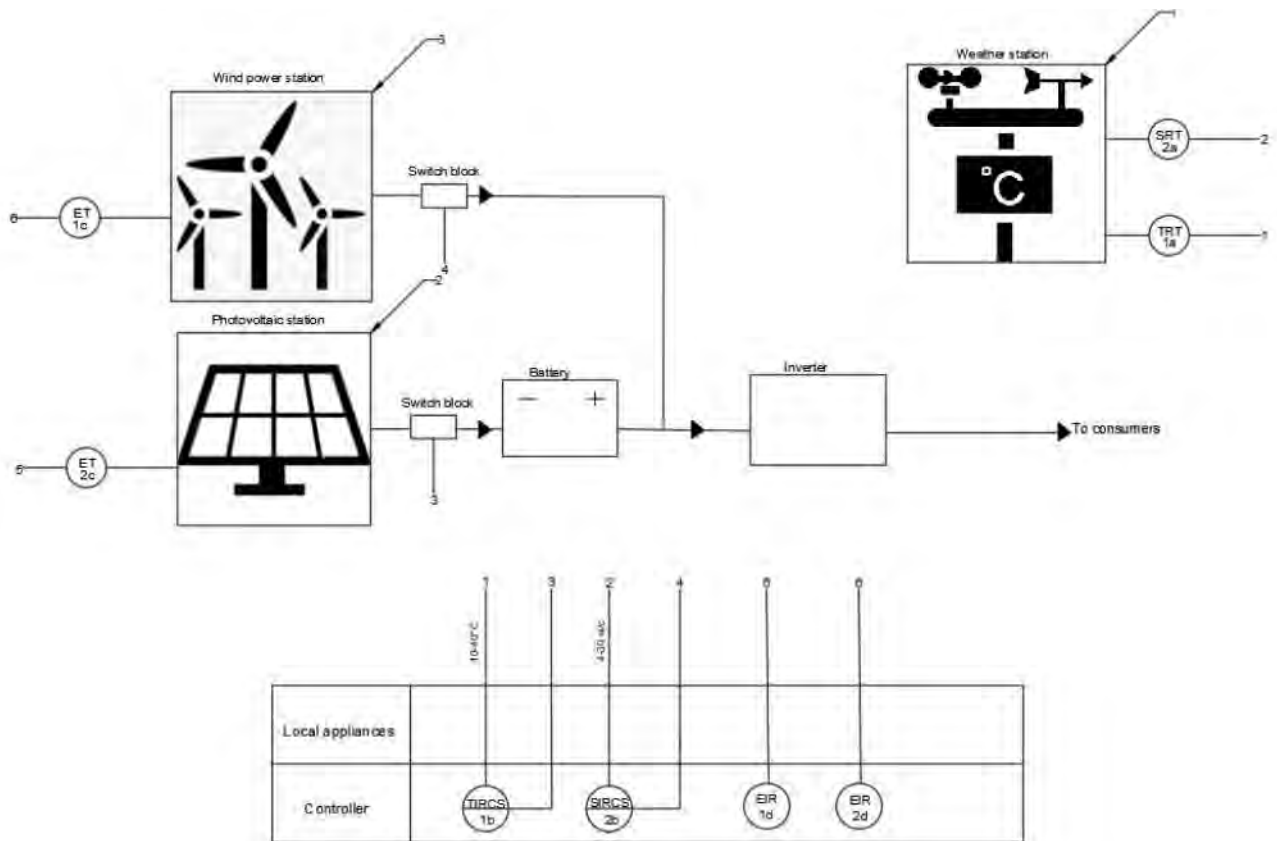


Рис. 2.2. Технологічна та приладова схема (P&ID) системи енергопостачання житлового котеджу

Технологічна та приладова схема (P&ID) показує відновлювані джерела енергії у вигляді фотовольтаїчної та вітрової станції, метеостанцію, з якої

отримується інформація про прогноз погоди, а також інвертор та акумуляторні батареї.

Метеостанція приймає температуру повітря в місці розташування. Якщо ця температура знаходиться поза встановленим діапазоном (10–40 °C), сигнал надсилається на контролер. Отримавши сигнал, контролер обробляє та інтегрує його, а потім надсилає відповідні значення до блоку Switch (Перемикач) для відключення використання сонячної панелі.

Якщо швидкість вітру перевищує або не досягає діапазону від 4 м/с до 30 м/с, контролер також надсилає сигнал для відключення вітрогенератора. Якщо швидкість вітру або температура повітря перевищує вказаний інтервал, то ефективність виробництва енергії кожного джерела поступово знижуватиметься.

Під час безперебійної роботи системи енергопостачання житлового котеджу згенерована енергія накопичується в акумуляторних батареях, а потім інвертор перетворює постійний струм на змінний для подальшого використання. Крім того, контролери отримують кількість енергії від електричних метричних датчиків та реєструють ці дані в системі моніторингу.

## **2.2 Розрахунок енергоспоживання та потреби в потужностях**

Зростаючий попит на електроенергію та виведення з експлуатації старих генеруючих потужностей через їхнє зношення в Україні вимагатиме значного будівництва нових потужностей: за різними оцінками, близько 10-15 ГВт до 2030 року (що відповідає значній частці існуючих потужностей) та подальшого зростання до 2050 року, не враховуючи встановлену потужність із відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). Згідно з прогнозами експертів, споживання в Україні продовжуватиме демонструвати стабільне зростання, особливо з огляду на потреби відновлення та посилення індустріалізації. Споживання електроенергії на тлі розвитку економіки може зрости до понад 150 мільярдів кВт·год до 2030 року і вище до 2050 року.

Розрахунок споживання електроенергії в типовому житловому котеджі в Україні, де проживає 2-3 особи, за умови використання газової плити,

наведено в Таблиці 2.3. Електроенергія, отримана від Сонця чи Вітру, може бути використана, наприклад, для живлення наступних електричних приладів [11]:

Таблиця 2.3

## Розрахунок споживання електроенергії в приватному будинку

Електричні Прилади	Споживана Енергія (Вт·годин на добу, Вт·год)
Холодильник Класу А++ (з розрахунку 600 Вт·год/добу)	600 Вт·год
Насос для свердловини (800 Вт, 2 години/добу)	1600 Вт·год
Енергоощадні лампи (10 шт. по 20 Вт протягом 3 годин/добу)	600 Вт·год
40" LCD/LED Телевізор (100 Вт, 3 години/добу)	300 Вт·год
Зарядний пристрій для смартфона (10 Вт, 3 години)	30 Вт·год
Ноутбук (50 Вт, 5 годин/ добу)	250 Вт·год
Пилосос (1500 Вт, працює 30 хвилин або 0,5 години)	750 Вт·год
Мікрохвильова піч (1500 Вт, працює 15 хвилин або 0,25 години)	375 Вт·год
Електрочайник (2000 Вт, працює 10 хвилин або 0,17 години)	340 Вт·год
Інші електроприлади (з розрахунку 155 Вт·год/добу)	155 Вт·год
Всього	5000 Вт·год (або 5 кВт·год)

Потужність інвертора в системі є достатньою для тривалої роботи будь-яких електроприладів із сумарною потужністю до 3 кВт із піковою пусковою потужністю до 6 кВт. Цього вистачає, наприклад, для будь-якого холодильника, освітлення, телевізора, ноутбука, насоса, опалювального котла (крім електричного), будь-яких електроінструментів, зарядних пристроїв, мікрохвильової печі та іншої побутової техніки. У разі необхідності збільшити потужність, можна додати ще один інвертор або замінити на потужніший (наприклад, до 15 кВт).

Використовуваний потужний контролер заряду дозволяє додати до

системи ще близько 500 Вт сонячних панелей. Крім того, можна встановити додатковий контролер і додати необхідну кількість панелей, що значно збільшить середньодобову генерацію енергії.

Наведений вище розрахунок зроблено з урахуванням роботи електростанції у весняно-літній період. Тому необхідно розуміти, що при експлуатації системи восени-взимку або коли споживання електроенергії перевищує 5 кВт·год на добу, періодично буде використовуватися електрична енергія з мережі або від встановленого генератора (за умови відсутності можливості підключення до мережі).

Для довідки: 5 кВт·год на добу, або  $5 \cdot 30 = 150$  кВт·год на місяць, — це типове енергоспоживання в будинку, де проживає 2-3 особи, за умови використання газової плити. Ви можете звірити своє споживання за електролічильником або квитанцією про оплату за місяць.

Слід зазначити, що зростаючий попит на електроенергію та виведення з експлуатації старих генеруючих потужностей через їхнє зношення в Україні вимагатиме значного будівництва нових потужностей: за різними оцінками, близько 10-15 ГВт до 2030 року (що відповідає значній частці існуючих потужностей) та подальшого зростання до 2050 року, не враховуючи встановлену потужність із відновлюваних джерел енергії.

## **2.3 Порівняльний аналіз та вибір комплексу технічних засобів**

На основі розрахунку споживання енергії пропонуються наступні параметри сонячної електростанції та вітрової електростанції для будинку [11].

### **2.3.1 Вибір сонячної панелі**

Для забезпечення добового споживання в 5 кВт · год (або 5000 Вт · год) для гібридної системи в Україні необхідно розрахувати потужність:

Потрібна потужність:  $P_{\text{добова}} = 5000 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{добу}$ .

Середній показник Пік-годин Сонця (СПГС) для України: Візьмемо середньорічне значення 3,5 години/добу.

Ефективність системи: Втрати на інвертор, контролер, акумулятори та дроти становлять приблизно 25 %. Отже, потрібна генерація:  $5000 \text{ Вт} \cdot \text{год} / (1 - 0,25) \approx 6667 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{добу}$ .

Встановлена потужність (мінімальна):

$$P_{\text{вст}} = \frac{6667 \text{ Вт} \cdot \text{год} / \text{добу}}{3,5 \text{ год/добу}} \approx 1905 \text{ Вт} \approx 1,9 \text{ кВт}$$

Для забезпечення автономності протягом більшої частини року, рекомендується встановлювати потужність з запасом 30-50 %, особливо враховуючи осінньо-зимові місяці:  $P_{\text{вст}} \approx 2,5 - 3,0 \text{ кВт}$ .

Для досягнення потужності 2,5 кВт ми обираємо сучасні монокристалічні 550 Вт модулі, які мають найкраще співвідношення ККД до займаної площі.

Кількість модулів для 3,0 кВт:

$$3000 \text{ Вт} / 550 \text{ Вт} \approx 5,45.$$

Рекомендована кількість 6 шт

Таблиця 2.4

Технічні характеристики сонячних панелей

Модель	<u>LR5-72НТН-575М</u>	<u>LR5-72НРН-555М</u>	<u>LR5-72НТН-565М</u> <u>Hi-MO6</u>
Виробник	Longi Solar (Китай)	Longi Solar (Китай)	Longi Solar (Китай)
Модель	LR5-72НТН-575М	LR5-72НРН-555М	LR5-72НТН-565М Hi-MO6
Номінальна потужність, Вт	575	555	565
Тип кристалла	Монокристалічний	Монокристалічний	Монокристалічний
Номінальна напруга, В	52.06	49.95	51.76
Струм короткого замикання, А	14.14	14.04	14.01
Габаритні розміри, ДхШхВ (мм)	2278x1134x35	2256x1133x35	2278x1134x35
Маса, кг	27.5	27.2	27.5
Ціна	3 978 грн	4 479 грн	5 092 грн

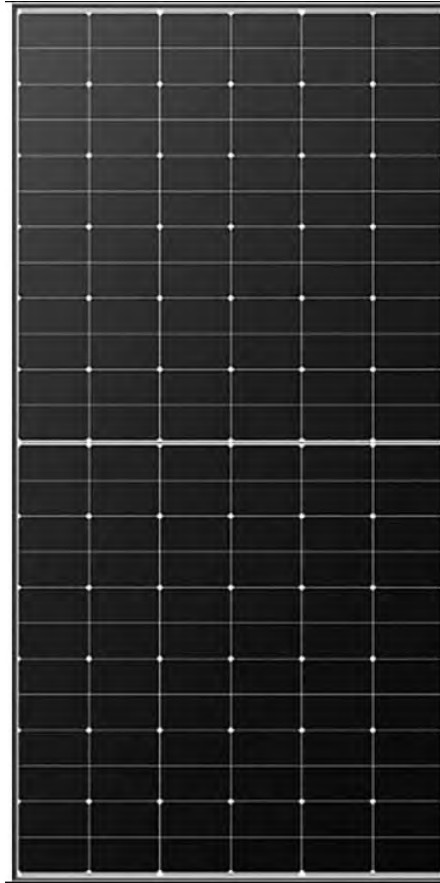


Рис. 2.3. Сонячна панель Longi Solar LR5-72НТН-575М

Виходячи з того, що будинок споживає 5 кВт, була обрана сонячна панель Longi Solar LR5-72НТН-575М потужністю 575 Вт, яка має максимальну щільність сонячних модулів на площі батареї, з ряду проведених порівнянь вона є найефективнішою з точки зору співвідношення ціни на потужності [23].

### 2.3.2 Вибір вітрогенераторної установки.

Було проведено порівняльний аналіз двох вітрових турбін, таких як Flamingo AERO 4.4 (рисунок 2.4) та Flamingo AERO 3.1, технічні характеристики яких представлені в таблиці 2.5.



Рис. 2.4. Вітрова турбіна Flamingo AERO 4.4

Таблиця 2.5

## Технічні характеристики вітрових турбін

Назва	Flamingo AERO 4.4	Flamingo AERO 3.1
Номінальна потужність вітрогенератора	1,6 кВт	0,8 кВт
Діаметр вітрової турбіни	4,4 м	3,1 м
Кількість лопатей	3 шт.	3 шт.
Стартова швидкість вітру	2,5 м/с	2,5 м/с
Розрахункова швидкість вітру	8 м/с	8 м/с
Максимально допустима швидкість вітру	50 м/с	50 м/с
Виробництво енергії (в середньому на місяць)	від 250 до 500 кВт·год	від 120 до 250 кВт·год
Висота щогли	20 м	17 м

У вітровій турбіні Flamingo Aero-4.4 використовується аеромеханічна система стабілізації швидкості вітроколеса, що дозволяє вітрогенератору працювати в широкому діапазоні швидкостей вітру. Завдяки відсутності мультиплікатора та системи збудження генератора у вітрогенераторі, забезпечується високий ресурс вітрової турбіни, що робить Flamingo Aero-4.4 більш надійною [24].

### 2.3.3 Вибір панелі керування (Control Panel) для обладнання

У Таблиці 2.6 описано два типи панелей керування для обладнання Victron Energy: Victron Venus GX [25] (рис. 2.5) та Victron Color Control GX [26]. Другий тип панелі оснащений власним цифровим дисплеєм.



Рис. 2.5. Панель керування обладнанням Victron Energy

Таблиця 2.6

#### Технічні Характеристики Панелей Керування

Назва	Victron Venus GX	Victron Color Control GX
Дисплей / Кнопки	відсутні	наявні
Порти Комунікації (VE.Bus, VE.Can, VE.Direct)	VE.Bus — 2 порти; VE.Can — 2 порти; VE.Direct — 2 порти.	VE.Bus — 2 порти; VE.Can — 2 порти; VE.Direct — 2 порти.
Wi-Fi	наявний доступ до вбудованого веб-сервера панелі керування;	відсутній
Ethernet	для підключення до локальної мережі та Інтернету, а також для віддаленого моніторингу через безкоштовний веб-сайт <a href="http://vrm.victronenergy.com">vrm.victronenergy.com</a>	для підключення до локальної мережі та Інтернету, а також для віддаленого моніторингу через безкоштовний веб-сайт <a href="http://vrm.victronenergy.com">vrm.victronenergy.com</a>
USB Host	2 порти	2 порти
USB Device	відсутній	1 порт
Релейний Вихід	2 NO/NC виходи для керування зовнішніми пристроями	для керування зовнішніми пристроями
Вхід Живлення DC	8-70 В	8-70 В
Підключення датчиків рівня рідини в резервуарах	3 входи	відсутнє
Входи для підключення датчиків температури	2 входи	відсутні

Використання панелі Victron Venus GX дає змогу конфігурувати всі пристрої Victron, які є частиною системи безперебійного живлення або сонячної електростанції. Крім того, вона дозволяє моніторити поточний стан системи та переглядати архівні дані, що зберігаються в пам'яті панелі. Слід зазначити, що саме ця модель має найбільшу кількість портів та входів для підключення додаткових сенсорів.

### 2.3.4 Вибір Акумуляторної Батарей (АКБ)

У Таблиці 2.7 розглянуто три типи акумуляторних батарей Challenger — A12-100A, A12-200 (рис. 2.6) та A12-50(55). Вони відрізняються ємністю, габаритними розмірами та вагою.



Рис. 2.6. Акумуляторна батарея Challenger A12-200

Таблиця 2.7.

Технічні Характеристики Акумуляторних Батарей

Назва	Challenger A12-100A	Challenger A12-200	Challenger A12-50(55)
Напруга	12 v	12 v	12 v
Ємність	109 Ah	200 Ah	59 Ah
Розміри (ДхШхВ, мм)	328x172x222	522x223x238	230x138x215
Вага	30 kg	60.15 kg	18 kg

Порівнюючи три типи батарей, акумулятор Challenger A12-200 був обраний як найбільш доцільний для системи електропостачання всього

котеджу. Ця батарея являє собою повністю необслуговуваний герметичний свинцево-кислотний акумулятор із запобіжним клапаном і має найбільшу ємність серед представлених ( $\cdot 200 \cdot \text{А} \cdot \text{год} \cdot$ ) [27].

### 2.3.5 Вибір Контролера Заряду

У Таблиці 2.8 розглянуто два типи контролерів заряду: Blue Solar MPPT та IES PRO MPPT 150/70-Tr. Вони відрізняються потужністю та габаритними розмірами.



Рис. 2.7. Контролер заряду Blue Solar MPPT

Таблиця 2.8

#### Технічні характеристики контролерів заряду

Назва	Blue Solar MPPT	IES PRO MPPT 150/70
Алгоритм Заряду	MPPT (multi-stage, adaptive)	MPPT (3 stages)
Максимальна Потужність Сонячних Панелей	1000 Вт при напрузі акумулятора 12 вольт, 2000 Вт при напрузі акумулятора 24 вольти, 4000 Вт при напрузі акумулятора 48 вольт	800 Вт при напрузі акумулятора 12 вольт, 1600 Вт при напрузі акумулятора 24 вольти, 3200 Вт при 48 вольт
Максимальний Струм Заряду Батарей, А	70	70
Системна Напруга, В	12/24/36/48/96 (автоматично)	12/24/36/48/96 (автоматично)
Вбудований Датчик Температури	наявний	наявний
Цифровий Дисплей	відсутній	наявний
Діапазон Робочих Температур, °C	-30 ... + 60	-40 ... + 60
Габарити, мм	185 x 250 x 95	220 x 120 x 190
Вага, кг	3.0	3.7

Оптимальним для використання вважається надшвидкий контролер заряду BlueSolar MPPT з номіналом 70А. Зокрема, рекомендовано модель BlueSolar MPPT 150/70-Tr / MC4. Його перевагою є здатність високошвидкісного відстеження точки максимальної потужності (MPPT) сонячних елементів в умовах мінливої хмарності, що забезпечує приріст близько 10% отриманої енергії порівняно зі звичайними контролерами MRI. Ефективність (ККД) цього контролера становить високі 98% [28].

### 2.3.6 Вибір Інвертора

Інвертор призначений для безперебійного живлення навантаження від фотоелектричних модулів, акумуляторної батареї або міської мережі (рис 2.8). Він здатний одночасно живити навантаження та підзаряджати акумулятори, якщо генерованої потужності від сонячних панелей достатньо. У Таблиці 2.10 представлено порівняльний аналіз двох типів інверторів: Victron MultiPlus 24/3000/70-50 та MAP-SIN-PRO-12-3.



Рис. 2.8. Інвертор Victron MultiPlus

Таблиця 2.10

## Технічні Характеристики Інверторів

Назва	Victron MultiPlus 24/3000/70-50	MAP-SIN-PRO-12-3
Номінальна вихідна потужність, кВт	2,4	2
Номінальна вихідна потужність, ВА	3000	3000
Пікова вихідна потужність, кВт	6	5000
Максимальний робочий струм реле перемикавання, А	50	16
Тип вихідної напруги	чиста синусоїда	чиста синусоїда
Мінімальна вхідна напруга АКБ, В	24	12
Максимальний ККД	94%	93%
Власне споживання без навантаження, Вт	20	10
Час перемикавання на АКБ при зникненні мережі, мс	20	~20
Розміри, мм	362 x 258 x 218	180 x 510 x 370
Вага, кг	18,0	21
Робоча температура, °С	-40°C to +50°C	-25°C to +35°C

Був обраний інвертор із зарядним пристроєм Victron MultiPlus 24/3000/70-50. Він підходить для широкого спектру застосувань із високою потужністю, до 3 кВт, і може бути налаштований для роботи з альтернативними джерелами енергії. Це означає, що електрика від сонячних панелей буде використовуватися в першу чергу, а при її нестачі система автоматично добере енергію з мережі або запустить генератор [29].

Ключові переваги Victron MultiPlus:

1. Потужність: Номінальна потужність 2,4 кВт та пікова 6 кВт (найвища серед порівнюваних) забезпечують необхідний резерв для запуску насосів та інших приладів із високими пусковими струмами.

2. Надійність: Широкий діапазон робочих температур (від -40 до +50 °C) гарантує стабільну роботу в кліматичних умовах України.

3. Функціональність: Ця модель Victron є гібридним пристроєм, що поєднує інвертор, потужний зарядний пристрій (70 А) та швидке реле перемикання (50 А), що є критичним для створення надійної системи резервування.

### 2.3.7 Вибір Джерела Живлення (Блоку Живлення)

У Таблиці 2.11 розглянуто два типи блоків живлення MEANWELL — TS-1500-248В та RSP-1500-48



Рис. 2.9. Блок живлення MEANWELL TS-1500-248В

Таблиця 2.11

#### Технічні Характеристики Блоків Живлення MeanWell

Назва	MEANWELL TS-1500-248В	MEANWELL RSP-1500-48
Робоча Температура	-10°C ~ +60°C	-20°C ~ +70°C
Потужність, Вт	1500	1536
Вхідна Напруга (Uвх), В	42-60 В	90-264 В
Вихідна Напруга (Uвих), В	220 В	48 В

Блок живлення Meanwell TS-1500-248В був визнаний ідеально придатним для системи, оскільки він має високу вихідну напругу (220 В).

Критичний аналіз ролі пристрою в системі:

Згідно з технічними характеристиками:

MEANWELL TS-1500-248В є інвертором (приймає низьку напругу 48 В від акумуляторів і видає 220 В змінного струму).

MEANWELL RSP-1500-48 є випрямлячем або зарядним пристроєм (приймає високу напругу 220 В змінного струму і видає 48 В постійного струму для зарядки АКБ).

У контексті забезпечення електропостачання будинку від сонячної системи, ключовим пристроєм, що видає 220 В, є інвертор. Вибір моделі TS-1500-248В є логічним, оскільки її функціональне призначення — перетворення постійного струму АКБ (48 В) у змінний струм (220 В) для живлення побутових приладів, що відповідає потребам системи автономного живлення. [30, 31].

### 2.3.8 Додаткове Обладнання

Для забезпечення безпечної, надійної та ефективної роботи сонячної електростанції (ФЕС) необхідний комплекс додаткового обладнання. Його технічні характеристики представлені у Таблиці 2.11:

Таблиця 2.11

Технічні Характеристики Додаткового Обладнання

Назва	Значення
Запобіжник із тримачем	100 А
Автоматичні вимикачі DC (для сонячних батарей (СБ) та інвертора)	32 А and 175 А
Комплект кабелів та конекторів: (один комплект із довжиною сонячного кабелю)	15 m

#### Аналіз та Призначення Додаткових Компонентів

##### 1. Запобіжник із тримачем (100 А):

Призначений для захисту акумуляторної батареї та інвертора від перевантажень і короткого замикання. Запобіжник встановлюється на постійному струмі (DC) між акумуляторами та інвертором/контролером і є критично важливим елементом безпеки системи.

##### 2. Автоматичні вимикачі DC:

32 А: Використовується для захисту лінії від сонячних панелей (СБ) до контролера заряду. Його номінал підбирається відповідно до максимального струму, який можуть видавати послідовно з'єднані панелі.

175 А: Використовується для захисту лінії між акумуляторами та інвертором. Високий номінал (175 А) необхідний, оскільки інвертори великої потужності (3 кВт і вище) споживають дуже великий струм постійного струму при роботі від батарей.

### 3. Комплект кабелів та конекторів (15 м):

Включає спеціалізований сонячний кабель (PV-кабель), стійкий до ультрафіолету та високих температур, а також конектори типу MC4 для надійного та герметичного з'єднання сонячних панелей між собою та з розподільною коробкою. Довжина 15 м є типовою для з'єднання панелей, розташованих на даху, з обладнанням у технічному приміщенні.

### 2.3.9 Вибір контролера для системи моніторингу енергопостачання.

Програмно-апаратний комплекс моніторингу, побудований на базі мікроконтролерної системи, відповідає за обслуговування датчиків, первинну обробку інформації та перетворення її на стандартні значення, накопичення та буферизацію даних, а також за обслуговування з'єднання та передачу даних відповідно до встановленого алгоритму та у визначеному стандарті для сервера. Сервер забезпечує віддалений прийом даних з апаратного забезпечення, запис даних у базу даних, обробку отриманої інформації, візуалізацію даних у реальному часі, формування звітів за запитами. Фронт-офіс забезпечує реєстрацію користувачів, створення сервісів та управління ними. Недоліки промислових пропрієтарних мікроконтролерних систем керування (висока ціна, недоступність засобів розробки, закрита архітектура) змусили нас шукати більш доступні компоненти.

Через постійно зростаючу кількість застосувань, які висувають підвищені вимоги до продуктивності обробки даних, спостерігається

тенденція до зростання попиту на мікроконтролери. Arduino[32] (рисунок 2.10а) та STM32 (рисунок 2.10b) обрані як мікроконтролери для порівняння. Таблиця 2.12 порівнює дві плати за технічними характеристиками.

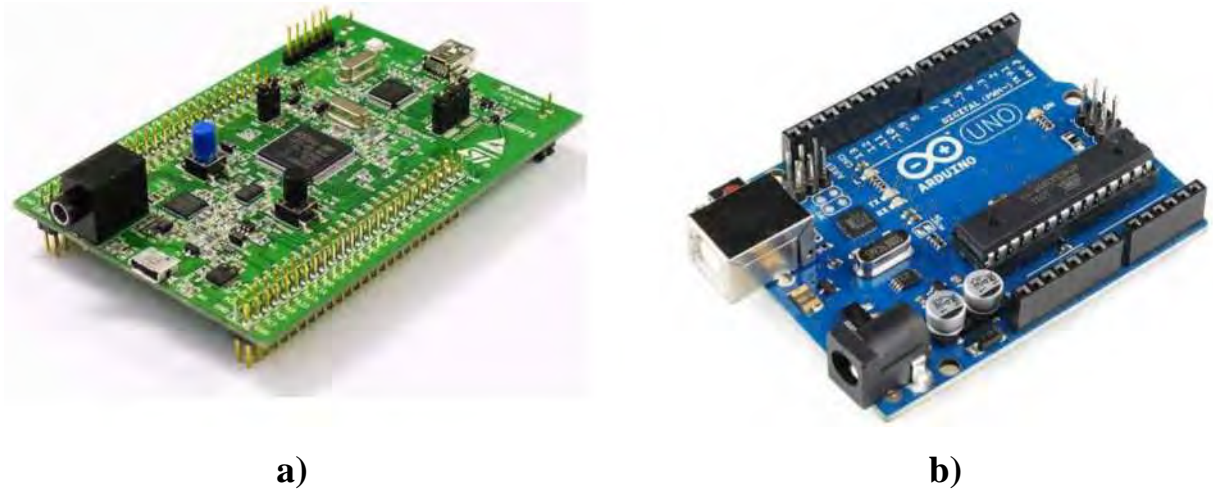


Рис. 2.10. Структура платформ: а) STM32 та б) Arduino Uno

Таблиця 2.12.

Технічні характеристики платформ

Характеристики	STM32F103C8T6	Arduino
Частота контролера, МГц	72	16
Програмна пам'ять, КБ	64	32
Живлення, В	3.3	5
ОЗП (RAM), КБайт	20	2
UART (послідовні порти)	3	1
Прошивка через USB	no	yes

Як бачимо, за багатьма параметрами Arduino програє STM32. Однак використання Arduino має значні переваги над STM32 [33].

По-перше, деякі схемні рішення з мікроконтролером STM32 можуть не сподобатися новачкам у цій справі, тоді як Arduino намагається максимально задовольнити потреби нового користувача і не створює жодних труднощів. Звідси впливають доступні шилди, простота використання, чим мікроконтролери STM похвалитися не можуть, і просте програмування під Atmel, без необхідності вивчати на практиці всі тонкощі мови.

Система моніторингу енергопостачання житлового котеджу передбачає візуалізацію, управління джерелами та отримання інформації про стан енергоресурсу в кожному з джерел. Для таких завдань, систем з невеликою кількістю вбудованих датчиків, відповідно до вищезазначених переваг, для керування мікроконтролер Arduino є цілком прийнятним. За результатами проведеного аналізу був обраний відкритий проєкт Arduino, серед переваг якого можна відзначити наступні:

- відкрита архітектура. Доступні всі вихідні коди та технічна документація проєкту, що дозволяє адаптуватися до конкретних потреб. В першу чергу, ця апаратна платформа базується на мікроконтролері AVR, який має досконалу архітектуру і може виконувати команди за кожен такт. Доступність у програмуванні та доступність програмного забезпечення і засобів розробки зіграли величезну роль у моєму виборі;
- просте середовище розробки. Крос-платформні інструменти на основі C/C++ мають багато оригінальних та користувацьких бібліотек для вирішення різноманітних завдань;
- низька вартість. Завдяки відкритій архітектурі можна придбати клони модулів від 5 \$;
- широкі комунікаційні можливості. В Arduino, на мікропроцесорному рівні або за допомогою окремих модулів, підтримуються майже всі значущі послідовні або паралельні протоколи обміну даними;
  - багато портів введення-виведення, апаратні переривання;
  - універсальна система живлення. Arduino Uno може живитися як через USB-з'єднання, так і від зовнішнього джерела: акумулятора або звичайної електричної мережі;
- кросплатформність – програмне забезпечення Arduino працює на Windows, Macintosh OSX та Linux. Більшість мікроконтролерів обмежені операційною системою Windows.

Для посилення сигналу на виході Arduino використовується підсилювач LM324, який складається з чотирьох операційних підсилювачів з високим

коефіцієнтом підсилення та працює від одного джерела живлення (Рисунок 2.11). Технічні дані операційного підсилювача LM324 наведені в Таблиці 2.13.

Таблиця 2.13

## Характеристики підсилювача LM324

Характеристики	Значення
Широка смуга пропускання	1.3 MHz
Високий коефіцієнт підсилення постійного струму (DC gain)	100 dB
Широкий діапазон напруги живлення	Для уніполярного живлення: від +3 В до +30 В
Велика амплітуда вихідної напруги	Для біполярного живлення: від $\pm 1.5$ В до $\pm 15$ В



Рис. 2.11. Підсилювач LM324

Мікросхема серії LM324 – це недорогий операційний підсилювач із прямим диференціальним входом, внутрішньою частотною компенсацією при одиничному підсиленні та захистом від короткого замикання [34].

В одному корпусі мікросхеми розташовані чотири незалежні операційні підсилювачі. Вони мають низку незаперечних переваг перед типовими операційними підсилювачами, що використовуються в однополярних схемах живлення. Операційний підсилювач LM324 чудово працює у широкому діапазоні напруг живлення: від 3 В до 32 В.

## 2.4 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 2

У дослідницько-аналітичному розділі було розроблено та обґрунтовано структурну схему енергопостачання житлового котеджу на основі інтеграції відновлюваних джерел енергії — сонячних панелей та вітрової турбіни — із системою моніторингу на базі технологій IoT. Проведений аналіз показав доцільність комбінування різних джерел генерації для підвищення надійності та автономності енергопостачання. Створена P&ID-схема відображає логіку роботи обладнання, алгоритми контролю та умови безпеки. Виконано розрахунок енергоспоживання будинку та визначено необхідні потужності встановлених систем. На основі порівняльного аналізу технічних характеристик вибрано оптимальні сонячні панелі, вітрогенератор, контролер заряду, інвертор та акумуляторні батареї. Отримані результати підтверджують можливість створення ефективної, надійної та економічно обґрунтованої системи енергопостачання для приватного житлового будинку з можливістю подальшого розширення та інтеграції в «розумні» енергетичні мережі.

## РОЗДІЛ 3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

### 3.1 Розробка програмного забезпечення системи моніторингу енергопостачання

#### 3.1.1 Вибір мови програмування для системи моніторингу енергопостачання.

Інтенсивний розвиток сектору мобільних платформ протягом останніх років призвів до зростання ринку послуг мобільних додатків. У Україні спостерігається позитивна тенденція щодо кількості користувачів прикладних сервісів для побутових користувачів енергоресурсів.

У Магістерській кваліфікаційній роботі розроблено систему моніторингу енергопостачання житлового котеджу з метою візуалізації та контролю згенерованої енергії від фотовольтаїчної електростанції та вітрогенератора у вигляді настільної програми для Windows. Як мову програмування для настільного додатку обрано C#, вона спроектована та розроблена спеціально для використання з .NET Framework [35].

Мета .NET Framework — слугувати середовищем для підтримки розробки та виконання високорозподілених компонентних програм.<sup>2</sup> Він забезпечує спільне використання різних мов програмування, а також безпеку, портативність програм та єдину модель програмування для платформи Windows. Програми на C# виконуються поверх .NET Framework, вбудованого компонента Windows, який включає віртуальне середовище виконання, що називається Common Language Runtime (CLR), і єдиний набір бібліотек класів. CLR є комерційною реалізацією Common Language Infrastructure (CLI). Він служить основою для створення виконуваних файлів та середовищ розробки, в яких мови та бібліотеки бездоганно працюють разом.

Вихідний код C# компілюється в проміжну мову (Intermediate Language, IL), яка відповідає специфікації CLI. IL-код та ресурси, такі як растрові зображення та рядки, зберігаються на диску як виконуваний файл — збірки (assemblies), зазвичай з розширеннями .exe та .dll.

### 3.1.2 Розробка блок-схеми алгоритмів системи моніторингу енергопостачання.

Блок-схема алгоритму керування та моніторингу енергопостачання житлового котеджу представлена на рисунках 3.1–3.2.

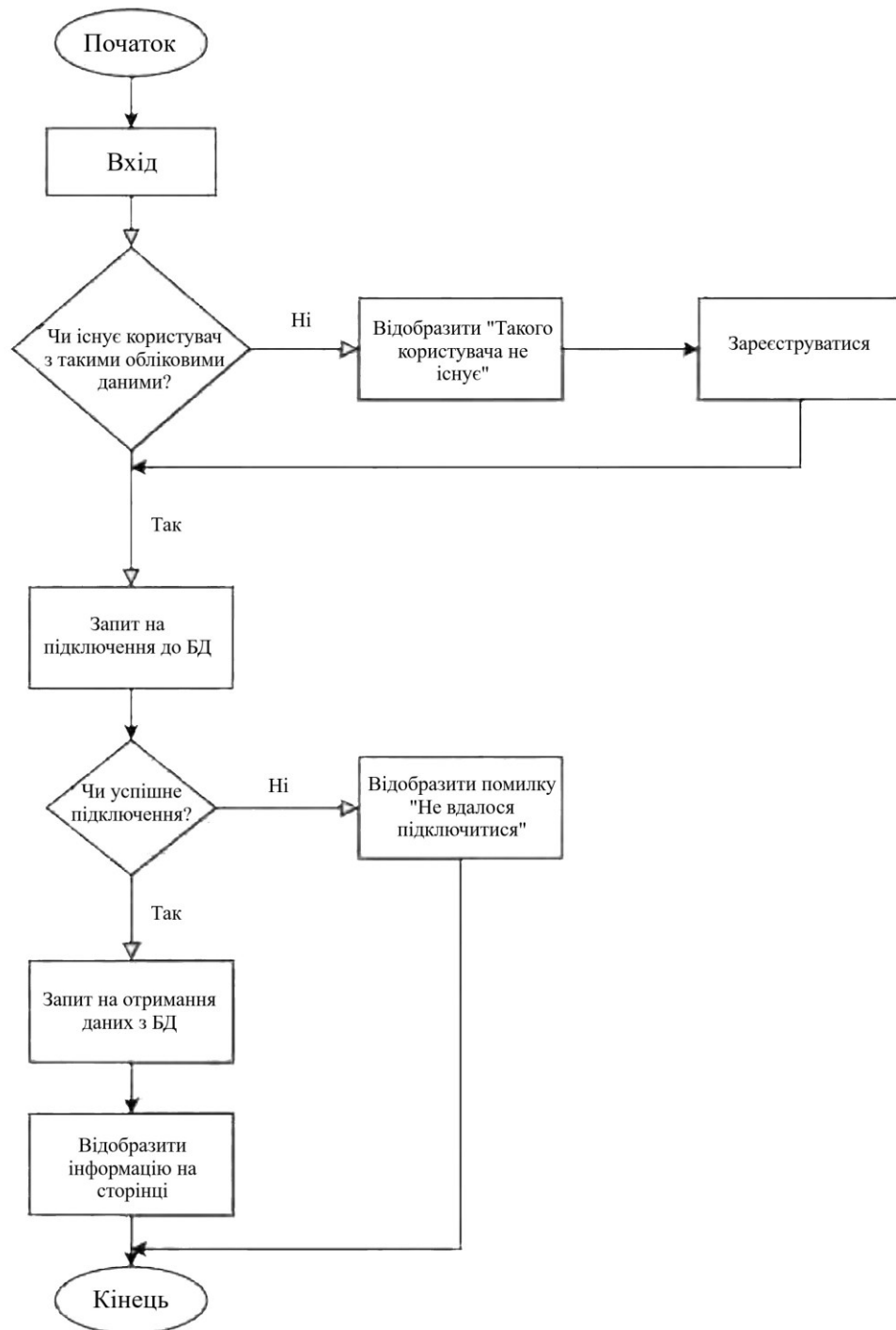


Рис. 3.1. Блок-схема запуску системи

При запуску програми відкривається вікно авторизації за логіном та паролем (рисунок 3.5). Якщо облікового запису немає, є можливість створити новий, відкривши вікно реєстрації. Після успішної авторизації спостерігається головна сторінка системи моніторингу, де розташована інформація про поточну погоду (температура, швидкість вітру тощо). Також присутні три основні вкладки: поточна погода, панель керування, погода на інші дні. При виведенні цієї інформації відбувається запит до бази даних (рисунок 3.7), звідки витягуються ці параметри поточних потужностей наявних джерел енергії та відображаються у вигляді таблиць користувачеві у самій програмі.

Крім того, існує система рекомендацій щодо увімкнення/вимкнення джерел енергії залежно від поточної погоди. У програмі закладені оптимальні погодні умови для роботи відновлюваних джерел енергії, які є такими:

- Сонячні панелі мають високу ефективність при температурі від 10°C до 40°C. Має подаватися сигнал на вимкнення генерації енергії від сонячної батареї у разі високої хмарності (понад 7 балів), при опадах вище 50 мм, а також після заходу сонця;
- Вітрогенератор забезпечує номінальну потужність при температурі навколишнього середовища від -40 °C до +40 °C та висоті до 1000 м і відносній вомідості 98% (при t +25 °C). Швидкість вітру в місці встановлення не повинна перевищувати 30 м/с, оскільки при сильніших вітрах існує ймовірність руйнування станції.



Рис.3.2. Блок-схема алгоритму моніторингу енергопостачання житлового котеджу

Клієнт вмикає автоматичне керування джерелами енергії, після чого відбувається запит до інтернет-ресурсу для отримання даних про поточну погоду. Далі для кожного джерела енергії створюється власний процес перевірки з використанням поточних даних про погоду.

Кожен параметр перевіряється окремо (наприклад, відповідна температура, швидкість вітру тощо) і повертає у відповідь єдине булеве значення — true або false. Наприкінці зчитується кількість відповідей true та false. Якщо відповідей false більше, то джерело вимикається, якщо true — то вмикається.

### 3.1.3 Розробка інтерфейсу мобільного додатку "Energy Home".

Бази даних — це особливим чином організована структура, яка може зберігати, обробляти та змінювати інформацію у великих обсягах. Використання бази даних допоможе зберегти всі необхідні для користувача дані. З усіх різноманітних СКБД була обрана SQLite через відсутність обмежень у використанні, при якому вихідні коди перебувають у відкритому доступі. SQLite — це полегшений фреймворк, який, з одного боку, максимально використовує можливості SQL, а з іншого — дбайливо ставиться до ресурсів пристрою. Його недоліки не є критичними для мобільної розробки: наприклад, відсутні індекси для запитів LIKE та існують обмеження на розмір бази даних. SQLite є бібліотекою на мові C, яка реалізує невеликий, швидкий, автономний, надійний, повнофункціональний, механізм бази даних SQL. SQLite є найбільш використовуваним механізмом бази даних у світі [36, 37].

Під час функціонування мобільного додатку Energy Home здійснюються різноманітні зміни (ввімкнення/вимкнення) за допомогою запитів до бази даних. Як база даних використовується SQLite, де всередині зберігаються файли, таблиці, необхідні для функціонування додатка. Усі зміни відбуватимуться всередині файлу, який розташований у SQLite у вигляді таблиць (Рисунок 3.3–2.16).



Рис. 3.3 Створення бази даних

TypeId	Name	CapacityFull	CapacityCurrent	Enabled
1	Solar Panel	100	87	1
2	Windmills	100	55	1
3	Grids	100	21	1

Рис. 3.4. Вигляд бази даних "Energy"

Додаток "Energy Home" включає такі функції:

- авторизація користувача з метою безпеки;
- відображення показників прогнозу погоди;
- програма прийняття рішень залежно від погодних умов;
- виведення показників виробництва та споживання енергії в кожному джерелі (у відсотках та кВт).

При запуску програми відкривається вікно авторизації за логіном та паролем (рисунок 2.5). Якщо облікового запису немає, є можливість створити новий, відкривши вікно реєстрації. Після успішної авторизації спостерігається головна сторінка системи моніторингу, де розташована інформація про поточну погоду (температура, швидкість вітру тощо).

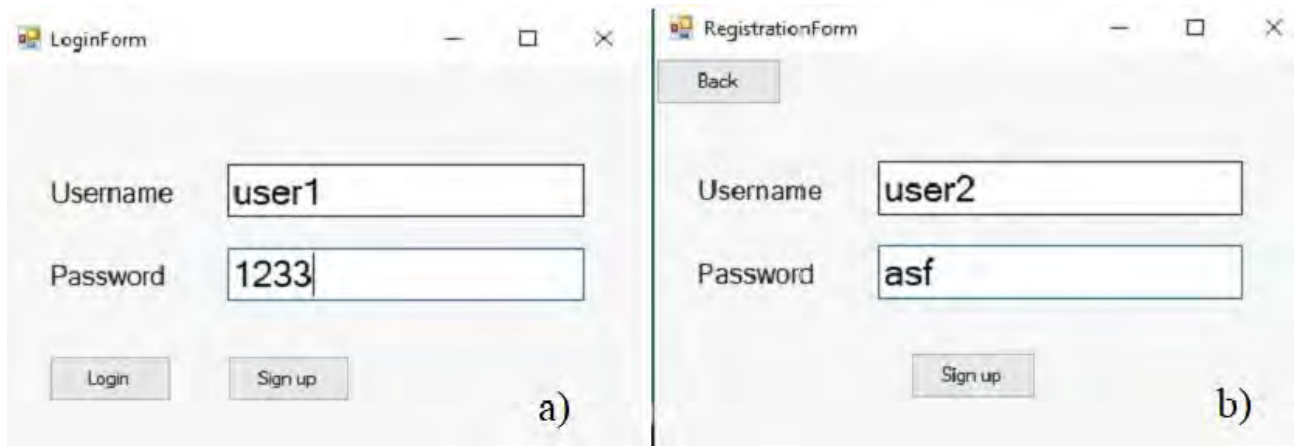


Рис. 3.5. Вікно авторизації: а – форма входу (логіну); б – форма реєстрації.

На головній сторінці відображається інформація про поточну погоду, а також такі параметри, як температура, швидкість вітру, вологість повітря (рисунок 3.6).

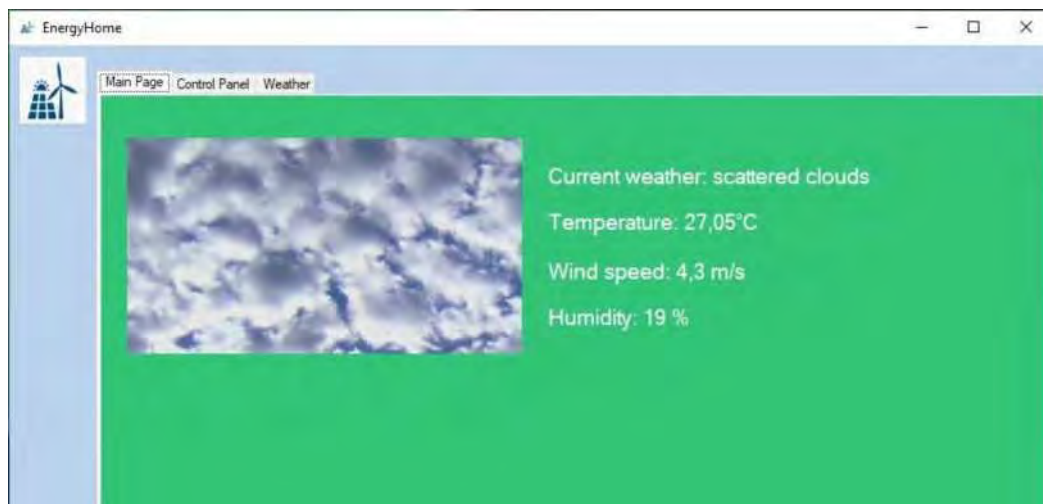


Рис. 3.6. Головна сторінка додатку

На другій вкладці «Панель керування» з бази даних витягуються дані про поточну потужність джерел енергії, відображається інформація про кількість виробленої та використаної енергії у вигляді відсоткових показників (рисунок 3.7). Також на цій сторінці відображається статус увімкнення або вимкнення джерел.

Кнопка «Використання» призначена для симуляції процесу використання ресурсів та надсилання запиту до бази даних, де показання оновлюються у реальному часі.

Кнопка «Автоматичне керування» дозволяє увімкнути автоматичний моніторинг енергопостачання, при якому щогодини перевіряється поточна погода і залежно від неї прийматиметься рішення про ввімкнення або вимкнення певного типу джерела для зберігання або використання енергії.

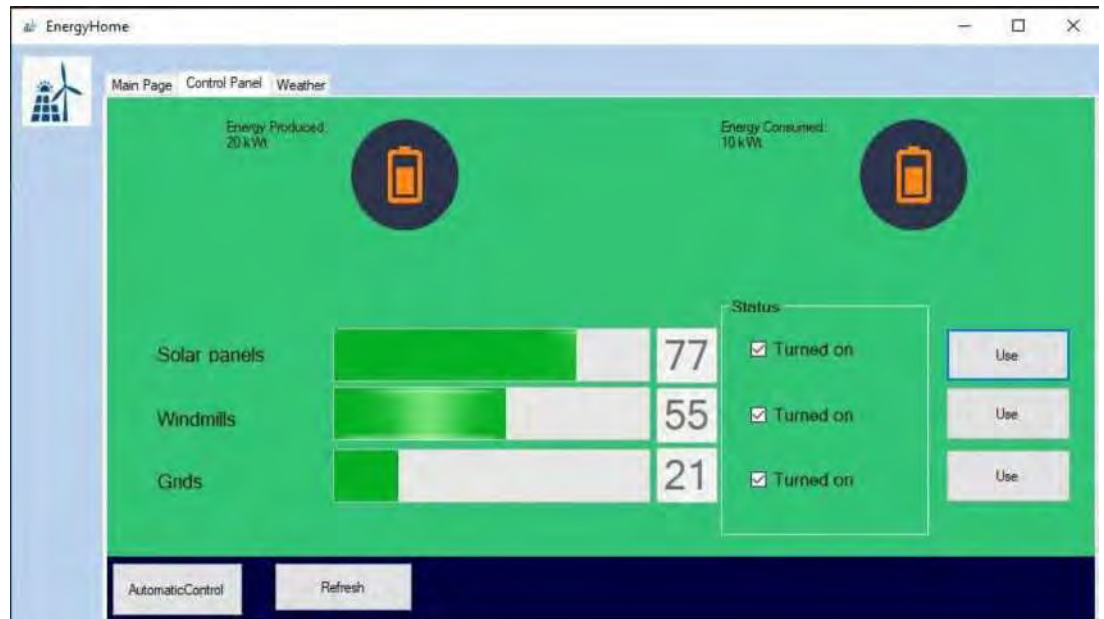


Рис. 3.7. Панель керування» мобільного додатку

На вкладці «Погода» відображається інформація про прогноз погоди для даної місцевості на наступні дні, за допомогою чого програма автоматично формує рекомендацію щодо використання енергії вітру чи сонця (рисунок 3.8).

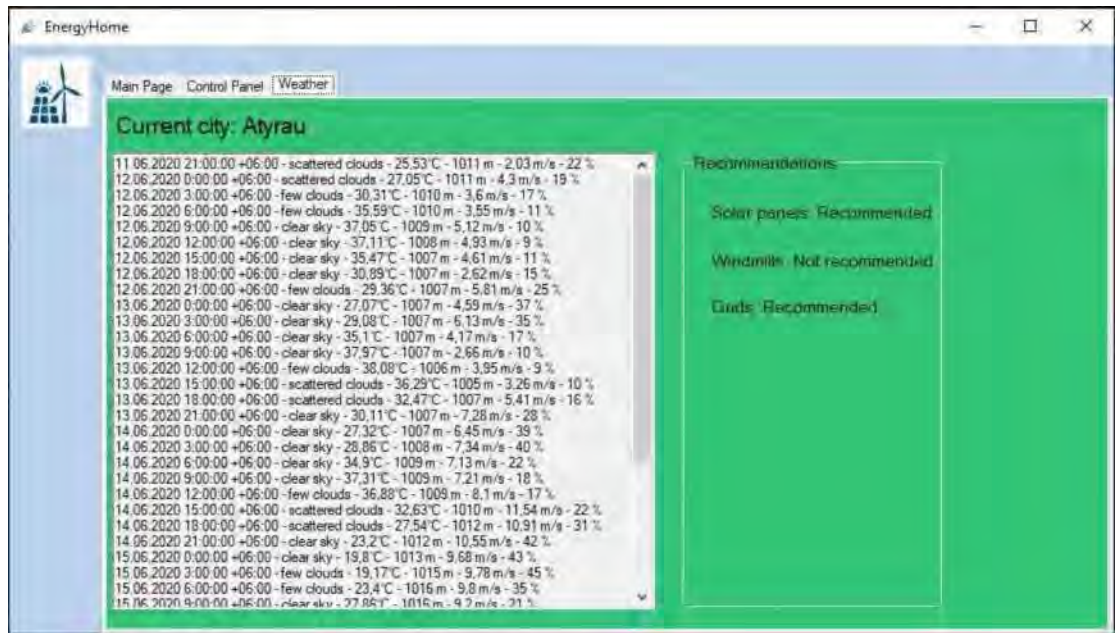


Рис. 3.8. Вікно «Погода» мобільного додатку

### 3.2 Розробка системи керування сонячним трекером на базі мікроконтролера Arduino Uno

У галузі електроенергетики, зокрема сонячної енергетики, методи її виробництва мають велике дослідницьке та технологічне застосування. Завдання полягає у підвищенні ефективності за рахунок нових матеріалів та більш складної технологічної структури сонячних електростанцій (СЕС). Для максимально ефективного перетворення сонячної енергії на електричну необхідно використовувати системи стеження за сонцем — «сонячні трекери». Кількість можливих варіантів виконання трекерів та їхнього керування дуже велика. Однак для стабільної роботи потрібна автоматизована система, здатна аналізувати поточний стан обладнання та навколишнього середовища. У рамках наукової студентської роботи була досліджена перспектива розробки системи моніторингу та управління енергопостачанням житлового котеджу, в результаті чого була розроблена система керування сонячним трекером для підвищення ефективності традиційної ФВС (фотовольтаїчної станції).

У цьому житловому котеджі площею 100 м<sup>2</sup> буде використана автоматизована установка на базі контролера Victron BlueSolar (рисунок 3.9).

ФВС, що розробляється для житлового котеджу, включає такі компоненти:

1. фотовольтаїчні панелі перетворюють сонячну енергію на електроенергію;
2. інвертор перетворює постійний струм від сонячних панелей на змінний струм, необхідний для живлення електроприладів;
3. контролер є панеллю керування для сонячної фотовольтаїчної системи. Контролер не допускає перевантаження системи або зворотного струму вночі;
4. лічильник електроенергії фіксує, скільки електроенергії подається в загальну мережу або скільки споживається за необхідності, наприклад, взимку.



Рис. 3.9. Житлова сонячна фотовольтаїчна система

В основному, звичайні (стаціонарні) сонячні панелі працюють з ефективністю 18–20% від отриманої енергії, що не зовсім відповідає енергетичним потребам. Щоб виробляти достатньо енергії, необхідно або підвищити ефективність панелей, або знайти спосіб отримувати більше енергії від існуючих панелей. Ті панелі, які використовуються у повсякденному житті, знаходяться у фіксованому положенні, звернені на південь під кутом 45 градусів. Такий підхід є надзвичайно простим, але він не виробляє стільки енергії, скільки міг би.

Одним із способів отримати більше енергії від сонячної панелі є змусити її стежити за сонцем. Панелі, які стежать за Сонцем за допомогою трекера, виробляють на 30% більше енергії (на день), ніж стаціонарні. Але не всі готові перейти на це відновлюване джерело з наступних вагомих причин.

По-перше, вартість сонячної установки вища, оскільки вона вимагає рухомої механічної опори для сонячної панелі.

По-друге, ця установка потребує стабільного обслуговування та догляду, оскільки вона буде піддаватися впливу погодних умов на відкритому повітрі цілий рік.

Існує кілька різних типів сонячних трекерів (одноосьові, двовісьові, планові), а також способів стеження за сонцем:

- одноосьовий трекер переміщує ваші панелі по одній осі руху, зазвичай вирівняній з Північчю та Півднем. Ці установки дозволяють вашим панелям дугоподібно рухатися зі Сходу на Захід і стежити за Сонцем, коли воно сходить та заходить;
- двовісьовий трекер дозволяє вашим панелям рухатися по двох осях, вирівняних як Північ-Південь, так і Схід-Захід. Цей тип системи призначений для максимізації збору сонячної енергії протягом усього року. Він може відстежувати сезонні зміни висоти Сонця на додаток до звичайного добового руху.

Система відстеження Сонця — це спеціальний пристрій, призначений для переміщення фотовольтаїчних модулів таким чином, щоб вони постійно були звернені до Сонця, з метою максимізації опромінення, що отримується ФВ-масивом. Система відстеження Сонця складається з трьох чітко диференційованих компонентів: механізму, приводних двигунів та контролера відстеження.

### **3.2.1 Розробка системи керування сонячним трекером на базі Arduino.**

Система відстеження Сонця (сонячний трекер) — це спеціальний пристрій, призначений для переміщення фотовольтаїчних (ФВ) модулів таким чином, щоб вони безперервно були звернені до Сонця, з метою максимізації опромінення, що отримується ФВ-масивом (рисунок 3.10) [38].

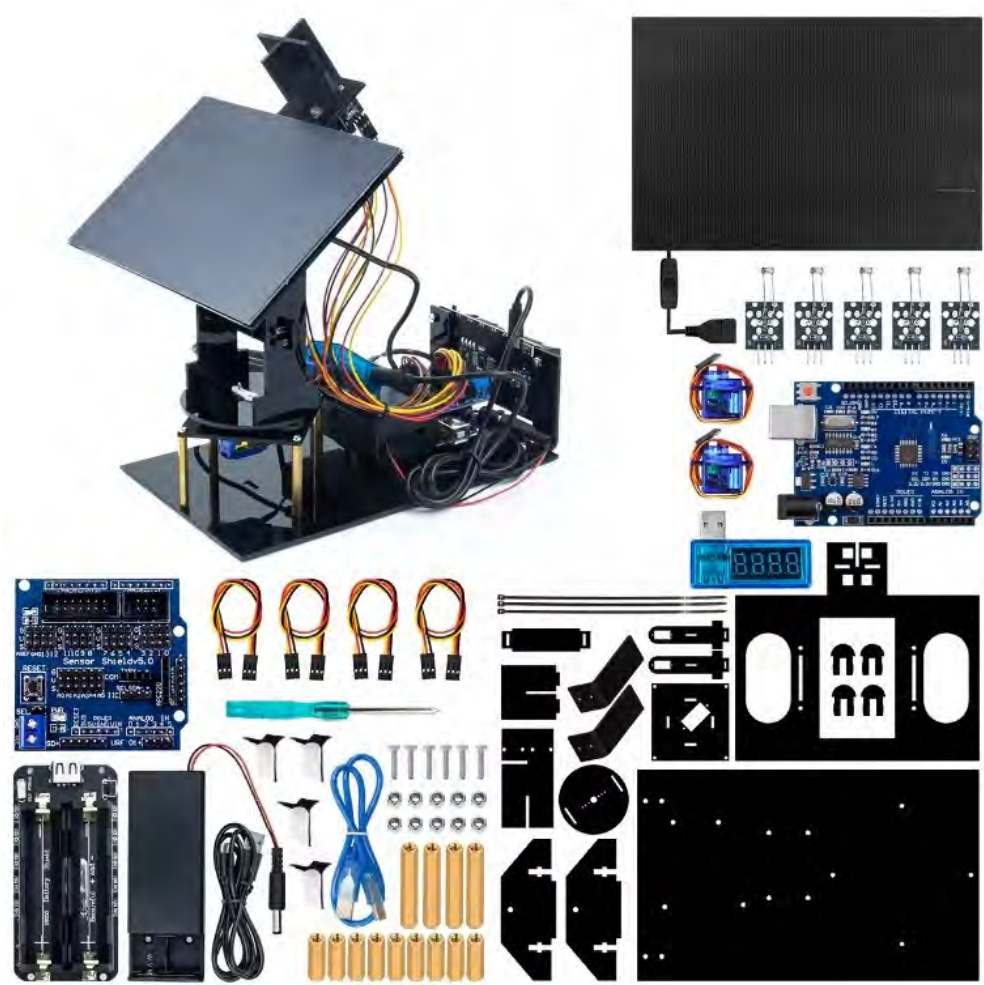


Рис. 3.10. Деталі двовісьового сонячного трекера

Система відстеження Сонця (сонячний трекер) складається з трьох чітко диференційованих компонентів: механізму, приводних двигунів та контролера відстеження.

У процесі наукової роботи був розроблений макет двовісьового сонячного трекера, який складається з таких частин для збирання (Таблиця 2.14).

Таблиця 2.14

#### Деталі сонячного трекера

Деталі (Parts)	Інструменти (Tools)
Arduino Uno та USB-кабель	Інструмент для зачистки або різання проводів
Arduino Sensor Shield (Плата-розширювач для датчиків)	Кілька маленьких викруток
2x Металеві редукторні сервоприводи (9Г)	Гумові ніжки

1x 5-портова клемна колодка	Засоби для обмотки кабелю або стяжки
1x 4-портова клемна колодка	
4x Резистори 10 кОм	
4x Світлочутливі резистори (LDR)	
4x Кабелі з роз'ємом JST (Socket Connector Cables)	
З'єднувальні (перемикальні) дроти (Jumper Wires)	
Сонячний елемент 5,5 В	
Світлодіодний вольтметр	

### 3.2.2 Вибір обладнання системи керування.

Датчики. Для розробки системи керування використовується трекер, який контролюється комп'ютерною програмою (через Arduino). Це означає, що ми використовуємо датчики, щоб завжди знаходити найяскравіше джерело світла.

Існує кілька різних типів сонячних трекерів (одноосьові, двовісьові, планові), а також способів відстеження Сонця:

- одноосьовий трекер переміщує ваші панелі по одній осі руху, зазвичай вирівняній із Північчю та Півднем. Ці установки дозволяють вашим панелям дугоподібно рухатися зі Сходу на Захід і стежити за Сонцем, коли воно сходить та заходить;
- двовісьовий трекер дозволяє вашим панелям рухатися по двох осях, вирівняних як Північ-Південь, так і Схід-Захід (Рисунок 3.11). Цей тип системи призначений для максимізації збору сонячної енергії протягом усього року. Він може відстежувати сезонні зміни висоти Сонця на додаток до звичайного добового руху.

Система відстеження Сонця — це спеціальний пристрій, призначений для переміщення ФВ-модулів таким чином, щоб вони безперервно були звернені до Сонця, з метою максимізації опромінення, що отримується ФВ-масивом. Система відстеження Сонця складається з трьох чітко

диференційованих компонентів: механізму, приводних двигунів та контролера відстеження.

Як датчики використовуються чотири фоторезистори (LDR1-4) (рисунок 3.12). Вони працюють, змінюючи значення опору залежно від того, скільки світла на них потрапляє. Ця система датчиків відстежує зменшення генерації потужності та визначає найбільш сприятливе положення батареї.



Рис. 3.11. Рух двовісьового трекера

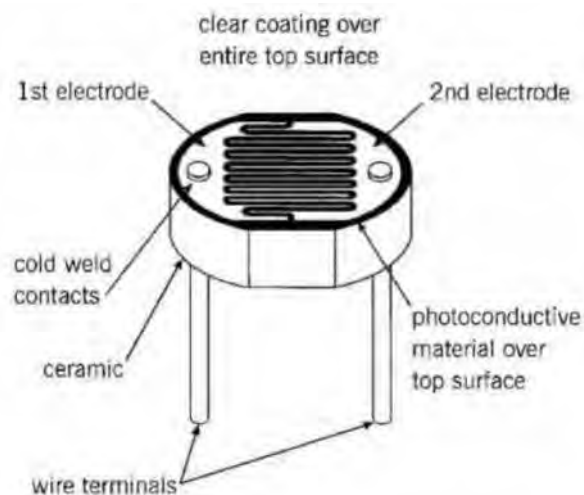


Рис.3.12. Структура LDR-датчиків (фоторезисторів)

У цій роботі було розроблено двовісьовий трекер. Він працює за двома осями (X та Y), тобто панель обертається у чотирьох напрямках. Цей трекер є «активним»: він керується за допомогою мікроконтролера Arduino,

використовуючи фотодатчики для знаходження найяскравішого світла у будь-який час доби. Цей метод дає найкращі результати для генерації електроенергії [39].

**Контролер:** Arduino — це інструмент, який використовується для створення електронних пристроїв із можливістю приймати сигнали від різних цифрових та аналогових датчиків для взаємодії з фізичним середовищем та керування різними виконавчими механізмами. Мова програмування базується на процесорі ATmega328p з тактовою частотою 16 МГц з пам'яттю 32 КБ та з можливістю керування 20 контактами введення та виведення для взаємодії із зовнішніми пристроями (рисунок 3.13) [40].

Основне живлення контролера забезпечується сонячною панеллю, і, враховуючи низьку потужність контролера, це несуттєво знижує енергоефективність усієї установки. Завдяки незалежним системам програмування, керування може змінюватися у реальному часі. Це дозволяє візуально продемонструвати роботу трекера і дає змогу використовувати його як у промисловості, так і в навчанні майбутніх інженерів. Arduino Uno може живитися як через USB-з'єднання, так і від зовнішнього джерела: акумулятора або звичайної електричної мережі.

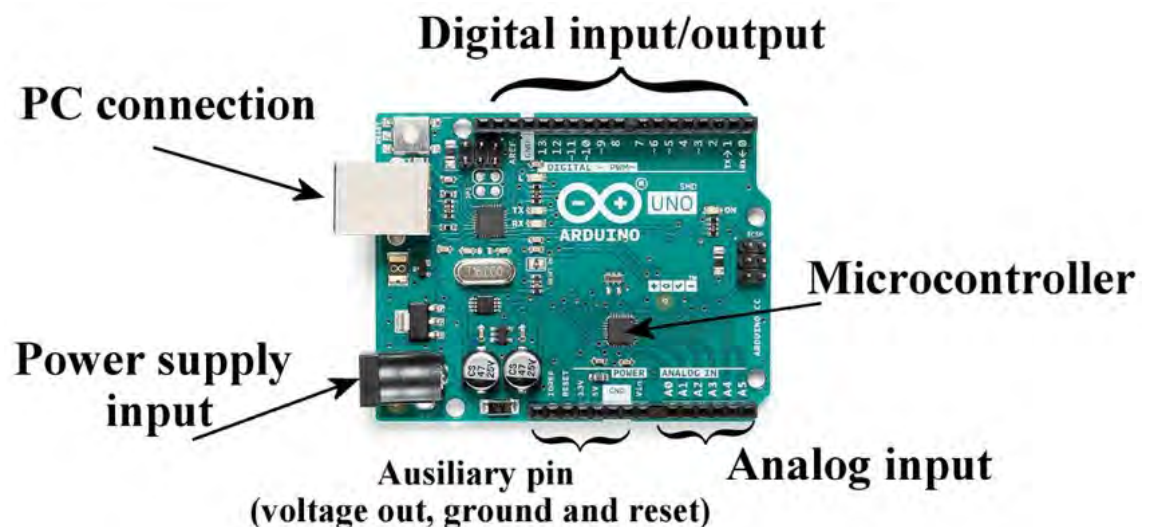


Рис. 3.13. Структура платформи Arduino Uno

**Сервопривід:** Як сервоприводи використовуються два 9-грамові

мікросервоприводи (рисунок 3.14). Для виконання роботи використовувалися сервоприводи з металевими шестернями. Версії з металевими шестернями також забезпечують дещо більший крутний момент, ніж версії з пластиковими шестернями [41].



Рис. 3.14. Сервоприводи з металевими шестернями (9 г)

### 3.2.3 Розробка принципової схеми підключення.

Принципова схема показує підключення 4 датчиків та 2 сервоприводів до плати Arduino. Як показано на (рисунок 3.15), LDR-датчики підключені до аналогових вхідних контактів (A0–A3), тоді як два сервоприводи підключені до цифрових контактів введення/виведення (I/O) [42].

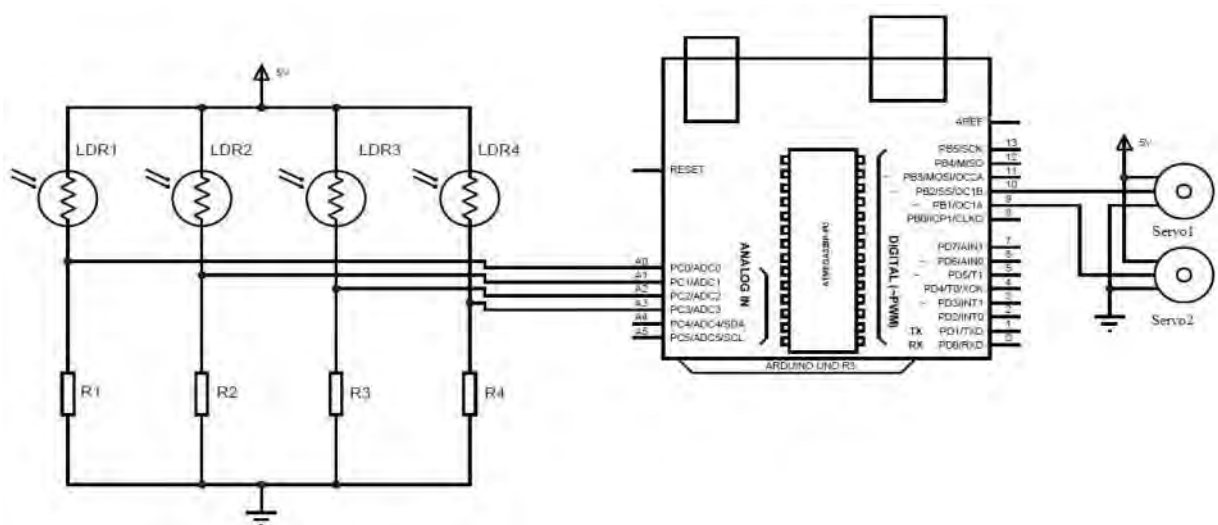


Рис. 3.15. Принципова схема підключень системи керування сонячним трекером

Більш детальна схема підключення може бути зображена на рисунку 3.16.

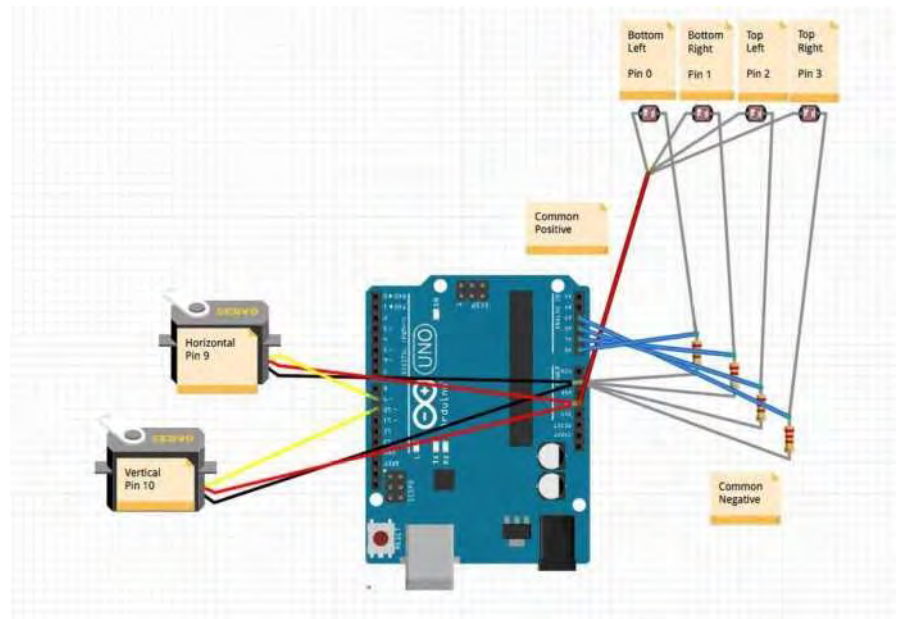


Рис. 3.16. Схема підключень системи керування сонячним трекером

Згідно з вищенаведеною схемою:

- Нижній сервопривід (Bottom Servo) підключається до Контакту 10 (Pin 10);
- Верхній сервопривід (Top Servo) підключається до Контакту 9 (Pin 9);
- Спільний негативний провід (Common Negative) (від п'ятипортової клемної колодки) може бути підключений до будь-якого з контактів GND (заземлення);
  - Спільний позитивний провід (Common Positive) (від чотирипортової клемної колодки) може бути підключений до будь-якого з контактів 5V;
  - Спільний негативний провід (Common Negative) — TL. BL. TR. BR;
  - TL (Top Left, верхній лівий фоторезистор) підключається до Контакту 2 (Pin 2);
  - BL (Bottom Left, нижній лівий фоторезистор) підключається до Контакту 0 (Pin 0);

- TR (Top Right, верхній правий фоторезистор) підключається до Контакту 3 (Pin 3);
- BR (Bottom Right, нижній правий фоторезистор) підключається до Контакту 1 (Pin 1);

Також розташування контактів може бути змінене у Коді [43].

#### **3.2.4 Розробка алгоритму та програми керування.**

Це система, розроблена для відстеження руху Сонця з метою отримання максимальної ефективності від сонячних панелей. Існує два способи реалізації руху сонячного трекера:

- за часом (згідно з формулою);
- за допомогою сонячних датчиків (фоторезисторів).

У цьому випадку макет сонячного трекера розроблявся на базі мікроконтролера Arduino. Для повороту платформи у горизонтальній та вертикальній осях використовуються сервоприводи, кут повороту яких залежить від потужності світла, що падає на фоторезистори.

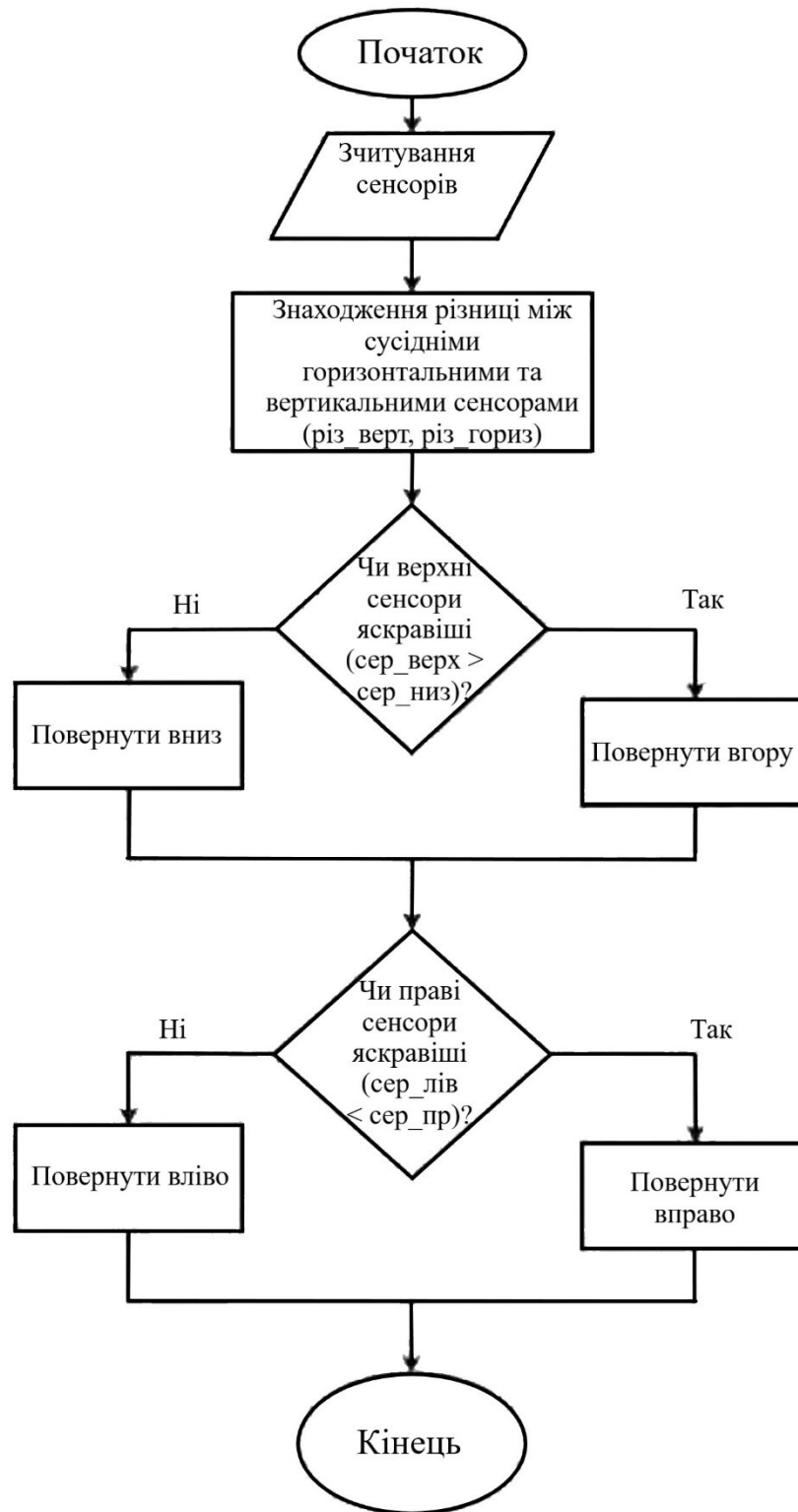


Рис. 3.17. Алгоритм керуючої програми управління трекером на Arduino

Розробка систем керування базується на мікроконтролері Arduino, у якому код, по суті, вимірює інтенсивність світла від обох фоторезисторів, а потім порівнює їх, щоб побачити, хто отримує найбільше світла. Якщо різниця перевищує невеликий поріг, Arduino дає команду сервоприводу рухатися в цьому напрямку, щоб спрямувати панель до джерела світла. Якщо освітленість

падає нижче певного рівня на обох датчиках, це визначається як нічний час, і панель знову переміщується на Схід для очікування сходу Сонця. Ця програма збирає дані з об'єктів дослідження (ФВС), виконує масштабування сигналу (струму), розраховує потужність кожного елемента стенду (ФВС, акумулятор, навантаження), виконує необхідні математичні обчислення (накопичення потужності) та зберігає отримані розрахункові параметри у файлах.

Розроблена програма працює шляхом порівняння опору чотирьох датчиків та переміщення сервоприводів. Наскільки чутливі датчики — повністю залежить від коду. Те саме стосується і сервоприводів. Код налаштований таким чином, що сервоприводи можуть рухатися лише у визначеній зоні (щоб не пошкодити решту макета) та з заданою швидкістю.

Програма керування сонячним трекером на Arduino побудована на основі алгоритму (рисунок 3.18). Спочатку вводяться значення для горизонтального та вертикального сервоприводів (servoh, servov). Потім слідує максимальне положення для цих сервоприводів та підключення фоторезисторів LDR до контактів. Після введення початкових значень програма починає зчитувати аналогові значення з чотирьох датчиків (lt, rt, ld, rd). Використовуючи отримані аналогові значення датчиків, програма знаходить середні значення таких параметрів:

- середнє значення верхніх датчиків  $avt = (lt + rt) / 2$ ;
- середнє значення нижніх датчиків  $avd = (ld + rd) / 2$ ;
- середнє значення лівих датчиків  $avl = (lt + ld) / 2$ ;
- середнє значення правих датчиків  $avr = (rt + rd) / 2$ .

Далі відбувається перевірка різниці у значенні верхніх і нижніх датчиків, а також лівих і правих датчиків. Залежно від різниці, програма повертає сонячну панель у напрямку більшої інтенсивності світла. Це підвищує ефективність використання фотовольтаїчних сонячних систем [44].

```

LIFA_solar | Arduino 1.6.7
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
LIFA_solar$ AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h

#include <Wire.h>
#include <SPI.h>
#include <Servo.h>
#include "LabVIEWInterface.h"

// 180 horizontal MAX
Servo horizontal; // horizontal servo
int servoh = 90; // 90; // stand horizontal servo

int servohLimitHigh = 180;
int servohLimitLow = 65;

// 65 degrees MAX
Servo vertical; // vertical servo
int servov = 90; // 90; // stand vertical servo

int servovLimitHigh = 120;
int servovLimitLow = 15;

// LDR pin connections
// name = analogpin;
int ldrlt = 0; //LDR top left - BOTTOM LEFT <--- BDG
int ldrrt = 1; //LDR top right - BOTTOM RIGHT
int ldrlld = 2; //LDR down left - TOP LEFT
int ldrrd = 3; //ldr down right - TOP RIGHT

/*****
** setup()
**
** Initialize the Arduino and setup serial communication.
**
** Input: None
** Output: None
*****/
void setup()
{
  // Initialize Serial Port With The Default Baud Rate
  horizontal.attach(9);
  vertical.attach(10);
  horizontal.write(180);
  vertical.write(45);
}

LIFA_solar | Arduino 1.6.7
Файл Правка Скетч Инструменты Помощь
LIFA_solar$ AFMotor.cpp AFMotor.h AccelStepper.cpp AccelStepper.h IFR

void solar ()

(int lt = analogRead(ldrlt); // top left
int rt = analogRead(ldrrt); // top right
int ld = analogRead(ldrlld); // down left
int rd = analogRead(ldrrd); // down right

//int dtime = analogRead(4)/20; // read potentiometers
//int tol = analogRead(5)/4;
int dtime = 20;
int tol = 50;

int avt = (lt + rt) / 2; // average value top
int avd = (ld + rd) / 2; // average value down
int avl = (lt + ld) / 2; // average value left
int avr = (rt + rd) / 2; // average value right

int dvert = avt - avd; // check the difference of up and down
int dhoriz = avl - avr; // check the difference of left and right

if (-1*tol > dvert || dvert > tol) // check if the difference is in the
{
  if (avt > avd)
  {
    servov = ++servov;
    if (servov > servovLimitHigh)
    {
      servov = servovLimitHigh;
    }
  }
  else if (avt < avd)
  {
    servov = --servov;
    if (servov < servovLimitLow)
    {
      servov = servovLimitLow;
    }
  }
  vertical.write(servov);
}

```

Рис. 3.18. Лістинг керуючої програми на Arduino

### 3.2.5 Розробка інтерфейсу в NI LabVIEW.

Для створення прикладного програмного забезпечення для комп'ютерних систем зі збору та обробки вимірювальної інформації сьогодні використовуються спеціалізовані засоби, що застосовують принцип об'єктно-орієнтованого програмування. Серед таких засобів найбільш розвиненим та універсальним є графічне середовище програмування LabVIEW від National Instruments, призначене для створення прикладного програмного забезпечення для інформаційно-вимірювальних систем, а також різних комп'ютерних систем зі збору та обробки експериментальних даних.

National Instruments LabVIEW – визнаний лідер серед промислових програмних засобів для розробки, моделювання, керування та тестування. З

моменту появи у 1986 році інженери та науковці по всьому світу почали використовувати LabVIEW на всіх етапах розробки продукту, досягаючи при цьому вищої якості, скорочуючи час виведення продуктів на ринок, підвищуючи ефективність проєктування та виробництва.

Графічне програмування та використання принципу потоку даних (data flow) у LabVIEW природно приваблює науковців та інженерів, оскільки відкриває інтуїтивно зрозумілий підхід до створення автоматизованих систем вимірювання та керування. Поєднання мови потокового програмування з вбудованими засобами введення/виведення, елементами керування та індикаторами для інтерактивного користувацького інтерфейсу робить LabVIEW ідеальним для науковців та інженерів.

Програмне забезпечення розробленої системи автоматизованого збору даних у середовищі LabVIEW включає лицьову панель (front panel) та сам програмний код, представлений у вигляді блокової діаграми (block diagram).

Рисунок 3.19 демонструє лицьову панель системи збору даних. Цей інтерфейс дозволяє моніторити згенеровану та вхідну електроенергію від сонячного трекера. Крім того, є можливість відстежувати, скільки струму та напруги споживає ця система, після чого автоматично розраховується вхідна потужність у кВт перед інвертором. Напруга на виході інвертора, залежно від поточної потужності навантаження, регулюється шляхом автоматичної зміни ширини імпульсу у високочастотному перетворювальному блоці, у найпростішому випадку це ШІМ (широтно-імпульсна модуляція). Вихідна потужність виходить близькою за значенням, оскільки ККД інвертора становить 90–95%.

Для з'єднання Arduino та LabView використовується спеціалізована бібліотека Linx. LINX надає прості у використанні VI-блоки LabVIEW для взаємодії з поширеними вбудованими платформами, такими як Arduino, chipKIT та myRIO. Використовуйте вбудовані VI-блоки датчиків, щоб почати отримувати дані на ПК за лічені секунди, або використовуйте VI-блоки периферійних пристроїв для доступу до цифрового вводу/виводу, аналогового

вводу/виводу, SPI, I2C, UART, ШІМ (PWM) та іншого обладнання.

Використовуючи бібліотеку LINX, значення напруг, струмів та потужностей усіх елементів стенду відображаються на віртуальних приладах (див. рисунок 3.19, 3.20), які ми можемо спостерігати на лицьових панелях, запрограмованих на Arduino.

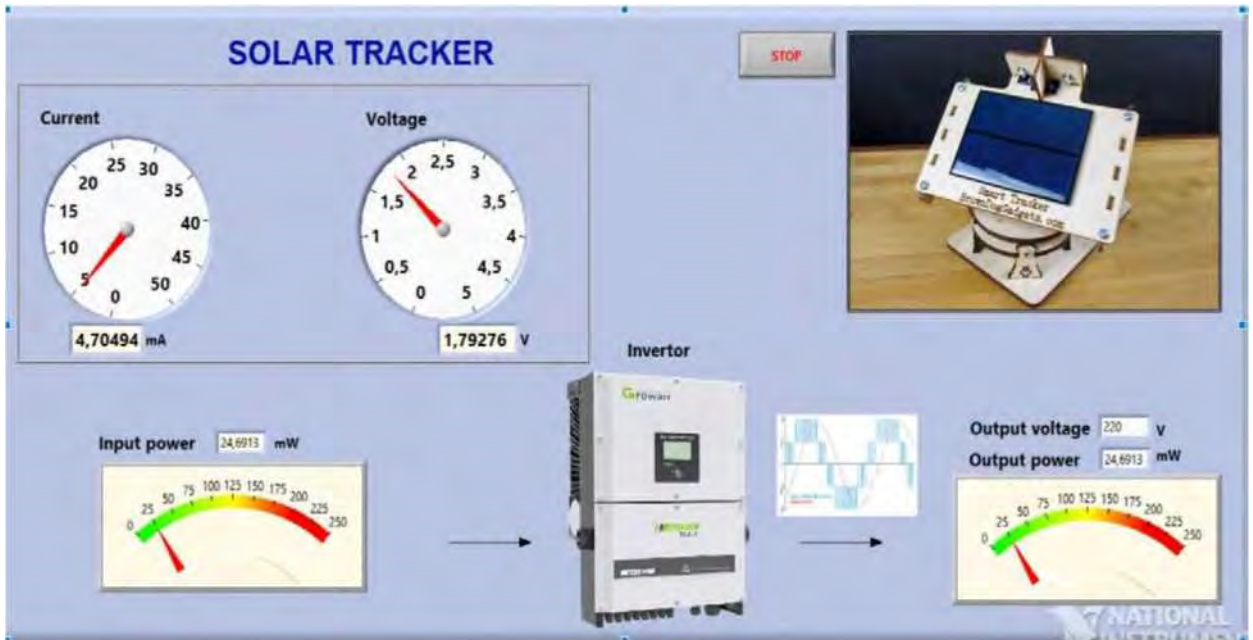


Рис. 3.19. Інтерфейс системи збору та диспетчеризації даних

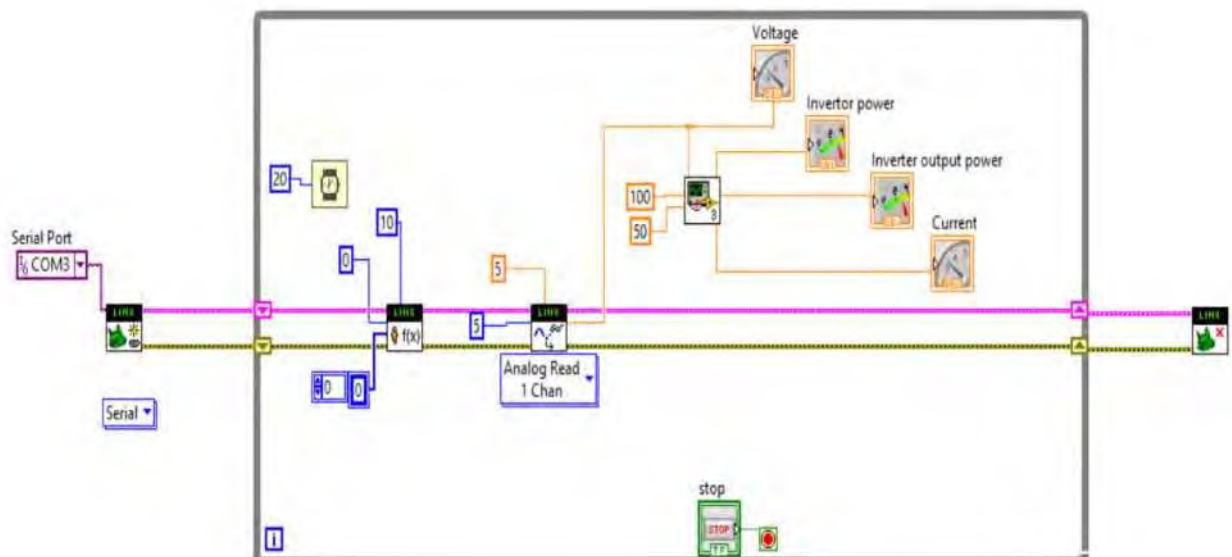


Рис.3.20. Інтерфейс лицьової панелі системи збору та диспетчеризації даних

Програмний блок містить інтерфейсну панель для збору та обробки інформації з усіх альтернативних джерел енергії. Програма показала, що вся

схема працює коректно, а енергія, яку випромінюють джерела альтернативної енергетики, повністю відповідає теорії.

### 3.3 ВИСНОВОК ДО РОЗДІЛУ 3

У третьому розділі магістерської роботи було здійснено комплексну розробку програмно-апаратної системи моніторингу та управління енергопостачанням житлового котеджу, що базується на використанні відновлюваних джерел енергії. У межах розділу створено настільний додаток на C# із використанням .NET Framework та мобільний додаток *Energy Home* із застосуванням SQLite, що забезпечують візуалізацію погодних даних, контроль роботи енергетичних установок та автоматичне прийняття рішень щодо ввімкнення або вимкнення джерел енергії.

Окрім програмного забезпечення, було розроблено апаратну частину — систему сонячного трекера на базі Arduino Uno з використанням фоторезисторів і сервоприводів, що забезпечує підвищення ефективності роботи фотовольтаїчних панелей завдяки їх орієнтації за напрямком максимальної освітленості.

Результатом роботи є інтегрована система, що поєднує моніторинг, аналітику, автоматичне управління та апаратну оптимізацію енерговиробництва, що підвищує енергоефективність та надійність електропостачання житлового об'єкта.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Аналіз засобів безпеки при обслуговуванні домашніх сонячних фотовольтаїчних станцій

На сьогоднішній день сонячні станції стали символом недалекого майбутнього. Встановлення, експлуатація та обслуговування системи на сонячній основі вимагає відповідного рівня технічних знань. Будь-які роботи із системою повинні виконуватися лише з дотриманням правил техніки безпеки під час електромонтажних та пусконаладжувальних робіт [45-47].

Також необхідно буде дати коректну оцінку безпеці експлуатації безпосередньо сонячних фотовольтаїчних станцій (ФВС). За один рік, залежно від місця розташування, а також клімату місцевості, потік випромінювання від Сонця коливається від 100 до 250 Вт/м<sup>2</sup>, який досягає свого максимального значення опівдні в похмуру погоду, і незалежно від широти становить приблизно 1000 Вт/м<sup>2</sup>. У зв'язку з тим, що ми перебуваємо в Республіці Казахстан, у зоні помірного клімату. У середній смузі нашої країни сонячна радіація «приносить» на поверхню літосфери енергію, що дорівнює приблизно 140–200 кг еквівалентного палива на м<sup>2</sup> за один рік.

Сонячні елементи під впливом світла генерують постійний струм. Якщо такий ланцюг розривається, наприклад, при відключенні кабелю постійного струму від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга:

- ніколи не відключайте сонячні панелі під навантаженням;
- використовуйте лише правильно підключені дроти відповідного перерізу;
- не використовуйте пошкоджені дроти;
- контакти та роз'єми мають бути чистими та сухими;
- сонячні панелі вимагають обережного поводження, тому будьте уважні під час транспортування, зберігання та залишайте сонячні панелі в оригінальній упаковці до моменту їх встановлення.

#### 4.1.1 Встановлення сонячних панелей.

Переконайтеся, що встановлення безпечне. Захистіть себе та інших від падінь, не проводьте монтаж при сильному вітрі. Підготуйте робочу зону таким чином, щоб уникнути травмування.

Дотримуйтеся максимально допустимих механічних навантажень. Не перевищуйте максимально допустимий рівень механічних навантажень; перед встановленням переконайтеся, що вплив погодних умов не зможе пошкодити сонячні панелі. Пам'ятайте, що панелі можуть згинатися під навантаженням за певних обставин. Щоб уникнути пошкодження панелей через нерівності та деформації, не розміщуйте кріплення або дроти між монтажним профілем та задньою стороною сонячної панелі.

Переконайтеся, що панелі заземлені. Щоб зменшити ризик ураження електричним струмом або пожежі, сонячні панелі мають бути заземлені відповідно до правил техніки безпеки.

Покрівельні системи можуть вплинути на пожежну безпеку будівлі. Неправильно встановлені сонячні панелі можуть бути небезпечними у разі пожежі. Тому покрівельні панелі слід монтувати над вогнестійкою поверхнею. Крім того, панелі не повинні встановлюватися у безпосередній близькості від вогню, горючих матеріалів чи газів.

Дуже важливо, щоб сонячні панелі відповідали технічним параметрам усієї системи. Тому необхідно переконатися, що панелі не піддаються жодному негативному механічному чи електричному впливу з боку інших компонентів системи. З'єднуйте послідовно (серійно) лише панелі з однаковим номінальним струмом та напругою. Сонячні батареї повинні працювати лише в межах допустимих лімітів сумарної напруги системи; робота при вищій напрузі не рекомендується.

Для отримання максимальної генерації потужності рекомендується розрахувати оптимальну орієнтацію та кут перед встановленням сонячних панелей. Ідеальні умови досягаються, якщо сонячні промені падають на поверхню сонячної панелі під кутом 90 градусів якомога довше. Виберіть

оптимальний кут нахилу для свого регіону, враховуючи пору року, на яку прогнозується максимальне споживання електроенергії.

При послідовному з'єднанні, щоб уникнути зниження ефективності, всі панелі в ланцюгу повинні бути розташовані в одній площині, під однаковим кутом.

#### **4.1.2 Безпека під час встановлення та експлуатації сонячних панелей та вітрогенераторів**

Сонячні панелі слід використовувати відповідно до їхнього призначення. Забороняється вносити технічні зміни до конструкції батарей. Під час встановлення необхідно дотримуватися всіх місцевих правил техніки безпеки. Також слід дотримуватися вимог безпеки як при встановленні, так і при експлуатації інших компонентів системи.

Сонячні елементи під впливом світла генерують постійний струм. Якщо такий ланцюг розривається, наприклад, при відключенні кабелю постійного струму від контролера заряду, може виникнути небезпечна електрична дуга.

При роботі із сонячними панелями необхідно дотримуватися таких запобіжних заходів:

- сонячні панелі ніколи не відключати під навантаженням;
- використовувати тільки справну проводку відповідного перерізу;
- контакти та роз'єми мають бути чистими та сухими.

При роботі із сонячними панелями існує небезпека ураження електричним струмом. Напруга на клеммах сонячної батареї може з'явитися при мінімальному зовнішньому освітленні. Тому для безпечного відключення сонячних панелей від системи необхідно встановити вимикач, автоматичний вимикач або блок запобіжників у доступному місці.

Сонячні панелі слід підключати з дотриманням правильної полярності (плюс до плюса, мінус до мінуса). Неправильне підключення кабелів може пошкодити або зруйнувати обладнання.

Встановлення сонячних панелей не проводиться при сильному вітрі. Підготуйте робочу зону таким чином, щоб уникнути травмування.

При експлуатації сонячної батареї дотримуються максимально допустимі механічні навантаження. Не допускається перевищення максимально допустимого рівня механічних навантажень; перед встановленням необхідно перевірити, щоб вплив погодних умов не пошкодив сонячні панелі.

Переконайтеся, що сонячні панелі заземлені. Щоб зменшити ризик ураження електричним струмом або пожежі, сонячні панелі мають бути заземлені відповідно до правил техніки безпеки.

Заходи безпеки при встановленні вітрогенератора:

1. Вітрогенератор — складний технічний пристрій, що поєднує аеродинамічну та електричну частини. Найменше недотримання правил збирання вітрогенератора чи його експлуатації може призвести до його поломки та завдати як матеріальної шкоди, так і шкоди Вашому здоров'ю, а також здоров'ю людей поблизу;
2. використовуйте лише щогли, інвертори, акумулятори, з'єднувальні кабелі, рекомендовані виробником;
3. необхідно повністю ізолювати підключені дроти та кабелі;
4. при перших запусках вітрогенератора необхідно стежити за роботою вітрогенератора протягом 2–3 годин, а також під час подальшої експлуатації уважно ставитися до можливих вібрацій, стуків, трісків, що свідчать про некоректну роботу вітрогенератора, а також при зміні конфігурації та розмірів — негайно зупинити його роботу та повідомити про це виробника;
5. заборонено здійснювати перший запуск вітрогенератора при швидкості вітру більше 5м/с (що відповідає помірному вітру);
6. заборонено вносити конструктивні та регульовальні зміни у конструкцію вітрогенератора, за винятком описаних регулювань у цьому посібнику;
7. заборонено подавати будь-яку напругу на генератор для його запуску;

8. заборонено підключати будь-які виходи генератора та контролера до електромережі або будь-якого іншого джерела електроенергії;

9. необхідно вжити комплекс заходів щодо захисту вітрогенератора від блискавки, оскільки у разі влучання блискавки у вітрогенератор гарантія анулюється.

#### **4.2 Правила експлуатації сонячних панелей**

Сонячні енергетичні системи повинні належним чином обслуговуватися, щоб їхні власники могли не тільки окупити свої інвестиції, але й підвищити рівень прибутковості від використання сонячних фотовольтаїчних модулів. Однією з головних умов повернення інвестицій у будівництво фотовольтаїчної станції є регулярне технічне обслуговування сонячних панелей та інших елементів системи (дротів, контролерів, інверторів, акумуляторів (якщо є), кріплень, електрофурнітури тощо) [48].

Важливою умовою коректної роботи та окупності сонячної енергетичної системи є наявність особи (або служби), відповідальної за експлуатацію та моніторинг системи. Обслуговування фотовольтаїчної станції досить легке, коли є надійний механізм моніторингу під рукою — система збору даних, яка є програмним засобом для відстеження змін у роботі енергетичної системи.

Моніторинг включає кілька важливих параметрів для оцінки терміну служби сонячної фотовольтаїчної установки:

1. Фотовольтаїчні модулі: неефективні та несправні фотовольтаїчні модулі можуть викликати низку проблем, що впливають на продуктивність усієї системи. Якщо під час введення сонячної станції в експлуатацію виявиться несправним навіть один модуль, загальна генеруюча потужність масиву буде значно знижена. Тому під час початкового встановлення системи необхідно обов'язково перевірити кожен модуль на працездатність;

2. Кріплення: ослаблені або відсутні кріплення, неправильно встановлене обладнання та корозія можуть спричинити механічне пошкодження окремих сонячних модулів або системи в цілому;

3. Інвертори: це основний силовий компонент кожної фотовольтаїчної станції, який має схильність накопичувати пил і страждати від перегріву. Інвертори перетворюють постійний струм, генерований фотовольтаїчними елементами, на змінний струм, який використовується в нашій мережі електропостачання. Більшість інверторів, які призначені для зовнішнього встановлення, були розроблені, щоб витримувати всі види кліматичних впливів. Однак, їх слід регулярно перевіряти на наявність пошкоджень та перегріву. Крім того, не забувайте про регулярне очищення фільтрів на інверторах, що дозволить уникнути перегріву. Це стосується всіх типів інверторів, включаючи зовнішні установки, розроблені навіть для найсуворіших кліматичних умов.

#### **4.3 Аналіз шкідливих та небезпечних чинників**

Шкідливі виробничі чинники, що впливають на інженера-конструктора, можуть призвести до його захворювання. До цих чинників належать:

- акустичний шум;
- електромагнітне поле;
- мікроклімат;
- освітлення.

Небезпечні виробничі чинники, яким піддається інженер-конструктор і які можуть призвести до травмування, це:

- ураження електричним струмом;
- пожежа.

При освітленні виробничих приміщень використовується природне освітлення, створюване прямим сонячним світлом та розсіяним світлом неба, яке змінюється залежно від географічної широти, пір року та доби, хмарності та прозорості атмосфери; штучне освітлення, створюване електричними джерелами світла, та комбіноване освітлення, при якому недостатнє природне освітлення доповнюється штучним. [49-50].

#### 4.4 Блискавкозахист

Блискавкозахист — це система нейтралізації атмосферної електрики, яка захищає будівлі, споруди, запобігає вибухам та руйнуванню.

Блискавкозахист насамперед використовується для захисту житла людей від пожежі та запобігання виходу з ладу установок. Наслідки блискавки поділяються на два основні типи:

- ті, що спричинені прямим впливом первинної блискавки;
- індукція вторинного, блискавкового розряду з використанням металевих ліній зв'язку.

Існує ймовірність того, що небезпечні об'єкти спалахнуть; через прямий вплив блискавки на об'єкт може виникнути пожежа у будівлі. У багатьох випадках при встановленні систем електропостачання про заходи блискавкозахисту забувають. Системи блискавкозахисту захищають людей та електроустановки від наслідків блискавки.

У цьому випадку для захисту людей буде встановлено спеціальний електричний екран.

Будівлі у сільській місцевості, тобто житлові будинки, мають два типи блискавкозахисту: внутрішній та зовнішній. Внутрішній блискавкозахист захищає від надмірної напруги в електричних системах. Він також захищає корпус від блискавки. Система захисту від зовнішнього освітлення захищає житло від ударів блискавки, захищає будинок від пожежі та запобігає пошкодженню обладнання.

Блискавкозахист фотовольтаїчних станцій, як і будь-якого іншого об'єкта, складається із зовнішнього та внутрішнього блискавкозахисту.

Зовнішній блискавкозахист призначений для захисту сонячної фотовольтаїчної батареї від прямих ударів блискавки та запобігання руйнівним наслідкам цього удару. Зовнішній блискавкозахист включає систему блискавкоприймачів, струмовідводів та заземлювальних пристроїв, призначених для відведення блискавки від об'єкта та спрямування її енергії в землю.

Внутрішній блискавкозахист призначений для захисту безпосередньо обладнання, підключеного до сонячної фотовольтаїчної батареї. Для внутрішнього блискавкозахисту використовуються пристрої захисту від імпульсних перенапруг (ПЗП, SPD). У цьому випадку це спеціальні ПЗП силових кіл фотовольтаїчних систем класу випробувань I + II + III та класу випробувань II, які призначені для використання в силових ланцюгах постійного струму.

Для захисту силових кіл фотовольтаїчних систем дозволяється використовувати лише ПЗП обмежувального типу на основі варисторів і не дозволяється використовувати ПЗП комутуючого типу на основі розрядників. Через особливість процесу комутації в цих ланцюгах, електрична дуга, що виникає в іскровому проміжку під час його пробою імпульсом перенапруги, не гасне після закінчення імпульсу і підтримується джерелом, оскільки немає моменту проходження напруги через нуль, як у ланцюгах змінного струму. Вибір класу випробувань ПЗП ґрунтується на розташуванні фотовольтаїчної батареї.

#### **4.5 Експлуатація сонячних панелей, включених до системи автономного енергопостачання**

Основним правилом безпечного використання автономної системи є її періодичне обслуговування. Саме регулярність технічного догляду за сонячними панелями та іншими компонентами загальної системи стане запорукою її тривалої та безперебійної роботи. Такі роботи слід проводити 1–2 рази на рік (залежно від умов експлуатації сонячних панелей) і включати:

- перевірку цілісності батарей та кріплень;
- очищення інверторів від пилу, який може сприяти перегріву пристрою;
- перевірку заземлення та надійності ізоляції струмопровідних провідників;
- тестування електропроводки на предмет витoku енергії.

Планові роботи не обійдуться без очищення поверхні самих сонячних панелей, оскільки кількість отриманої сонячної енергії та згенерованої електричної енергії залежить від чистоти панелей, які приймають промені світла. Розрахунки показують, що багатомісячний шар пилу здатний довести рівень втрат у генерації струму до 20%.

#### **4.6 Особливості проведення пожежно-рятувальних робіт під час гасіння пожеж сонячних електростанцій у приватних домоволодіннях**

Суттєва частка сонячних батарей встановлено у приватних домоволодіннях, що в деякій мірі ускладнює гасіння пожеж і частково впливає на хід гасіння пожеж.

Так, за інформацією Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України на понад 24 тисячах домогосподарств країни встановлено сонячні панелі.

Модулі сонячних панелей мають вихідну напругу 30-60 В. Хоча напруга з однієї панелі може бути безпечною, підключення декількох модулів послідовно створює високу напругу, що може бути небезпечним. Після того, як модулі будуть підключені послідовно, напруга може доходити до 1500 В постійного струму.

Після підключення струн до інвертора система буде працювати при цій високій напрузі. Якщо вимкнути головний вимикач, вимкнеться традиційний струнний інвертор, але він не вимкне напругу постійного струму, яка залишатиметься високою при денному світлі.

Супутні чинники небезпек:

додаткова вага системи сонячних панелей може призвести до більш швидкого обвалу покрівлі на палаючій конструкції. На похилій покрівлі скляна поверхня модуля створює небезпеку ковзання для пожежних, що може призвести до падіння;

площа даху, зайнята масивами сонячних панелей, обмежує площу, де можуть переходити пожежні, і зону, доступну для прорізування вентиляційних отворів;

навіть піддаючись впливу сонця, системи сонячних панелей залишаються під напругою навіть після відключення будівлі від електромережі.

Важливо пам'ятати, що під час денного світла фотоелектричні панелі та кабелі живляться від високих напруг постійного струму. Не вживаючи належних запобіжних заходів, високі напруги постійного струму можуть становити небезпеку ураження електричним струмом пожежних.

Зважаючи на це, безпека є важливим чинником в разі пожежі.

Фотоелектричні установки, як і будь-яка система, що виробляє електроенергію, можуть загорітися.

Найбільш вірогідними причинами пожежі є: коротке замикання в установці, удар блискавки або неправильне підключення. Коротке замикання може виникнути і у фотоелектричних панелей, якщо вони низької якості, а також, коли електричний захист всієї системи був обраний неправильно. Решта причин пожежі пов'язані, головним чином, з невідповідним захистом установок подачі постійного струму фотоелектричних систем, наприклад, з погано підібраними кабелями, неякісними пробками, які можуть загорітися, або відсутністю будь-яких елементів захисту, наприклад запобіжників або вимикачів.

На жаль, ні в Україні ні в країнах Західної Європи немає чітких вказівок (алгоритмів) щодо того, як боротися з пожежею в будинках з фотоелектричною системою. А чинне законодавство та стандарти не в змозі йти в ногу зі швидким розвитком цієї технології. В Україні немає норм, які зобов'язували б кожну будівлю з фотоелектричною установкою оснащувати порошковим вогнегасником, розміщеним поруч із інвертором, та пристроями, що захищають установки.

На основі вивчення європейського досвіду, у випадку гасіння пожеж у приватних домоволодіннях (об'єктах), у яких встановлені сонячні електростанції, власник будинку (об'єкту) повинен повідомити керівника гасіння пожежі, про оснащення будівлі альтернативними джерелами живлення

(автоматичне включення резерву - генератор живлення, фотоелектрична установка чи інші.

Ця інформація має вирішальне значення для прийняття рішення щодо способу подальшого пожежогасіння та використання засобів гасіння (вода, піна, порошок, вуглекислий газ).

Якщо на місці немає власника чи адміністратора, щоб не наражати пожежників на небезпеку ураження електричним струмом керівник гасіння пожежі повинен провести ретельну розвідку навколо будівлі, щоб переконатися, чи вона не обладнана фотоелектричною установкою. Він також повинен враховувати, що до будівлі, яка горить, можуть бути підключені фотоелектричні установки, розташовані на сусідніх будівлях (гараж, господарська споруда, сарай). У цьому випадку компоненти системи, такі як інверторний або постійний захист, повинні розташовуватися на цих будівлях.

Першочергові дії пожежно-рятувального підрозділу, за вказівкою керівника гасіння пожежі, мають бути спрямовані на знеструмлення будинку (чи об'єкту).

Для цього необхідно вимкнути головний вимикач живлення в приватних будинках, а на виробничих та громадських об'єктах - пожежний вимикач.

Робота зі знеструмлення будинку (чи об'єкту) має виконуватись під контролем начальника караулу (командира відділення) та з дотриманням вимог правил безпеки праці.

Спочатку необхідно вимкнути напругу за допомогою автоматичних вимикачів або автоматичних вимикачів живлення будинку (головний вимикач), запобіжники, розташовані на щиті запобіжників будинку, а потім відключити струм, наприклад, за допомогою вимикача PKZ SOL 16A, який має знаходитись у коробці поруч з інвертором.

Важливо знати, що відключення основного джерела живлення в будівлі, оснащений фотоелектричною установкою, не зупинить генерування напруги постійного струму установкою. Тому, пожежники повинні діяти з урахуванням того, що установка в будівлі ввімкнена (використовувати

порошкові вогнегасники, не торкатися жодних виступаючих, обпалених проводів тощо).

Слід зазначити, що більшість пожеж, з якими мають справу пожежники, - це внутрішні пожежі, в яких застосування водяних стволів не становить небезпеки з боку постійних ліній електропередачі системи PV (якщо їх не встановлено в будівлі).

У ситуації вільного розвитку пожежі та її потрапляння на дах, на якому встановлена фотоелектрична установка, цей ризик збільшується, оскільки пожежа та висока температура можуть пошкодити ізоляцію проводів та самих панелей.

З досвіду європейських колег, для роботи на даху варто визначити необхідну кількість пожежників. Якщо проводиться гасіння пожежі на даху із встановленою фотоелектричною системою, пожежні не повинні використовувати електропровідні вогнегасні засоби (вода, піна). Стоячи на мокрій металевій покрівлі, де знаходиться пошкоджений «мінусовий» кабель установки, і поливаючи водою конструкцію, де може лежати кабель «плюс», пожежник ризикує потрапити під повний розряд напруги фотоелектричної установки. Життю пожежників також може загрожувати недотримання правил техніки безпеки при застосуванні водяного або пінного струменя до модулів, пробок, інверторів та у разі безпосереднього контакту пожежника з електроустановкою модулів. Слід пам'ятати, що навіть відключення всіх можливих елементів живлення не виключає генерації напруги панелями протягом дня.

У багатьох європейських країнах визнано, що фотоелектростанції можна гасити водою так само, як і інше електрообладнання напругою до 400 В.

Однак, під час гасіння потрібно дотримуватися таких правил (згідно DIN VDE 0132):

відстань 1 м між пожежним та електричним пристроєм під струмом;

відстань 1 м між пожежним та електричним пристроєм під час гасіння розпиленими струменями води;

відстань 5 м між пожежним та електроприладом, підключеним до електрики під час гасіння компактними струменями води.

Поряд з тим, науковий прогрес не стоїть на місці, так Австралійська компанія Solar Development розробила вогнегасний засіб виключно для PV-систем. У вогнегаснику є спеціальна рідина, яка після контакту зі склом створює на панелях шар, непроникний для сонячного світла. Таким чином, вона гасне, відключаючи доступ до сонячного випромінювання, без якого панелі не в змозі генерувати напругу. Шар вогнегасної речовини твердне через короткий час і може відшаровуватися від скла. На жаль, вогнегасник PV STOP наразі недоступний в Україні.

Фотоелектричні модулі є вогнетривкими і не сприяють поширенню вогню. Тому, засоби пожежогасіння застосовуються безпосередньо до них лише у разі пожежі на даху будівлі, на якому вони встановлені.

Варто знати, що найменш небезпечне значення струму, що може пройти крізь тіло людини протягом тривалого часу - 30 мА для змінного струму, або 70 мА для постійного струму. На практиці, однак, частіше використовується поняття *максимально допустимої напруги безпечного дотику*, яке може зберігатися тривалий час за певних умов навколишнього середовища. У нормі при так званих “сухих умовах” (суха земля, сухий одяг, суха шкіра), прийнятне значення безпечної контактної напруги становить 50 В для змінної напруги (змінного струму) і 120 В для постійної напруги (постійного струму), а якщо “умови мокрі” - 25 В змінного струму і 60 В постійного струму.

Слід зазначити, що напруга постійного струму на фотоелектричних установках може досягати декількох сотень вольт протягом доби, що перевищує прийнятні безпечні значення.

#### **4.7 ВИСНОВОК РОЗДІЛУ 4**

Розділ висвітлює критичну необхідність дотримання правил охорони праці та безпеки при роботі з домашніми сонячними фотовольтаїчними станціями (ФВС). Головний ризик полягає в ураженні електричним струмом

через генерацію високої напруги постійного струму (до 1500 В), особливо при виникненні електричної дуги у разі відключення під навантаженням. Безпечний монтаж вимагає заземлення системи, дотримання механічних навантажень та оптимальної орієнтації панелей. Регулярне технічне обслуговування та моніторинг є ключем до довговічної та ефективної роботи. Важливою складовою безпеки є блискавкозахист, що включає зовнішню систему та внутрішні ПЗП обмежувального типу для захисту обладнання від імпульсних перенапруг. В умовах надзвичайних ситуацій (пожеж), ФВС створюють додаткові ризики для пожежних через постійну генерацію небезпечної напруги при денному світлі, що вимагає негайного знеструмлення та використання непровідних вогнегасних засобів (порошок) при роботі на даху. Пожежні повинні завжди діяти, припускаючи, що панелі залишаються під напругою, та дотримуватися безпечних відстаней.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ПО РОБОТІ

Проведене дослідження присвячене актуальній проблемі підвищення енергоефективності та забезпечення автономного енергопостачання приватного житлового котеджу шляхом інтеграції відновлюваних джерел енергії (ВДЕ) та впровадження інтелектуальної системи моніторингу на базі технологій Інтернету речей (IoT). Актуальність теми обґрунтована структурними недоліками централізованої енергосистеми, постійним зростанням тарифів та потребою України у децентралізації, цифровізації та інтелектуалізації енергетичного сектору, що набуває екзистенційного значення в умовах сучасних викликів.

У Магістерській кваліфікаційній роботі були вирішені наступні завдання:

- Проведено ґрунтовний аналіз сучасної парадигми розподіленої енергетики, підтверджено її переваги (гнучкість, стійкість до атак, економічна доцільність) та обґрунтовано необхідність масового впровадження систем накопичення енергії (BESS) для балансування генерації ВДЕ.

- Розроблено та обґрунтовано структурну схему енергопостачання житлового котеджу, яка базується на гібридній системі — комбінуванні сонячної (ФЕС) та вітрової генерації. Виконано розрахунок енергоспоживання будинку та визначено необхідні потужності обладнання, включаючи гібридний інвертор та акумуляторні батареї, з акцентом на автономність.

- Створено технологічну схему (P&ID) та алгоритм автоматичного вибору джерел енергії, що забезпечує логіку роботи обладнання, контроль та безпеку системи. На основі порівняльного аналізу вибрано оптимальні компоненти енергетичної системи.

- Розроблено автоматизовану систему моніторингу та управління, що включає:

- Настільний додаток на C# (.NET Framework) та мобільний додаток *Energy Home* (із SQLite), які забезпечують візуалізацію даних, контроль

роботи установок та автоматичне прийняття рішень щодо ввімкнення/вимкнення джерел енергії.

- Систему сонячного трекера на базі Arduino Uno, яка використовує фоторезистори та сервоприводи для автоматичної орієнтації панелей за напрямком максимальної освітленості, що підвищує ефективність фотоелектричної установки.

Елементи наукової новизни роботи полягають у запропонованій інтегрованій концепції енергопостачання на основі комбінування ВДЕ з інтелектуальною EMS, а також в удосконаленні підходу до проектування гібридних систем через розробку детальної P&ID-схеми та алгоритму автоматичного вибору джерел. Створено програмно-апаратний комплекс, що поєднує моніторинг, аналітику та апаратну оптимізацію (сонячний трекер).

Практична цінність дослідження полягає в тому, що отримані результати, розроблені схеми, алгоритми, розрахунки та програми можуть бути використані як готова база для реального проектування та впровадження енергоавтономних житлових будинків, які відповідають вимогам енергетичного переходу до моделі активного споживача-виробника (prosumer), підвищуючи енергоефективність, надійність та екологічність електропостачання.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Чому Україні варто розвивати розподілену генерацію? - GOLAW. Юридична фірма GOLAW - комплексні юридичні послуги та консультації. URL: <https://golaw.ua/ua/insights/energy-alert/chomu-ukrayini-varto-rozvivati-rozpodilenu-generacziyu/> (дата звернення: 28.10.2025).
2. Інтернет енергії: що це таке і чому це важливо. *Fiberroad Technology*. URL: <https://fiberroad.com/uk/resources/new-trends/what-is-internet-of-energy-why-is-it-important/> (дата звернення: 28.10.2025).
3. Про ринок електричної енергії: Закон України від 13.04.2017 № 2019-VIII: станом на 28 серп. 2025 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19#Text> (дата звернення: 28.10.2025).
4. Solar PV's 2023 Global Costs Were 56% Lower Than Fossil & Nuclear Power. *TaiyangNews - All About Solar Power*. URL: <https://taiyangnews.info/business/solar-pvs-2023-global-costs-were-56-lower-than-fossil-nuclear-power> (дата звернення: 21.10.2025).
5. Проходження осінньозимових періодів 2022-2024 рр. Стан енергосистеми. *DiXi Group*. URL: [https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/04/2024\\_winterseasons\\_analysis\\_dixi\\_group\\_final.pdf](https://dixigroup.org/wp-content/uploads/2024/04/2024_winterseasons_analysis_dixi_group_final.pdf)
6. Як 2024 рік змінив енергетику в Україні? 12 законодавчих нововведень. *Asters*. URL: [https://www.asterslaw.com/ua/press\\_center/publications/yak\\_2024\\_rik\\_zminiv\\_energetiku\\_v\\_ukraini\\_12\\_zakonodavchikh\\_novovveden/](https://www.asterslaw.com/ua/press_center/publications/yak_2024_rik_zminiv_energetiku_v_ukraini_12_zakonodavchikh_novovveden/) (дата звернення: 21.10.2025).
7. Децентралізація та сонячна енергія: шлях України до захисту від ударів по енергетиці. *for-ua.com*. URL: <https://for-ua.com/article/1251738> (дата звернення: 21.10.2025).
8. Переваги та недоліки сонячних електростанцій (СЕС) в Україні - Галичина. Галичина - Інтернет-ресурс газети. URL:

<https://galychyna.if.ua/analytic/perevagi-ta-nedoliki-sonyachnih-elektrostantsiy-ses-v-ukrayini/> (дата звернення: 21.10.2025).

9. Атлас енергетичного потенціалу відновлюваних джерел енергії України / за заг. ред. С.О. Кудрі. Київ: Інститут відновлюваної енергетики НАН України, 2020. 82 с

10. Які є види сонячних електростанцій. Мережеві, автономні та гібридні СЕС для бізнесу і дому. *Gener*. URL: <https://gener.in.ua/tpost/spdb6pvcj1-yak-vidi-sonyachnih-elektrostantsi-merez> (дата звернення: 28.10.2025).

11. Р. Титко, В.М. Калініченко Відновлювальні Джерела Енергії (досвід Польщі для України): Навчальний посібник. Варшава: OWG, 2010/ 530 с.

12. Фотоенергетика : навч. посібник / Ю. П. Колонтаєвський, Д. В. Тугай, С. В. Котелевець ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.

13. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. / С. О. Кудря. К.: НТУУ «КПІ», 2012. 492 с.

14. Конеченков А. Є., Книш К. О. ВІТРОВА ЕНЕРГЕТИКА УКРАЇНИ: ПОДАЛЬШИЙ РОЗВИТОК СЕКТОРА НА РИНКОВИХ УМОВАХ. *Vidnovlyvana energetika*. 2021. № 4(67). С. 50–59. URL: [https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4\(67\).50-59](https://doi.org/10.36296/1819-8058.2021.4(67).50-59) (дата звернення: 29.10.2025).

15. Вітроенергетичний сектор України 2021. Огляд ринку за рік до війни. БЕАУ.2022. 102 с. URL: [https://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea\\_2021\\_ua\\_web\\_2.pdf](https://uwea.com.ua/uploads/docs/uwea_2021_ua_web_2.pdf)

16. Основи вітроенергетики: підручник / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, О. Н. Нойбергер, Д. Циценков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.

17. Альтернативні джерела енергії та технології їх використання: підруч. / Клименко В. В., Солдатенко В. П., Плешков С. П., Скрипник О. В.,

Саченко А.І.; за ред. д.т.н, проф. Клименка В.В. Кропивницький: ПП ЕксклюзивСистем, 2023. 212 с.

18. Д. О. Сапожник, Д. Д. Плечистий, «ВИКОРИСТАННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ЕКОНОМІЇ ЕНЕРГЕТИЧНИХ РЕСУРСІВ», *Вісник ВПШ*, вип. 4, 2023. с. 39–45.

19. Жураковський Б.Ю., Зенів І.О. Технології інтернету речей. Навчальний посібник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.

20. Smart Metering: як розумна система обліку ресурсів спрощує життя | Kyivstar Business Hub. *Kyivstar Business Hub – корпоративний блог для бізнесу*. URL: <https://hub.kyivstar.ua/articles/smart-metering-yak-rozumna-sistema-obliku-resursiv-sproshhuye-zhittya> (дата звернення: 29.10.2025).

21. Розбудова Smart Grid - шлях до підвищення стійкості енергосистеми України. *Офіційний сайт | АТ Хмельницькобленерго*. URL: <https://hoe.com.ua/post/rozbudova-smart-grid-shljah-do-pidvischennja-stijkosti-energosislemi-ukrajini.html> (дата звернення: 29.10.2025).

22. Лановський М. О., Гура В. І. Впровадження цифрових технологій інтернету речей для поліпшення енергоощадних технологій у будівлях. *Наукові записки Міжнародного гуманітарного університету*. 2022. С. 151–154.

23. Сонячна панель Longi Solar LR5-72НТН-575М. *Магазин електротехники и автоматики – системы электроснабжения под ключ в Украине «Vinur»*. URL: <https://vinur.com.ua/ua/products/solnechnie-batarei/komplektuyushie/solnechnye-paneli/lr5-72hth-575m> (дата звернення: 22.10.2025).

24. Вітрогенератор Flamingo Aero FA-4.4: ціна, відгуки, продаж ARTiss. Інтернет магазин ARTiss. URL: <https://artiss.ua/vetrogenerator-flamingo-aero-fa-4-4/> (дата звернення: 22.10.2025).

25. Панель управління Venus GX. *Магазин товарів Solar-Tech*. URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/inverters/control-display/panel-upravleniya-venus-gx.html> (дата звернення: 29.10.2025).

26. Панель управління Color Control GX. *Магазин товарів Solar-Tech*. URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/inverters/control-display/panel-upravleniya-color-control-gx.html> (дата звернення: 29.10.2025).
27. Акумуляторна батарея Challenger A12-200. *Магазин товарів Solar-Tech*. URL: <https://solar-tech.com.ua/ua/storage-batteries/akkumulyatornaya-batareya-challenger-a12-200.html> (дата звернення: 29.10.2025).
28. Victron BlueSolar MPPT. *Solar-Go.com*. URL: [https://www.solar-go.com/collections/victron-bluesolar-mppt?gad\\_source=1&gad\\_campaignid=21323824718&gbraid=0AAAAA9xFKt-bt\\_P7Csd1-llwfE4f7ZVPt&gclid=EAIaIQobChMIvtqyioWYkQMVHEGRBR35ITC0EAAYASAAEgIJB\\_D\\_BwE](https://www.solar-go.com/collections/victron-bluesolar-mppt?gad_source=1&gad_campaignid=21323824718&gbraid=0AAAAA9xFKt-bt_P7Csd1-llwfE4f7ZVPt&gclid=EAIaIQobChMIvtqyioWYkQMVHEGRBR35ITC0EAAYASAAEgIJB_D_BwE) (дата звернення: 29.10.2025).
29. Victron MultiPlus 24/3000/70-50 230V VE.Bus. *Solar-Go.com*. URL: [https://www.solar-go.com/products/victron-multiplus-24-3000-70-50-230v-ve-bus?\\_pos=9&\\_fid=5f41e2160&\\_ss=c](https://www.solar-go.com/products/victron-multiplus-24-3000-70-50-230v-ve-bus?_pos=9&_fid=5f41e2160&_ss=c) (дата звернення: 29.10.2025).
30. Огляд інверторів MEAN WELL TS-1000-248В та TS-1500-248В. *Компанія СЕА*. URL: <https://www.sea.com.ua/ua/istochniki-pitaniya/news/oglad-invertoriv-mean-well-ts-1000-248b-ta-ts-1500-248b/?srsltid=AfmBOopSKLi92nN8iDJJ0BnpgZlsakBn18SZPKdFQxV1ZW-w6QLmNqTc> (дата звернення: 29.10.2025).
31. Перетворювач напруги інвертор Mean Well 37.5А 1500Вт TS-1500-248В. *Svetum - интернет-магазин електротехнической продукции в Украине*. URL: <https://svetum.com.ua/ua/catalog/inventory/preobrazovatel-napryazheniya-invertor-mean-well-37-5a-1500vt-ts-1500-248b/> (дата звернення: 29.10.2025).
32. Uno Плати Ардуіно. *Ардуіно в Україні*. URL: <https://doc.arduino.ua/ru/hardware/Uno> (дата звернення: 29.10.2025).
33. STM32 для новачків: обираємо плати, середовища та перші кроки. URL: <https://dou.ua/forums/topic/52283/> (дата звернення: 29.10.2025).

34. M324 (smd) операційний підсилювач. 3v3.com.ua. URL: [https://3v3.com.ua/product\\_1237.html](https://3v3.com.ua/product_1237.html) (дата звернення: 29.10.2025).
35. Коноваленко І.В., Марущак П.О. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0: навчальний посібник. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2020. 320 с
36. Що таке SQLite. *FREEhost.UA*. URL: <https://freehost.com.ua/ukr/faq/wiki/chto-takoe-sqlite/> (дата звернення: 29.10.2025).
37. SQLite Home Page. *SQLite Home Page*. URL: <https://sqlite.org/> (дата звернення: 29.10.2025).
38. Акриловий сонячний трекер енергії "Стартовий набір Arduino STEM для відстеження, розумний DIY трекер. URL: <https://arduinokit.com.ua/ua/p2270184458-akrilovyj-solnechnyj-treker.html> (дата звернення: 29.10.2025).
39. Cheng T.-C., Hung W.-C., Fang T.-H. Two-Axis Solar Heat Collection Tracker System for Solar Thermal Applications. *International Journal of Photoenergy*. 2013. Т. 2013. С. 1–7. URL: <https://doi.org/10.1155/2013/803457> (дата звернення: 29.10.2025).
40. Interfacing Arduino Boards with Optical Sensor Arrays: Overview and Realization of an Accurate Solar Compass / D. Murra та ін. *Sensors*. 2023. Т. 23, № 24. С. 9787. URL: <https://doi.org/10.3390/s23249787> (дата звернення: 29.10.2025).
41. Mustafa Al-Sheikh. IoT-Enabled Dual-Axis Solar Tracking System Using ESP32 and Blynk for Real-Time Monitoring and Energy Optimization. *Jupiter: Publikasi Ilmu Keteknikan Industri, Teknik Elektro dan Informatika*. 2025. Т. 3, № 1. С. 187–204. URL: <https://doi.org/10.61132/jupiter.v3i1.695> (дата звернення: 29.10.2025).
42. Development and Testing of a Single-Axis Photovoltaic Sun Tracker through the Internet of Things / S. Gutierrez та ін. *Energies*. 2020. Т. 13, № 10. С. 2547. URL: <https://doi.org/10.3390/en13102547> (дата звернення: 29.10.2025).

43. Aquino Larico E. R., Gutierrez A. C. Solar Tracking System with Photovoltaic Cells: Experimental Analysis at High Altitudes. *International Journal of Renewable Energy Development*. 2022. Т. 11, № 3. С. 630–639. URL: <https://doi.org/10.14710/ijred.2022.43572> (дата звернення: 29.10.2025).

44. Розробка програмних модулів для обміну даними у промислових мережах: навч. посіб. для студ. спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Укладачі: А. В. Сагун, В. В. Хайдуров, І. А. Поліщук; КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 103 с.

45. “Інструкція з гасіння пожеж на енергетичних об’єктах України”, затверджена наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 22.12.2011 № 863, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 10 січня 2012 р. за № 13/20326 (зі змінами).

46. “Правила пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України”, затверджені наказом Міністерства енергетики та вугільної промисловості України від 26.09.2018 року № 491, зареєстрованим в Міністерстві юстиції України 29 березня 2019 р. за № 328/33299.

47. Методичні рекомендації щодо порядку дій аварійно-рятувальних формувань ДСНС під час гасіння пожеж на сонячних електростанціях. :Хмельницький. 2020. 53с.

48. Правила експлуатації сонячних панелей. *Соларіс-проект*. URL: <https://solarisproject.com.ua/how-to-use.html> (дата звернення: 29.10.2025).

49. Абракітов В. Е. Конспект лекцій з курсу „Охорона праці в галузі”(для студентів 5-го курсу денної форми навчання спеціальностей 7.06010202 та 8.06010202 „Містобудування”) / В. Е. Абракітов; Харк. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. Х. : ХНУМГ, 2014. 78 с

50. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях: рекомендації до виконання розділу магістерської дисертації: навч. посіб. для студ. спеціальності 131 «Прикладна механіка» (зварювальні та споріднені

спеціалізації) / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: О. Г. Левченко. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 30 с.