

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**  
**«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ**  
**імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**  
**Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту**  
**Кафедра електропостачання**

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

До захисту допущено:  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **Олена БОРИЧЕНКО**

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

**МАГІСТЕРСЬКА ДИСЕРТАЦІЯ**

**на здобуття ступеня магістра**  
**за освітньо-професійною програмою**  
**«Системи забезпечення споживачів електричною енергією»**  
**зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та**  
**електромеханіка»**

**на тему: «Підвищення гнучкості систем комбінованого електропостачання**  
**житлових комплексів»**

Виконав:

студент II курсу, групи ГЕ-41мп

*Поліщук Назар Олександрович* \_\_\_\_\_

Науковий керівник:

*канд.техн.наук, доцент,*

*Коцар Олег Вікторович* \_\_\_\_\_

Консультант з нормоконтролю:

*провідний інженер*

*Прокопенко Ірина Дмитрівна* \_\_\_\_\_

Рецензент:

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цій магістерській  
дисертації немає запозичень з праць інших  
авторів без відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально-науковий інститут енергозбереження та**  
**енергоменеджменту Кафедра електропостачання**

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність – 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітньо-професійна програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології» («Система забезпечення споживачів електричною енергією»)

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри  
\_\_\_\_\_ **Олена БОРИЧЕНКО**

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Поліщуку Назару Олександровичу**

1. Тема дисертації *«Підвищення гнучкості систем комбінованого електропостачання житлових комплексів»*, науковий керівник дисертації *Коцар Олег Вікторович, канд.техн.наук, доцент*, затверджені наказом по університету від «03» листопада 2025р. №4749-с.
2. Термін подання студентом дисертації 15 грудня 2025 року.
3. Об'єкт дослідження: Системи комбінованого електропостачання житлових комплексів.
4. Предмет дослідження: Методи і засоби комбінованого електропостачання житлових комплексів.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Проаналізувати літературу для виконання магістерської дисертації. 2) Проаналізувати методології та нормативно-правове забезпечення щодо резервних джерел живлення. 3) Розроблення конфігурації системи комбінованого електропостачання багатопверхового житлового будинку. 4) Описати охорону праці та техніку безпеки під час монтажу та експлуатації резервних джерел живлення. 5) Розробити стартап проект.

6. Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: Схема однолінійна принципова ГВРП-0,4 кВ, схема однолінійна принципова ВРП-0,4 кВ.

7. Консультанти розділів дисертації

Нормоконтроль

І.Д. Прокопенко

8. Дата видачі завдання 1 вересня 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Визначення мети, об'єкту магістерської дисертації	01.04.2025	
2	Визначення попередньої структури дисертації	01.05.2025	
3	Робота над першим розділом	01.06.2025	
4	Робота над другим розділом	01.07.2025	
5	Робота над третім розділом	26.10.2025	
6	Розробка стартап-проєкту	15.11.2025	
7	Оформлення дисертації	01.12.2025	
8	Оформлення реферату та презентації, проходження перевірки на плагіат та рецензування	10.12.2025	
9	Захист дисертації	19.12.2025	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

Н.О. Поліщук

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

О.В. Коцар

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

**Структура і обсяг роботи.** Магістерська дисертація на тему: "Підвищення гнучкості систем комбінованого електропостачання житлових комплексів." складається із вступу, 4 розділів, висновків, переліку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 91 сторінок основного тексту, зокрема, 18 рисунків, 18 таблиць, 41 бібліографічне найменування за переліком посилань.

**Актуальність теми.** Енергозабезпечення багатоквартирних будівель є фундаментальною вимогою для підтримки життєдіяльності сучасних міських інфраструктур. У разі надзвичайних ситуацій, таких як стихійні лиха, техногенні аварії чи тривалі знеструмлення, гарантування безперебійної роботи інженерних комунікацій стає критично складним. Це зумовлено надмірною залежністю житлової забудови від централізованих енергомереж, а також зростанням енергоспоживання через інтенсивне використання електроприладів і систем життєзабезпечення (комфорту).

Головна вразливість в умовах енергетичних криз — це відсутність або недостатність автономних джерел живлення у житлових комплексах. Згідно з ПУЕ, ці об'єкти за надійністю електропостачання належать до другої категорії. Проте, їхня здатність забезпечити безперебійну роботу інженерних систем (опалення, вентиляція, водопостачання та освітлення) є низькою. Більшість багатоповерхових будинків первісно розраховані на підключення до центральних розподільних мереж, що робить їх вкрай уразливими до зовнішніх перебоїв. Довготривале припинення електропостачання суттєво ускладнює умови проживання, особливо в зимовий час, коли припинення опалення може спричинити техногенні катастрофи, зокрема, замерзання трубопроводних та інших інженерних систем.

Одним із найбільш ефективних методів розв'язання цієї проблеми є впровадження гібридних енергетичних систем. Вони інтегрують традиційну генерацію з відновлюваними джерелами — наприклад, фотоелектричними модулями, установками зберігання енергії (УЗЕ) та мікрогенераційними установками, що одночасно виробляють електрику та тепло. Ці енергетичні

комплекси можуть забезпечити резервне живлення при відключенні від зовнішньої мережі, значно знижуючи залежність від централізованих постачальників. Крім того, ключову роль відіграє інтеграція систем управління енергоспоживанням, які дозволяють оптимізувати використання наявних ресурсів у критичні моменти, зберігаючи енергію для пріоритетного навантаження.

**Метою магістерської дисертації** є підвищення стійкості і гнучкості систем комбінованого електропостачання житлових комплексів та забезпечення можливості їх оперативного реконфігурування під час агресивних зовнішніх впливів за відсутності спеціалізованого персоналу.

**Об'єкт дослідження.** Системи і процеси комбінованого електропостачання житлових комплексів.

**Предмет дослідження.** Методи і засоби комбінованого електропостачання житлових комплексів.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої в науковій роботі мети і сформованих відповідно до неї завдань було використано розрахунково-аналітичний та статистико-економічний методи, SWOT-аналіз, а також системний та комплексний підходи.

**Наукова новизна** магістерської дисертації полягає у вперше застосованому комбінованому підході до електропостачання житлових комплексів, що відрізняється реалізацією можливості доставлення електричної енергії і забезпеченням додаткової електричної потужності ресурсом електромобілів для покриття критичних і пріоритетних електричних навантажень, а також забезпеченням можливості оперативного реконфігурування систем комбінованого електропостачання житлових комплексів під час агресивних зовнішніх впливів за відсутності спеціалізованого персоналу шляхом застосування мультипортових конверторів.

**Практичне значення** полягає у розробленні і технічному обґрунтуванні моделі гібридної енергетичної системи з інтелектуальним управлінням, яка забезпечує високий рівень автономності та стійкості багатоповерхових житлових будинків до тривалих перебоїв зовнішнього електропостачання, що є критично

важливим для гарантування життєдіяльності та безпеки мешканців в умовах енергетичних криз.

**Апробація результатів** роботи відбулася на XVII Науково-технічній конференції *«Енергетика. Екологія. Людина»* та на XI Міжнародній конференції *«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'25»*.

**Публікації.** 1. Поліщук Н. О. Підвищення стійкості і гнучкості систем комбінованого електропостачання житлових комплексів. Секція №1 «Сталий розвиток енергетики. Сучасні системи забезпечення електричною енергією. Енергетичний менеджмент», ст. 5. XVII Науково-технічна конференція *«Енергетика. Екологія. Людина»*, м. Київ; дата проведення: 28–29 квітня 2025 року.  
2. Поліщук Н. О. Резервування систем комбінованого електропостачання житлових комплексів ресурсом електромобілів. XI Міжнародна конференція *«Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'25»*, м. Київ; дата проведення: 18-20 листопада 2025 року.

**Програмне забезпечення.** Для виконання розрахунків у розділі 3 магістерської дисертації використовувалось програмне забезпечення: SAM 2023.12.17, MS Excel.

**Ключові слова:** ЖИТЛОВИЙ КОМПЛЕКС, ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ, СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ, НАВАНТАЖЕННЯ, СПОЖИВАННЯ, ФОТОЕЛЕКТРИЧНА ПАНЕЛЬ, АКУМУЛЯТОР, КОГЕНЕРАЦІЯ, ЕЛЕКТРОМОБІЛЬ, ЗАРЯДНИЙ ПУНКТ, МУЛЬТИПОРТОВИЙ КОНВЕРТОР.

## ABSTRACT

**Structure and scope of the work.** Master's thesis on the topic: 'Improving the flexibility of combined power supply systems for residential complexes consists of an introduction, 4 chapters, conclusions, and a list of sources used. The total volume of the work is 91 pages of main text, including 18 figures, 18 tables, and 41 bibliographic references in the list of references.

**Actuality of theme.** Energy supply to multi-apartment buildings is a fundamental requirement for maintaining the functioning of modern urban systems. In the event of emergencies, such as natural disasters, man-made accidents or prolonged power outages, ensuring the uninterrupted operation of engineering communications becomes critically difficult. This is due to the excessive dependence of residential buildings on centralised power grids, as well as the growth in energy consumption due to the intensive use of electrical appliances and life support (comfort) systems.

The main vulnerability in times of energy crises is the absence or insufficiency of autonomous power sources in residential complexes. According to the Electrical Installation Code, these facilities belong to the second category of current collectors in terms of power supply reliability. However, their ability to ensure the uninterrupted operation of critical systems (heating, ventilation, water supply and lighting) is low. Most multi-storey buildings are originally designed to be connected to central distribution networks, which makes them extremely vulnerable to external disruptions. Prolonged power outages significantly complicate living conditions, especially during the cold season, when heating shutdowns can cause man-made disasters, such as the freezing of pipelines and other engineering systems.

One of the most effective methods of solving this problem is the introduction of hybrid energy systems. They integrate traditional generation with renewable sources — for example, photovoltaic modules, energy storage systems (ESS) and micro-cogeneration units that simultaneously produce electricity and heat. These energy complexes can provide backup power when disconnected from the external grid, significantly reducing dependence on centralised suppliers. In addition, the integration of

energy consumption management systems plays a key role, allowing the optimisation of available resources at critical moments, saving energy for priority loads.

**Goal of the Master's Thesis.** The goal of the Master's thesis is to increase the stability and flexibility of combined power supply systems for residential complexes and to ensure the possibility of their rapid reconfiguration during aggressive external influences in the absence of specialised personnel.

**Object of Study.** Systems and processes of combined power supply for residential complexes.

**Subject of Study.** Methods and means of combined power supply for residential complexes.

**Research Methods.** To achieve the goal set in the scientific work and the tasks formed in accordance with it, computational-analytical and statistical-economic methods, SWOT analysis, as well as systematic and comprehensive approaches were used.

**The scientific novelty** of the Master's thesis lies in the first-time application of a combined approach to the power supply of residential complexes, which is distinguished by the implementation of the possibility of delivering electrical energy and providing additional electrical power by electric vehicles to cover critical and priority electrical loads, as well as ensuring the possibility of rapid reconfiguration of combined power supply systems for residential complexes during aggressive external influences in the absence of specialised personnel through the use of multi-port converters.

**The practical significance** consists in the development and technical substantiation of a model for a hybrid energy system with intelligent control, which ensures a high level of autonomy and stability of multi-story residential buildings against prolonged external power outages, which is critically important for guaranteeing the vital functions and safety of residents during energy crises.

**Approvals of the Work Results.** The results of the work were presented at the XVII Scientific and Technical Conference "Energy. Ecology. Man" and at the XI International Conference "Energy Management: State and Development Prospects – PEMS'25."

**Publications.** 1. Polischuk N. O. Improving the stability and flexibility of combined power supply systems for residential complexes. Section No. 1 ‘Sustainable development of energy. Modern electricity supply systems. Energy management’, p. 5. XVII Scientific and Technical Conference ‘Energy. Ecology. Man’, Kyiv; date: 28–29 April 2025. 2. Polischuk N. O. Reserving combined power supply systems for residential complexes with electric vehicles. XI International Conference ‘Energy Management: Status and Development Prospects – PEMS'25’, Kyiv; date: 18–20 November 2025.1. Polischuk N. O. Improving the stability and flexibility of combined power supply systems for residential complexes. Section No. 1 ‘Sustainable development of energy. Modern electricity supply systems. Energy management’, p. 5. XVII Scientific and Technical Conference ‘Energy. Ecology. Man’, Kyiv; date: 28–29 April 2025. 2. Polischuk N. O. Reserving combined power supply systems for residential complexes with electric vehicles. XI International Conference ‘Energy Management: Status and Development Prospects – PEMS'25’, Kyiv; date: 18–20 November 2025.

**Software.** To perform calculations in Section 3 of the master's thesis, the following software was used: SAM 2023.12.17, MS Excel.

**Key Words:** RESIDENTIAL COMPLEX, STABILITY IMPROVEMENT, COMBINED POWER SUPPLY SYSTEM, LOAD, CONSUMPTION, PHOTOVOLTAIC PANEL, BATTERY, COGENERATION, ELECTRIC VEHICLE, CHARGING POINT, MULTI-PORT CONVERTER.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	13
<b>1 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ.....</b>	<b>15</b>
1.1 Аналіз проблем, що розв’язано під час досліджень .....	15
1.2 Аналіз нормативно-правового та нормативно-технічного забезпечення об'єкту досліджень .....	17
1.3 Можливі шляхи розв’язання проблем та формулювання завдань досліджень .....	20
1.3.1 Спосіб 1: Послідовна модернізація та підвищення енергоефективності з акцентом на базові потреби .....	20
1.3.2 Спосіб 2: Гібридна енергетична система з інтелектуальним управлінням та когенерацією .....	21
Висновки по розділу 1 .....	23
<b>2 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕНЬ.....</b>	<b>24</b>
2.1 Загальний аналіз методів та їх класифікація.....	24
2.1.1 Спосіб 1: Послідовна модернізація та підвищення енергоефективності з акцентом на базові потреби .....	24
2.1.2 Спосіб 2: Гібридна енергетична система з інтелектуальним управлінням та когенерацією .....	26
2.1.3 Вибір оптимального рішення.....	27
2.2 Структура системи комбінованого електропостачання житлового комплексу .....	29
2.3 Аналіз стейкхолдерів та бенефіціарів .....	34
Висновки до розділу 2 .....	36
<b>3 СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ .....</b>	<b>37</b>
3.1 Навантаження будинку.....	38
3.2 Дахова фотоелектрична електрична станція.....	39
3.3 Установка зберігання енергії .....	42
3.4 Технологія Vehicle-to-Grid .....	45
3.5 Когенераційна установка.....	60
3.6 Побудова системи .....	64
3.7 Схема однолінійна принципова.....	66
Висновки до розділу 3 .....	73

4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ .....	75
4.1 Опис ідеї проєкту .....	75
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту .....	76
4.3 Вигляд розробленого зарядного пристрою електромобілів .....	78
4.4 Розроблення стратегії проєкту .....	80
4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту .....	82
4.6 Розроблення маркетингової компанії стартап-проєкту .....	84
Висновки до розділу 4 .....	88
ВИСНОВКИ .....	89
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ .....	91

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАК

- ВРП – ввідний розподільчий пристрій;
- ГВРП – головний ввідний розподільчий пристрій;
- ЩФЕС – щит фотоелектричної станції;
- ЩУЗЕ – щит установки збереження енергії;
- ЩЗП – щит зарядних пунктів електромобілів;
- ДБН – державні будівельні норми;
- КЛ – кабельна лінія;
- КЗ – коротке замикання;
- ПУЕ – правила улаштування електроустановок;
- РП – розподільний пункт;
- СПП – споруда подвійного призначення;
- УЗЕ – установка збереження енергії;
- ДБЖ – джерела безперебійного живлення;
- ФЕС – фотоелектрична станція;
- МРС – Multiport Converter;
- CCS – Combined Charging System;
- CHAdEMO – Charge de move;
- V2G – vehicle to grid.

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Енергозабезпечення багатоквартирних будівель є фундаментальною вимогою для підтримки життєдіяльності сучасних міських інфраструктур. У разі надзвичайних ситуацій, таких як стихійні лиха, техногенні аварії чи тривалі знеструмлення, гарантування безперебійної роботи інженерних комунікацій стає критично складним. Це зумовлено надмірною залежністю житлової забудови від централізованих енергомереж, а також зростанням енергоспоживання через інтенсивне використання електроприладів і систем життєзабезпечення (комфорту).

Головна вразливість в умовах енергетичних криз — це відсутність або недостатність автономних джерел живлення у житлових комплексах. Згідно з ПУЕ, ці об'єкти за надійністю електропостачання належать до другої категорії. Проте, їхня здатність забезпечити безперебійну роботу інженерних систем (опалення, вентиляція, водопостачання та освітлення) є низькою. Більшість багатоповерхових будинків первісно розраховані на підключення до центральних розподільних мереж, що робить їх вкрай уразливими до зовнішніх перебоїв. Довготривале припинення електропостачання суттєво ускладнює умови проживання, особливо в зимовий час, коли припинення опалення може спричинити техногенні катастрофи, зокрема, замерзання трубопроводів та інших інженерних систем.

Одним із найбільш ефективних методів розв'язання цієї проблеми є впровадження гібридних енергетичних систем. Вони інтегрують традиційну генерацію з відновлюваними джерелами — наприклад, фотоелектричними модулями, УЗЕ та мікрогенераційними установками, що одночасно виробляють електрику та тепло. Ці енергетичні комплекси можуть забезпечити резервне живлення при відключенні від зовнішньої мережі, значно знижуючи залежність від централізованих постачальників. Крім того, ключову роль відіграє інтеграція систем управління енергоспоживанням, які дозволяють оптимізувати використання наявних ресурсів у критичні моменти, зберігаючи енергію для пріоритетного навантаження.

**Метою магістерської дисертації** є підвищення стійкості і гнучкості систем комбінованого електропостачання житлових комплексів та забезпечення можливості їх оперативного реконфігурування під час агресивних зовнішніх впливів за відсутності спеціалізованого персоналу.

**Об'єкт дослідження.** Системи і процеси комбінованого електропостачання житлових комплексів.

**Предмет дослідження.** Методи і засоби комбінованого електропостачання житлових комплексів.

**Методи дослідження.** Для досягнення поставленої в науковій роботі мети і сформованих відповідно до неї завдань було використано розрахунково-аналітичний та статистико-економічний методи, SWOT-аналіз, а також системний та комплексний підходи.

**Наукова новизна** магістерської дисертації полягає у вперше застосованому комбінованому підході до електропостачання житлових комплексів, що відрізняється реалізацією можливості доставлення електричної енергії і забезпеченням додаткової електричної потужності ресурсом електромобілів для покриття критичних і пріоритетних електричних навантажень, а також забезпеченням можливості оперативного реконфігурування систем комбінованого електропостачання житлових комплексів під час агресивних зовнішніх впливів за відсутності спеціалізованого персоналу шляхом застосування мультипортових конверторів.

**Практичне значення** полягає у розробленні і технічному обґрунтуванні моделі гібридної енергетичної системи з інтелектуальним управлінням, яка забезпечує високий рівень автономності та стійкості багатоповерхових житлових будинків до тривалих перебоїв зовнішнього електропостачання, що є критично важливим для гарантування життєдіяльності та безпеки мешканців в умовах енергетичних криз.

# 1 АНАЛІЗ МОЖЛИВИХ ШЛЯХІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Аналіз проблем, що розв'язано під час досліджень

Енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків є ключовим аспектом функціонування сучасних міських інфраструктур. У разі виникнення критичних умов, таких як природні катаклізми, техногенні аварії або тривалі перебої в електропостачанні, забезпечення стабільної роботи інженерних систем будівель стає складним завданням. Це пов'язано з високою залежністю житлових комплексів від централізованих джерел енергії, а також зі зростанням енергоспоживання через інтенсифікацію використання електроприладів та систем комфорту.

Основною проблемою в умовах енергетичних криз є відсутність автономних джерел енергії, здатних забезпечити безперебійну роботу критично важливих систем, таких як опалення, вентиляція, водопостачання та освітлення. Більшість багатоповерхових будинків запроєктовано з розрахунку на приєднання до централізованих мереж системи розподілу, що робить їх вразливими до перебоїв зовнішнього електропостачання. У разі тривалого вимкнення електроенергії життєдіяльність мешканців ускладнюється, особливо холодної пори року, коли відсутність опалення може призвести до серйозних наслідків, зокрема, замерзання трубопроводів та інших інженерних комунікацій.

Одним із перспективних напрямів розв'язання цієї проблеми є впровадження гібридних систем енергозабезпечення, які поєднують традиційні джерела енергії з відновлюваними, як то фотоелектричні панелі, вітрові генератори та УЗЕ. Такі системи дозволяють забезпечити резервне живлення в разі від'єднання будинку від мережі розподілу, а також зменшити залежність від зовнішніх постачальників енергії. Крім того, важливим аспектом є інтеграція систем керування енергоспоживанням, які дозволяють оптимізувати використання ресурсів у критичних умовах, зберігаючи енергію для найважливіших потреб.

Іншим важливим фактором є підвищення енергоефективності самих будівель. Використання сучасних теплоізоляційних матеріалів, енергоефективних технологій та систем рекуперації тепла дозволяє значно знизити енергоспоживання, що є особливо важливим у умовах обмежених ресурсів. Також варто враховувати необхідність модернізації існуючих інженерних систем, які часто не відповідають сучасним вимогам щодо енергоефективності та надійності.

Для наочності побудовано діаграму Ішікави (рис. 1.1).

Проблема – «Нестабільне енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків».

Основні фактори впливу:

Технологічні;

Інфраструктурні;

Організаційні;

Соціальні;

Економічні;

Екологічні.

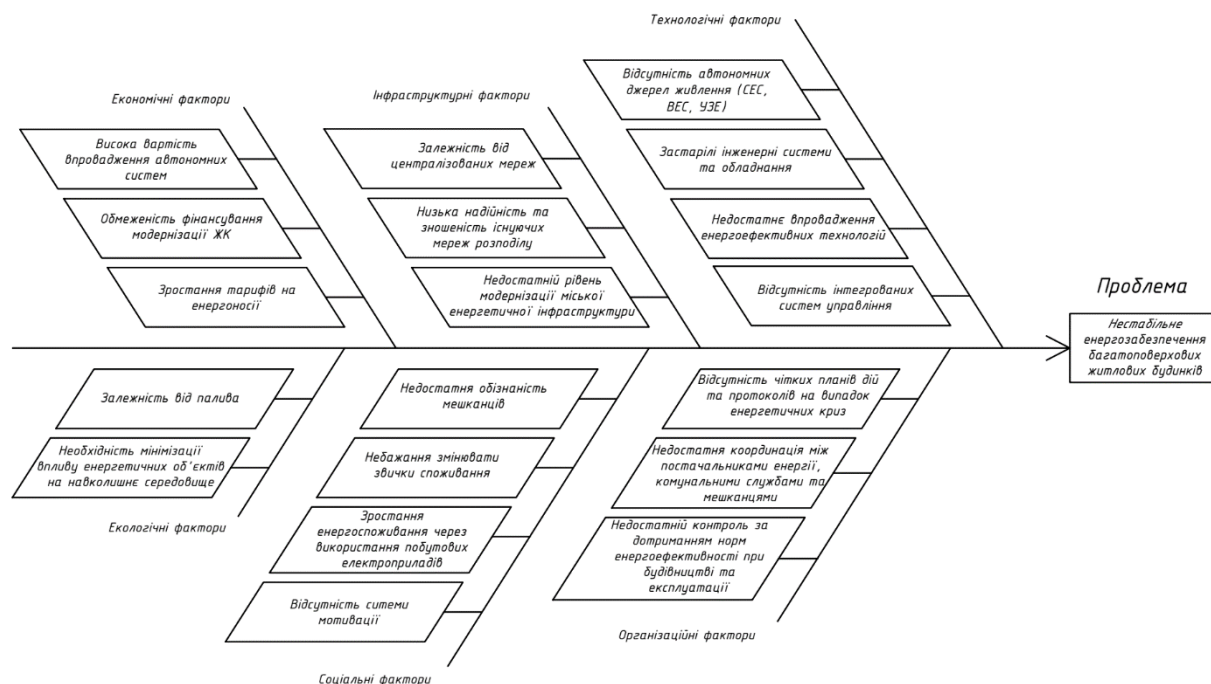


Рисунок 1.1 – Діаграма Ішікави

Таким чином, проблема енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків у критичних умовах потребує комплексного підходу, який охоплює впровадження автономних джерел енергії, управління енергоспоживанням та модернізацію інфраструктури. Розв'язання цієї проблеми дозволить забезпечити стабільне функціонування житлових комплексів у будь-яких умовах, що є важливим кроком у напрямку підвищення якості життя мешканців та зменшення ризиків, пов'язаних з енергетичними кризами.

## **1.2 Аналіз нормативно-правового та нормативно-технічного забезпечення об'єкту досліджень**

Питання енергозабезпечення житлових комплексів, особливо з урахуванням впровадження децентралізованих та комбінованих систем, регулюється широким спектром нормативних документів в Україні. Їх ієрархія та взаємозв'язок є ключовими для розуміння правового поля.

Закони України:

Основним законодавчим актом, що регулює відносини у сфері електроенергетики, є Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII. Цей закон визначає правові, економічні та організаційні засади функціонування ринку електричної енергії, принципи державного регулювання та права та обов'язки учасників ринку. Він створює умови для розвитку розподіленої генерації та впровадження нових технологій, таких як установки зберігання енергії.

Важливим є також Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV, який визначає правові, економічні та організаційні засади стимулювання виробництва та використання енергії з альтернативних джерел, зокрема сонячної та вітрової. Цей закон є фундаментом для розвитку фотоелектричних та вітрових станцій, які є складовими комбінованих систем електропостачання.

Закон України «Про особливості доступу до інформації у сферах постачання електричної енергії, природного газу, теплопостачання, централізованого водопостачання та водовідведення» від 10.12.2015 № 887-VIII є важливим для

забезпечення прозорості та доступу до даних, що можуть бути використані при проектуванні та експлуатації систем електропостачання.

У контексті безпеки житлових комплексів, особливо під час агресивних зовнішніх впливів, слід звернути увагу на Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI, який регулює відносини, пов'язані із захистом населення, територій, навколишнього природного середовища та майна від надзвичайних ситуацій, що включає й забезпечення життєдіяльності об'єктів інфраструктури.

Постанови Кабінету Міністрів України:

На рівні Кабінету Міністрів України приймаються постанови, які деталізують реалізацію законодавчих актів. Серед ключових:

Постанова КМУ «Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії» від 14.03.2018 № 224 визначає порядок постачання та споживання електричної енергії, включаючи умови для виробників з альтернативних джерел та споживачів.

Постанова КМУ «Деякі питання забезпечення функціонування об'єднаної енергетичної системи України» від 24.03.2021 № 329, яка регулює питання синхронізації та стабільності роботи енергосистеми, що є важливим для інтеграції розподіленої генерації.

Постанова КМУ «Про затвердження Порядку функціонування систем накопичення енергії» від 12.01.2022 № 13, що є ключовим документом, який визначає механізми використання УЗЕ, їх підключення та взаємодію з енергосистемою. Це безпосередньо впливає на можливість інтеграції акумуляторних батарей у системи комбінованого електропостачання житлових комплексів.

Державні норми та стандарти:

Особливе місце посідають державні будівельні норми (ДБН) та національні стандарти України (ДСТУ), що встановлюють технічні вимоги до проектування, будівництва та експлуатації систем.

ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електроустановок об'єктів цивільного призначення» (і його актуалізовані версії) є основним документом для

проектування внутрішніх систем електропостачання житлових та інших об'єктів. Він містить вимоги до надійності електропостачання, категорій струмоприймачів та резервування живлення. Важливо зазначити, що згідно з Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ), про які згадано у вихідному тексті, житлові будинки часто відносять до іншої категорії струмоприймачів за надійністю електропостачання, що підкреслює потребу в додаткових джерелах живлення для підвищення стійкості.

ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення» містить загальні вимоги до проектування житлових будинків, включаючи інженерні системи.

ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в умовах надзвичайних ситуацій. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту» є критично важливим для розуміння вимог до споруд подвійного призначення (укриттів) та систем, що забезпечують їх функціонування в умовах загроз.

ДСТУ EN 50549-1:2019 «Вимоги до генерувальних установок, що паралельно працюють з розподільчими електричними мережами. Частина 1: Підключення до мереж низької напруги. Загальні вимоги до генерувальних установок» та інші стандарти серії EN 50549 є важливими для технічного регулювання підключення фотоелектричних систем, УЗЕ та інших розподілених джерел генерації до електричних мереж.

ДСТУ ІЕС 62446-1:2018 «Фотоелектричні (PV) системи. Вимоги до випробувань, документації та технічного обслуговування. Частина 1: Системи, з'єднані із мережею. Документація, введення в експлуатацію та перевірка» та інші стандарти, що регулюють проектування та експлуатацію фотоелектричних систем.

Накази та інші документи міністерств та відомств:

Профільні міністерства, такі як Міністерство енергетики України, Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України, видають накази, що деталізують окремі аспекти регулювання. Наприклад, накази щодо затвердження форм документів, ліцензійних умов, порядків проведення певних процедур. Також, значну роль відіграють технічні умови (ТУ) від операторів

систем розподілу (ОСР), які встановлюють конкретні вимоги до підключення об'єктів до електричних мереж.

Європейські директиви, резолюції, стандарти:

Україна, рухаючись шляхом євроінтеграції, активно імплементує європейське законодавство та стандарти. Зокрема, важливими є:

Директива 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел» (і її наступні редакції) визначає загальні рамки та цілі щодо розвитку відновлюваної енергетики, що є орієнтиром для національного законодавства.

Регламент Комісії (ЄС) 2016/631 «Вимоги до мережевого кодексу для генерувальних установок» (NC RfG) встановлює єдині європейські правила для підключення генерувальних установок до електричних мереж, забезпечуючи їх безпечну та надійну роботу. Це має пряме відношення до інтеграції ФЕС, УЗЕ та інших джерел у мікромережі житлових комплексів.

Стандарти серії EN 50549, як вже зазначалося, є імплементацією європейських вимог до підключення розподіленої генерації.

Ці документи формують основу для розробки та впровадження комбінованих систем електропостачання, забезпечуючи їх відповідність технічним, безпековим та експлуатаційним вимогам.

### **1.3 Можливі шляхи розв'язання проблем та формулювання завдань досліджень**

#### **1.3.1 Спосіб 1: Послідовна модернізація та підвищення енергоефективності з акцентом на базові потреби**

Цей підхід зосереджено на поступовому покращенні існуючих систем будівлі, забезпечуючи при цьому базові потреби мешканців під час енергетичних криз без значних початкових інвестицій. Основний акцент робиться на пріоритизації енергоефективності будівлі. Це передбачає комплексне утеплення фасадів, дахів та підвалів, а також заміну вікон і дверей на сучасні, енергоефективні склопакети. Такі енергоефективні заходи є фундаментальними для значного зменшення загального енергоспоживання будинку, що, своєю чергою, знижує

залежність від зовнішніх джерел та зменшує навантаження на будь-які резервні системи.

Паралельно з цим проводиться модернізація або заміна систем опалення та вентиляції на більш ефективні, можливо, з використанням технологій рекуперації тепла, що дозволяє суттєво зменшити витрати на обігрів. Також відбувається поступовий перехід на енергоощадне освітлення, зокрема LED-лампи, у місцях загального користування та за рекомендацією для квартир.

Для забезпечення безперебійної роботи найважливіших систем під час тривалих вимкнень електроенергії передбачається встановлення автономних дизельних або газових генераторів. Такі генератори мають бути достатньої потужності та оснащені системами автоматичного запуску для підтримки функціонування насосів водопостачання, систем опалення (котлів, циркуляційних насосів), водовідведення, аварійного освітлення та роботи ліфтів. Розробляються чіткі регламенти їх використання та забезпечення паливом. Для забезпечення безперервності роботи критичного обладнання у технічних приміщеннях (наприклад, системи пожежної сигналізації, домофони, інтернет-обладнання) можуть бути встановлені невеликі джерела безперебійного живлення (ДБЖ) або компактні УЗЕ. У цьому варіанті також впроваджується система моніторингу енергоспоживання будинку для виявлення піків споживання та управління використанням енергії. Важливою складовою є навчання та інформування мешканців щодо важливості економії енергії та правил користування будинковими системами в умовах обмежень та важливості дотримання енергоефективних практик у повсякденному житті.

### **1.3.2 Спосіб 2: Гібридна енергетична система з інтелектуальним управлінням та когенерацією**

Цей варіант передбачає створення передової, багатокомпонентної енергетичної системи, яка максимально використовує відновлювані джерела енергії та найсучасніші технології зберігання й розподілу. На даху будинку встановлюється фотоелектрична станція (ФЕС), що генерує електроенергію з

сонячного світла, покриваючи значну частину щоденного споживання, особливо вдень.

Надлишкова енергія, вироблена ФЕС, накопичується у потужній УЗЕ, що складається з сучасних акумуляторних батарей великої ємності. Ця енергія використовується вночі або під час пікових навантажень. Особливістю цього варіанта є інтеграція зарядних станцій для електромобілів. Електромобілі тут виступають не тільки як споживачі, але й як мобільні акумуляторні батареї, які завдяки технології V2G (Vehicle-to-Grid) можуть віддавати надлишок енергії назад у мережу будинку в період енергетичних криз або високих потреб.

Для забезпечення абсолютної надійності та покриття критичного навантаження в умовах, коли генерації з відновлюваних джерел та накопиченої в УЗЕ енергії недостатньо, система доповнюється когенераційною установкою. Ця установка виробляє як електричну, так і теплову енергію одночасно, максимально ефективно використовуючи паливо. Вона може працювати на природному газі або біогазі, забезпечуючи додаткове живлення та опалення для критично важливих систем будинку в періоди пікових навантажень або тривалих вимкнень.

Центральним елементом усієї системи є мультипортовий конвертор. Цей інтелектуальний пристрій забезпечує зв'язок та інтеграцію всіх джерел живлення (ФЕС, УЗЕ, електромобілі, когенерація) та споживачів, маючи як порти постійного, так і змінного струму. Його ключова перевага полягає у легкій реконфігурації системи живлення будинку без необхідності залучення спеціалізованого персоналу, що дозволяє швидко перемикатися між різними режимами роботи – автономним, з мережею, або режимом віддачі енергії.

## Висновки по розділу 1

У першому розділі здійснено комплексний аналіз проблеми надійності енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків, особливо в умовах критичних ситуацій та енергетичних криз. Наголошено, що ключові проблеми полягають у високій залежності житлових комплексів від централізованих мереж розподілу, відсутності автономних джерел живлення для критично важливих інженерних систем, а також у зростанні загального енергоспоживання. Для наочного структурування причинно-наслідкових зв'язків, що впливають на стійкість енергозабезпечення, була побудована та проаналізована діаграма Ішікави, яка класифікувала чинники впливу за технологічними, інфраструктурними, організаційними, соціальними, економічними та екологічними групами.

Паралельно проведено ґрунтовний аналіз чинної нормативно-правової та нормативно-технічної бази України, що регулює питання функціонування ринку електричної енергії, впровадження альтернативних джерел енергії та систем накопичення енергії, а також вимоги до проектування і будівництва житлових об'єктів та їхніх інженерних систем. Результати аналізу підтвердили існування необхідної правової основи для розвитку розподіленої генерації та мікромереж на рівні житлових комплексів.

На підставі виявлених проблемних аспектів і нормативних передумов було сформульовано два принципово різних шляхи вирішення поставленої задачі дослідження. Перший спосіб, «Послідовна модернізація та підвищення енергоефективності з акцентом на базові потреби», зосереджено на зниженні рівня енергоспоживання та використанні традиційних резервних джерел, як то дизельні або газові генератори. Другий спосіб, «Гібридна енергетична система з інтелектуальним управлінням та когенерацією», передбачає створення високотехнологічної багатокомпонентної системи, що поєднує сонячні електростанції, установки зберігання енергії, технологію V2G та когенераційну установку, інтегрованих через мультипортовий конвертор.

## 2 ОБҐРУНТУВАННЯ МЕТОДІВ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

### 2.1 Загальний аналіз методів та їх класифікація

#### 2.1.1 Спосіб 1: Послідовна модернізація та підвищення енергоефективності з акцентом на базові потреби

У табл. 1.1 наведено результати SWOT-аналізу запропонованого способу розв'язання проблеми з нестабільного енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків.

Таблиця 1.1 – SWOT-аналіз 1-го способу розв'язання проблеми

S – сильні сторони	W – слабкі сторони
<p><b>1. Нижчі початкові інвестиції:</b> Фінансово більш доступний варіант, що дозволяє розпочати реалізацію з меншими витратами.</p> <p><b>2. Швидка реалізація:</b> Деякі заходи (наприклад, утеплення, заміна освітлення) можуть бути впроваджені відносно швидко, забезпечуючи негайний ефект.</p> <p><b>3. Зниження експлуатаційних витрат:</b> Підвищення енергоефективності будинку значно зменшує рахунки за комунальні послуги для мешканців.</p> <p><b>4. Забезпечення базових послуг:</b> Автономні генератори гарантують живлення критично важливих систем (опалення, вода, ліфти) під час відключень.</p> <p><b>5. Зрозумілість та звичність:</b> Технології (утеплення, генератори) є більш знайомими для обслуговуючого персоналу та мешканців.</p> <p><b>6. Покращення комфорту мешканців:</b> Утеплення та модернізація систем покращують мікроклімат у приміщеннях.</p>	<p><b>1. Залежність від палива:</b> Дизельні/газові генератори потребують постійного постачання палива, що може бути проблематично під час криз.</p> <p><b>2. Екологічний аспект:</b> Робота дизельних генераторів пов'язана з викидами шкідливих речовин та шумом.</p> <p><b>3. Обмежена автономність:</b> Генератори забезпечують живлення лише на період наявності палива, а енергоефективність лише зменшує споживання, але не генерує енергію.</p> <p><b>4. Відсутність власної генерації:</b> Будинок залишається повністю залежним від зовнішньої мережі або постачання палива для генераторів.</p> <p><b>5. Моральне застарівання:</b> Технології, такі як дизельні генератори, є менш перспективними порівняно з відновлюваними джерелами.</p>

## Продовження таблиці 1.1

О – можливості	Т – загрози
<p>1. <b>Доступність програм енергоефективності:</b> Існуючі державні та місцеві програми підтримки термомодернізації будинків (наприклад, "Енергодім").</p> <p>2. <b>Зростання свідомості населення:</b> Збільшення розуміння важливості енергозбереження серед мешканців, що сприяє впровадженню заходів.</p> <p>3. <b>Поступове накопичення ресурсів:</b> Можливість реалізувати проект поетапно, інвестуючи в нього поступово.</p> <p>4. <b>Зменшення навантаження на міські мережі:</b> Загальне зниження споживання енергії будинками покращує стабільність міської інфраструктури.</p> <p>5. <b>Простий старт для ОСББ/ЖБК:</b> Легше отримати згоду та організувати фінансування для менш амбітних проектів.</p>	<p>1. <b>Коливання цін на паливо:</b> Непередбачувані зміни вартості дизельного палива або газу можуть значно збільшити експлуатаційні витрати генераторів.</p> <p>2. <b>Перебої з постачанням палива:</b> У кризових умовах може виникнути дефіцит палива.</p> <p>3. <b>Недостатнє фінансування:</b> Залежність від власних коштів мешканців або обмежених програм підтримки.</p> <p>4. <b>Опір мешканців:</b> Деякі мешканці можуть бути проти додаткових внесків або розміщення генераторів через шум чи запах.</p> <p>5. <b>Ризики, пов'язані з обслуговуванням генераторів:</b> Необхідність регулярного обслуговування та забезпечення безпечної експлуатації.</p> <p>6. <b>Тривалість окупності:</b> Хоча експлуатаційні витрати знижуються, повна окупність інвестицій у термомодернізацію може бути довгою.</p>

## 2.1.2 Спосіб 2: Гібридна енергетична система з інтелектуальним управлінням та когенерацією

У табл. 1.2 наведено результати SWOT-аналізу запропонованого способу розв'язання проблеми з нестабільного енергозабезпечення багатоповерхових житлових будинків.

Таблиця 1.2 – SWOT-аналіз 2-го способу розв'язання проблеми

S – сильні сторони	W – слабкі сторони
<p><b>1. Висока енергетична автономність та надійність:</b> Поєднання кількох джерел (ФЕС, УЗЕ, V2G, когенерація) забезпечує багаторівневе резервування, що критично важливо в умовах частих відключень світла.</p> <p><b>2. Екологічність та сталість:</b> Значне зменшення залежності від викопного палива та скорочення викидів CO<sub>2</sub> завдяки використанню відновлюваних джерел.</p> <p><b>3. Керування енергоспоживання:</b> Інтелектуальна система управління та мультипортовий конвертор дозволяють максимально ефективно використовувати вироблену енергію, мінімізуючи втрати.</p> <p><b>4. Гнучкість та масштабованість:</b> Система може бути розширена та адаптована до зростаючих потреб або змін у технологіях.</p> <p><b>5. Можливість додаткового доходу:</b> Зайву енергію можна продавати в загальну мережу (зелений тариф).</p> <p><b>6. Підвищення вартості нерухомості:</b> Будинки з такою системою стають більш привабливими та конкурентоспроможними на ринку.</p> <p><b>7. Використання електромобілів як мобільних УЗЕ:</b> Інноваційний підхід, що дозволяє залучати приватний транспорт до енергетичної інфраструктури будинку.</p>	<p><b>1. Високі початкові капітальні витрати:</b> Встановлення такої складної системи потребує значних фінансових вкладень.</p> <p><b>2. Технічна складність:</b> Проектування, монтаж та налаштування вимагають висококваліфікованих спеціалістів.</p> <p><b>3. Залежність від погодних умов:</b> Ефективність ФЕС залежить від сонячної інсоляції</p> <p><b>4. Витрати на обслуговування:</b> Складна система потребує регулярного технічного обслуговування та кваліфікованого персоналу.</p> <p><b>5. Місце для розміщення:</b> Потреба у значній площі для ФЕС, УЗЕ та когенераційної установки, що може бути проблематично для деяких існуючих будинків.</p> <p><b>6. Дозвільна документація:</b> Процес отримання дозволів на встановлення когенерації та підключення до мережі може бути тривалим та складним.</p>

## Продовження таблиці 1.2

О – можливості	Т – загрози
<p>1. <b>Державна підтримка та гранти:</b> Можливість отримання фінансування від міжнародних фондів або національних програм підтримки відновлюваної енергетики та енергоефективності, особливо в умовах післявоєнної відбудови.</p> <p>2. <b>Зростання цін на енергоносії:</b> Стимул для інвестицій у власну генерацію та зниження залежності від централізованих поставок.</p> <p>3. <b>Розвиток технологій:</b> Постійне здешевлення та підвищення ефективності ФЕС та УЗЕ робить їх більш доступними.</p> <p>4. <b>Залучення ОСББ/ЖБК:</b> Створення механізмів для колективного фінансування та реалізації проектів на рівні об'єднань співвласників.</p> <p>5. <b>Енергетична незалежність України:</b> Сприяння загальнонаціональній меті зменшення залежності від імпортованих енергоресурсів.</p> <p>6. <b>Збільшення популярності електромобілів:</b> Розвиток інфраструктури для електромобілів та їх інтеграція в енергосистему будинку.</p>	<p>1. <b>Бюрократичні перешкоди:</b> Складність та тривалість процедур узгодження та підключення до мережі.</p> <p>2. <b>Економічна нестабільність:</b> Непередбачувані зміни курсів валют та інфляція можуть вплинути на вартість обладнання та окупність проекту.</p> <p>3. <b>Вандалізм та крадіжки:</b> Ризики пошкодження або крадіжки обладнання, особливо зовнішнього.</p> <p>4. <b>Зміни у законодавстві:</b> Непередбачувані зміни в енергетичному законодавстві або системі "зеленого тарифу".</p> <p>5. <b>Дефіцит кваліфікованих кадрів:</b> Недостатня кількість спеціалістів для проектування, монтажу та обслуговування складних гібридних систем.</p> <p>6. <b>Подальші руйнування інфраструктури:</b> Триваюча війна та ризик нових атак на енергетичну інфраструктуру, що може загрожувати навіть автономним системам.</p>

## 2.1.3 Вибір оптимального рішення

Обираючи оптимальне рішення для енергозабезпечення багатоквартирних будинків, порівняння результатів SWOT-аналізів двох варіантів переконливо показує, що Варіант 2 – Гібридна Енергетична Система з Інтелектуальним Управлінням та Когенерацією – є найбільш обґрунтованим і далекоглядним вибором.

Незважаючи на його вищі початкові капітальні витрати (що є основною слабкою стороною), переваги цього варіанта значно переважають. Висока енергетична автономність і надійність Варіанту 2 є його найсильнішою стороною, особливо в умовах непередбачуваних перебоїв з електропостачанням, які

спостерігаються в Україні, зокрема в Київській області. Багаторівневе резервування за рахунок ФЕС, УЗЕ, технології V2G (використання електромобілів як мобільних акумуляторів) та когенераційної установки забезпечує безперебійне живлення навіть під час тривалих блекаутів, що є критично важливим для комфорту та безпеки мешканців.

Тоді як Варіант 1 покладається на обмеженість автономії (залежність від палива для генераторів) і не пропонує власної генерації енергії, Варіант 2 активно використовує відновлювані джерела, сприяючи екологічності та сталості. Це не лише знижує експлуатаційні витрати в довгостроковій перспективі завдяки зменшенню споживання з мережі та можливості продажу надлишків за "зеленим тарифом" (хоч і з деяким зниженням тарифу у 2025 році), але й підвищує екологічну відповідальність та привабливість будинку.

Інтелектуальне управління та мультипортовий конвертор у Варіанті 2 вирішують проблему складності, дозволяючи легко реконфігурувати систему без спеціалізованого персоналу, що робить її гнучкою та зручною в експлуатації. Це є значною перевагою над відносною простотою Варіанту 1, який не пропонує подібної гнучкості та інтеграції.

В умовах України, де прогнозується подальше зростання тарифів на електроенергію (особливо з червня 2025 року), можливості Варіанту 2, такі як державна підтримка відновлюваної енергетики, гранти та зростання цін на енергоносії, створюють сприятливе середовище для інвестицій у власну енергетичну інфраструктуру. Ці можливості значно переважають загрози, пов'язані з високими початковими витратами та бюрократичними перешкодами, які можна подолати шляхом активної взаємодії з регулюючими органами та пошуку фінансування.

Таким чином, незважаючи на початкові виклики, Варіант 2 є стратегічною інвестицією у довгострокову енергетичну незалежність, стабільність та екологічність, що робить його кращим вибором для сучасних багатоквартирних будинків.

## **2.2 Структура системи комбінованого електропостачання житлового комплексу**

Для побудови системи з підвищення стійкості енергозабезпечення житлових комплексів було вибрано дев'ятиповерховий житловий будинок з вбудованими нежитловими приміщеннями та підземним паркінгом, який є спорудою подвійного призначення (укриттям).

Основним джерелом електропостачання будинку є зовнішні мережі ОСР. Для підвищення стійкості будинку пропонується впровадження: дахової та настінної ФЕС, локальної УЗЕ. Також пропонується залучення електромобілів для енергозабезпечення будівлі в автономному режимі за згодою їх власників. Під час тривалих вимкнень, коли обсягів генерації та акумульованої електроенергії не вистачає, можливе увімкнення когенераційної установки для забезпечення критичного навантаження будинку.

Ключовим елементом, який об'єднує всі компоненти системи, є мультипортовий конвертор, який має порти як змінного струму (для приєднання основного навантаження та до основної мережі), так і постійного струму (для з'єднання мікрогенерувальних установок на постійному струмі з мережею змінного струму).

### **Опис елементів системи**

Фотоелектричні панелі є одним із ключових елементів сучасних систем енергозабезпечення, які можуть значно підвищити стійкість житлових комплексів до енергетичних криз. Вони перетворюють сонячну енергію на електричну за допомогою фотоелектричних елементів, що дозволяє забезпечувати об'єкти енергією незалежно від централізованих мереж. Це особливо важливо в умовах перебоїв електропостачання або повного відключення енергосистеми.

Основною перевагою фотоелектричних панелей є їхня автономність та екологічна чистота. Вони не потребують палива для роботи та не створюють шкідливих викидів, що робить їх ідеальним рішенням для використання в міських умовах. Крім того, фотоелектричні панелі мають довгий термін служби – до 25–30 років і більше, за умови правильного технічного обслуговування. Це дозволяє

розглядати їх як довгострокове інвестиційне рішення для підвищення енергетичної незалежності житлових комплексів.

Ефективність фотоелектричних панелей залежить від кількох факторів, включаючи географічне розташування об'єкта, кут нахилу панелей, їх орієнтацію щодо сонця та кліматичні умови. Наприклад, в регіонах з високою інсоляцією фотоелектричні панелі можуть генерувати значну кількість енергії, яка може покривати частину потреб житлового комплексу. Для підвищення ефективності часто використовуються системи відстеження сонячного руху, які забезпечують оптимальний кут падіння сонячних променів на поверхню панелей.

Однією з ключових переваг інтеграції фотоелектричних панелей у систему енергозабезпечення житлового комплексу є можливість їхнього поєднання з акумуляторними батареями. Це дозволяє накопичувати надлишки енергії, згенерованої протягом дня, для використання в нічний час або в періоди підвищеного енергоспоживання. Така система забезпечує безперебійне живлення критично важливих систем, таких як освітлення, опалення та вентиляція, навіть у разі відключення централізованого електропостачання.

Важливим аспектом є також модульність фотоелектричних панелей, яка дозволяє масштабувати систему відповідно до потреб конкретного житлового комплексу. Наприклад, на початковому етапі можна встановити невелику кількість панелей для забезпечення енергією ключових систем, а згодом розширювати систему, додаючи нові модулі. Це робить фотоелектричні панелі гнучким рішенням, яке може адаптуватися до змінних умов та потреб.

Однак варто враховувати, що ефективність фотоелектричних панелей може бути обмежена в умовах недостатньої інсоляції, наприклад, взимку або в регіонах з частішою хмарністю. Для компенсації цього недоліку рекомендується використовувати фотоелектричні панелі у поєднанні з іншими джерелами енергії, такими як вітрові генератори або традиційні резервні генератори. Це дозволяє створити гібридну систему, яка забезпечує максимальну стійкість енергозабезпечення.

УЗЕ дозволяють зберігати надлишки енергії, згенеровані протягом періодів низького споживання, і використовувати їх у періоди пікового навантаження або при відключенні електропостачання.

Одним із найважливіших аспектів при виборі акумуляторних станцій є тип накопичувачів енергії. На сьогоднішній день найбільш поширеними є літій-іонні акумулятори, які характеризуються високою щільністю енергії та відносно компактними розмірами. Однак для застосування в житлових комплексах, особливо в умовах обмеженої площі та високих вимог до безпеки, більш доцільним є використання залізо-фосфатних ( $\text{LiFePO}_4$ ) акумуляторів. Цей тип акумуляторів має низку переваг, які роблять їх ідеальним рішенням для використання в системах енергозабезпечення багатоповерхових будинків.

Першою перевагою залізо-фосфатних акумуляторів є їхній тривалий термін служби. Вони здатні витримувати значно більшу кількість циклів заряду-розряду порівняно з традиційними літій-іонними акумуляторами, що робить їх економічно вигідними у довгостроковій перспективі. Крім того, залізо-фосфатні акумулятори мають стабільнішу хімічну структуру, що забезпечує їхню надійність та зменшує ризик деградації елементів навіть при інтенсивній експлуатації.

Другою важливою перевагою є підвищена пожежна безпека. Залізо-фосфатні акумулятори менш схильні до перегріву та самозаймання порівняно з іншими типами літій-іонних акумуляторів. Це пов'язано з їхньою стійкістю до високих температур та відсутністю виділення кисню при пошкодженні, що значно знижує ризик виникнення пожеж. Ця характеристика є особливо важливою для житлових комплексів, де безпека мешканців є пріоритетом.

Акумуляторні станції на базі залізо-фосфатних акумуляторів також характеризуються високою ефективністю та здатністю працювати в широкому діапазоні температур. Це дозволяє використовувати їх у різних кліматичних умовах без необхідності додаткового обладнання для терморегуляції. Крім того, вони мають нижчий рівень саморозряду, що забезпечує тривале зберігання енергії без значних втрат.

Інтегрування акумуляторних станцій до системи енергозабезпечення житлового комплексу дозволяє забезпечити резервне живлення критично важливих систем, таких як освітлення, опалення, вентиляція та ліфтове обладнання, у разі припинення централізованого/зовнішнього електропостачання. Крім того, акумуляторні станції можуть використовуватися для згладжування пікових навантажень, що дозволяє знизити витрати та зменшити навантаження на мережу.

#### Огляд мультипортових конверторів

Мультипортовий конвертор (multiport converter, MPC) — це спеціалізований силовий електронний пристрій, призначений для інтеграції кількох джерел енергії, накопичувачів та навантажень у єдину систему. Основна ідея MPC полягає в тому, щоб забезпечити ефективне управління енергією між різними портами (входами/виходами), які можуть бути як змінного (AC), так і постійного (DC) струму. Це дозволяє зменшити кількість перетворювальних каскадів, що, у свою чергу, підвищує ефективність, знижує вартість та зменшує габарити системи.

#### Принцип роботи мультипортових конверторів

Мультипортовий конвертор функціонує за рахунок інтеграції кількох енергетичних портів у єдину структуру, що дозволяє здійснювати одночасне управління потоками енергії між ними. До кожного порту може бути приєднано окрему мікрогенерувальну установку (наприклад, фотоелектричні панелі, вітрові турбіни, акумуляторні системи) або навантаження (наприклад, електричні мережі, електромобілі). MPC забезпечує двоспрямований потік енергії, що дозволяє як передавати енергію від джерел до навантажень, так і зберігати її в акумуляторах або повертати в мережу.

Головна перевага MPC полягає в тому, що він дозволяє уникнути необхідності використання окремих конверторів для кожного джерела або навантаження. Замість цього всі порти інтегруються в єдину систему, що значно зменшує кількість компонентів, таких як конденсатори, трансформатори та інші пасивні елементи. Це призводить до підвищення щільності потужності та зниження загальних втрат енергії.

## Ключові характеристики

1. Одноступінчасте перетворення: МРС забезпечує одноступінчасте перетворення енергії між портами, що дозволяє уникнути втрат, пов'язаних із багатоступінчастими перетвореннями. Наприклад, у випадку інтеграції фотоелектричних панелей та акумуляторів у мережу змінного струму, МРС може безпосередньо передавати енергію між цими джерелами та мережею без проміжних перетворень.

2. Гнучкість у виборі портів: МРС може мати різну кількість портів, які можуть бути як змінного, так і постійного струму. Це дозволяє адаптувати конвертор під конкретні потреби системи, наприклад, для інтеграції фотоелектричних панелей, акумуляторів та електричних автомобілів у єдину мережу.

3. Бідирекційний потік енергії: МРС підтримує двоспрямований потік енергії, що дозволяє як передавати енергію від джерел до навантажень, так і зберігати її в акумуляторах або повертати в мережу. Це особливо важливо для систем з розподіленою генерацією енергії, де необхідно забезпечувати баланс між генерацією та споживанням.

4. Відсутність проміжних DC-ланок: На відміну від традиційних систем, де використовуються проміжні DC-ланки (наприклад, конденсатори), МРС може працювати без них, що зменшує габарити та підвищує надійність системи.

5. Підвищена ефективність та щільність потужності: Завдяки зменшенню кількості компонентів та одноступінчатому перетворенню, МРС забезпечує вищу ефективність та щільність потужності порівняно з традиційними системами, де використовуються окремі конвертори для кожного джерела або навантаження.

## Приклади застосування

МРС знаходять широке застосування в розосереджених енергетичних системах, зокрема в мікромережах (microgrids), де необхідно інтегрувати різні джерела енергії, такі як фотоелектричні панелі, вітрові турбіни, акумуляторні системи та електричні автомобілі. Вони також використовуються в системах

зберігання енергії, де необхідно забезпечити ефективне управління потоками енергії між акумуляторами та мережею.

### **2.3 Аналіз стейкхолдерів та бенефіціарів**

Визначення стейкхолдерів та бенефіціарів є критично важливим для успіху будь-якого проєкту, особливо такого комплексного, як енергозабезпечення багатоквартирних будинків. Це дозволяє команді проєкту глибоко зрозуміти всіх, хто зацікавлений у проєкті або на кого він впливає, а також тих, хто отримає пряму вигоду.

По-перше, чітке розуміння стейкхолдерів дозволяє ефективно управляти комунікаціями та очікуваннями. Кожна зацікавлена сторона — від мешканців ОСББ та місцевої влади до енергопостачальних компаній та фінансових установ — має власні інтереси та потенційний вплив на проєкт. Визначивши їх на ранньому етапі, можна залучити їх до діалогу, врахувати їхні потреби та мінімізувати можливі конфлікти чи опір. Це сприяє безперешкодному впровадженню та забезпечує необхідну підтримку.

По-друге, ідентифікація бенефіціарів допомагає чітко сформулювати цінність проєкту та його кінцеві результати. Розуміння, хто саме отримає вигоди від стабільного енергопостачання, зниження витрат чи покращення екології, дозволяє мотивувати учасників, обґрунтувати інвестиції та виміряти реальний успіх. Це також допомагає розробити механізми, які гарантують, що заявлені вигоди дійсно будуть отримані кінцевими споживачами.

Перелік основних стейкхолдерів та бенефіціарів впровадження даного проєкту наведено в табл. 1.3.

Таблиця 1.3 – Стейкхолдери та бенефіціари

Стейкхолдери	Основні інтереси та вплив на проєкт
Місцева влада (Київська ОВА, Київська міська рада, міськради населених пунктів Київської області)	Забезпечення стабільного функціонування міської інфраструктури, зменшення навантаження на централізовані мережі, підвищення енергетичної безпеки регіону, виконання екологічних зобов'язань. Можуть надавати дозволи, регуляторну підтримку, інформаційні кампанії, залучати міжнародні фонди.
Енергопостачальні компанії (Обленерго, теплокомуненерго)	Підтримка стабільності мережі, врегулювання питань підключення та тарифів ("зелений тариф", тощо), уникнення перевантажень. Можуть видавати технічні умови, встановлювати тарифи, укладати договори про купівлю/продаж електроенергії.
Державні регуляторні органи (НКРЕКП, Міненерго, Держенергоефективності)	Забезпечення дотримання законодавства, стандартів та норм, ліцензування діяльності, формування державної політики у сфері енергетики та енергоефективності. Встановлюють "правила гри" на енергоринку.
Банки та фінансові установи	Залучення клієнтів, надання кредитів та інвестиційні послуги, отримання прибутку від відсотків. Можуть розробляти спеціальні "зелені" кредитні програми.
Міжнародні донори та фінансові інституції	Підтримка відбудови України, сприяння її енергетичній безпеці та "зеленому" переходу, реалізація своїх програм розвитку. Можуть надавати гранти та пільгові кредити.
Приватні інвестори	Отримання прибутку від інвестицій, участь у розвитку енергетичного сектору, диверсифікація свого інвестиційного портфеля. Вкладають капітал у проєкт.
Сервісні та обслуговуючі компанії	Отримання довгострокових контрактів на технічне обслуговування, ремонт та моніторинг системи. Забезпечують безперебійну роботу обладнання після його встановлення.
Бенефіціари	Очікувані Вигоди
Мешканці будинку	Стабільне та безперебійне електро- та теплопостачання, зниження комунальних платежів за енергію в довгостроковій перспективі, підвищення комфорту та безпеки проживання (особливо під час криз), зростання ринкової вартості житла.
Виробнича та технологічна галузь	Збільшення обсягів виробництва та продажів, стимулювання інновацій та розвитку нових технологій, посилення позицій на внутрішньому та міжнародному ринках.

## Висновки до розділу 2

У другому розділі було виконано порівняльний аналіз двох запропонованих шляхів розв'язання проблеми нестабільного енергозабезпечення шляхом застосування SWOT-аналізу для кожного варіанта. На основі отриманих результатів, які продемонстрували стратегічні переваги, було обґрунтовано вибір гібридної енергетичної системи та когенерацією як найбільш далекоглядного та стійкого рішення. Незважаючи на вищі початкові капітальні витрати, цей варіант забезпечує найвищий рівень енергетичної автономності, екологічності та надійності за рахунок багаторівневого резервування.

Далі було детально окреслено архітектуру обраної оптимальної системи для типового дев'ятиповерхового житлового будинку. Визначено ключові функціональні елементи: дахову сонячну електричну станцію, локальну установку зберігання енергії та когенераційну установку. Здійснено технічне обґрунтування вибору літій-залізо-фосфатних акумуляторів для систем накопичення енергії, виходячи з їхнього подовженого терміну служби та підвищеної пожежної безпеки, що є критично важливим для житлових об'єктів.

Особливу увагу було приділено центральному компоненту системи — мультипортовому конвертору, який був обраний як пристрій для об'єднання всіх джерел живлення (постійного та змінного струму), накопичувачів та навантажень. На завершення, проведено аналіз стейкхолдерів та бенефіціарів, що дозволило визначити всіх зацікавлених сторін (від місцевої влади до приватних інвесторів) та очікувані вигоди для кінцевих споживачів (мешканців) і загальної інфраструктури, що є важливим для успішної реалізації проєкту.

### **3 СИСТЕМА КОМБІНОВАНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ**

Для дослідження та розкриття теми дисертації використаємо матеріали власного дослідження проведеного протягом підготовки бакалаврського дипломного проєктування [20]. За результатами якого були проведені розрахунки потужності побутового, загально будинкового, комерційного призначення та паркінгу, який є спорудою подвійного призначення (СПП) у трьох режимах роботи.

Перший – нормальний режим функціонування, за якого всі струмоприймачі житлового будинку живляться від загальної системи розподілу та/або локальних будинкових мікроджерел.

Другий – автономний (острівний) режим, за якого припинено зовнішнє електропостачання житлового будинку від загальної системи розподілу внаслідок її пошкодження і в будинку вимкнено струмоприймачі, які не входять до групи пріоритетних навантажень. При цьому всі мешканці житлового будинку залишаються у власних квартирах і користуються електроприладами у повсякденному режимі за винятком вимкнення струмоприймачів не пріоритетних навантажень.

Третій – автономний (острівний) режим під час оголошення повітряної тривоги, за якого припинено зовнішнє електропостачання житлового будинку від загальної системи розподілу внаслідок її пошкодження, вимкнено струмоприймачі, що не входять до групи критичних навантажень, і усі мешканці перебувають в підземному паркінгу – СПП, який у воєнний час є укриттям цивільного населення. В роботі залишаються лише струмоприймачі, що відносяться до критичного навантаження будинку і забезпечують життєдіяльність укриття. При цьому в квартирах мешканців залишаються увімкненими холодильники та охоронна сигналізація. До критичного навантаження також належить аварійне освітлення сходових клітин.

### 3.1 Навантаження будинку

В табл. 3.1, 3.2, 3.3 підведено підсумки розрахунків навантаження та добового споживання всіх споживачів, які були розглянуті в [20].

Таблиця 3.1 – Навантаження будинку у нормальному режимі

Найменування споживача	cos φ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А	A, кВт·год
ВРП-3.1	0,916	213,98	93,71	233,60	354,91	1371,05
ВРП-3.2 (супермаркет)	0,905	100,00	47,01	110,50	167,88	456,00
ВРП-3.3 (супермаркет)	0,905	100,00	47,01	110,50	167,88	456,00
ВРП-3.4 (магазин)	0,905	75,00	35,26	82,87	125,91	526,00
ВРП-П	0,923	80,00	33,35	86,67	131,69	547,88
<b>Разом по будинку</b>	<b>0,912</b>	<b>568,975</b>	<b>256,462</b>	<b>624,104</b>	<b>948,228</b>	<b>3356,93</b>

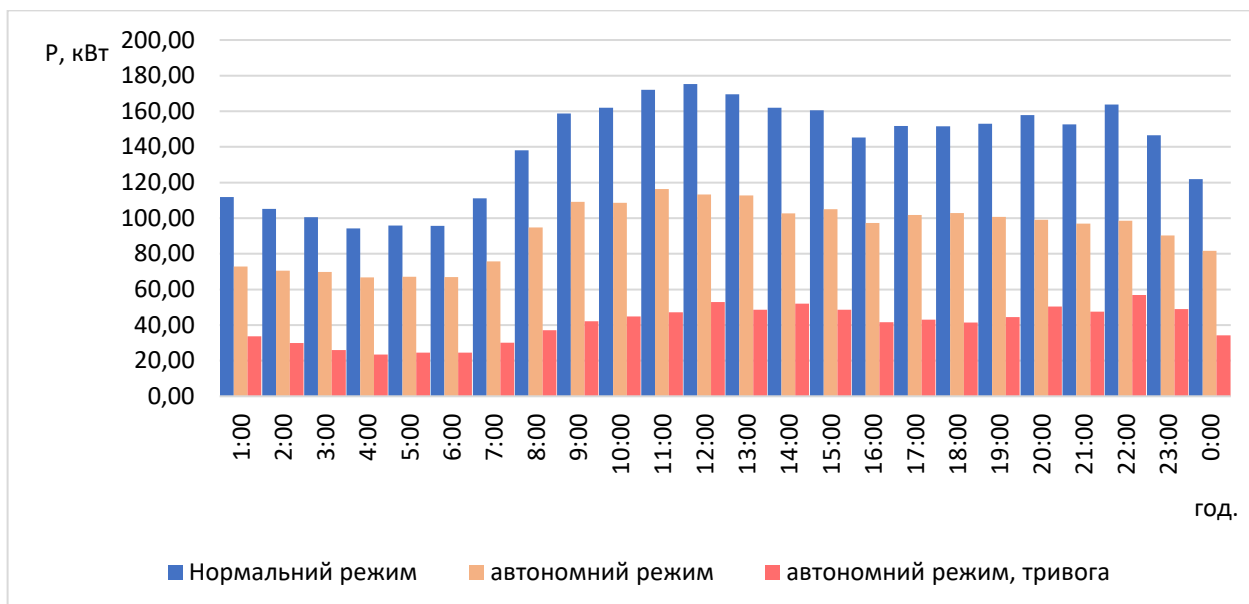
Таблиця 3.2 – Навантаження будинку у автономному режимі

Найменування споживача	cos φ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А	A, кВт·год
ВРП-3.1	0,916	84,91	37,19	92,70	140,84	494,80
ВРП-3.2 (супермаркет)	0,905	86,02	40,44	95,05	144,41	392,25
ВРП-3.3 (супермаркет)	0,905	86,02	40,44	95,05	144,41	392,25
ВРП-3.4 (магазин)	0,905	65,60	30,84	72,49	110,13	460,07
ВРП-П	0,923	70,40	29,35	76,27	115,89	482,13
<b>Разом по будинку</b>	<b>0,911</b>	<b>392,954</b>	<b>178,346</b>	<b>431,532</b>	<b>655,645</b>	<b>2221,511</b>

Таблиця 3.3 – Навантаження будинку у автономному режимі, повітряна тривога

Найменування споживача	cos φ	P <sub>p</sub> , кВт	Q <sub>p</sub> , квар	S <sub>p</sub> , кВА	I <sub>p</sub> , А	A, кВт·год
ВРП-3.1	0,916	54,74	23,98	59,76	90,80	290,90
ВРП-3.2 (супермаркет)	0,905	10,60	4,98	11,71	17,80	48,34
ВРП-3.3 (супермаркет)	0,905	10,60	4,98	11,71	17,80	48,34
ВРП-3.4 (магазин)	0,905	10,36	4,87	11,45	17,39	72,66
ВРП-П	0,923	70,28	29,30	76,14	115,69	513,68
<b>Разом по будинку</b>	<b>0,917</b>	<b>156,584</b>	<b>68,148</b>	<b>170,771</b>	<b>259,459</b>	<b>973,914</b>

Для графічної візуалізації побудовано графіки погодинного споживання будинку на рис. 3.1.



$$P_{\Sigma\text{буд.н}} = 3356,93 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$P_{\Sigma\text{буд.ав}} = 2221,51 \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

$$P_{\Sigma\text{буд.ав.т}} = 973,91 \text{ кВт} \cdot \text{год}.$$

Рисунок 3.1 – Графік погодинного споживання багатоповерхового житлового будинку

Тож, за результатами розрахунку потужності для забезпечення роботи будинку при відсутності зовнішнього електропостачання потрібно незалежні джерела живлення, які спроможні покрити добове споживання в автономному режимі – 2221,51 кВт·год, в автономному режимі при оголошенні повітряної тривоги – 973,91 кВт·год.

### 3.2 Дахова фотоелектрична електрична станція

Основним незалежним джерелом електричної енергії в [20] є ФЕС, яку розміщено на даху багатоповерхового житлового будинку з врахуванням затінення та конструктивних особливостей будівлі.

Було вибрано монокристалічні фотоелектричні панелі Q.PEAK DUO ML-G11S+ SERIES рис. 3.2. Технічні параметри панелі наведено у табл. 3.4.

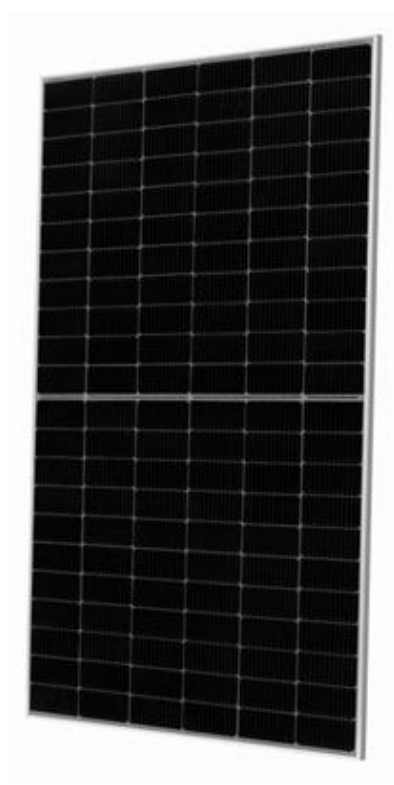


Рисунок 3.2 – Фотоелектрична панель Q.PEAK DUO ML-G11S+ SERIES

Таблиця 3.4 – Технічні характеристики фотоелектричної панелі Q.PEAK DUO ML-G11S+ SERIES

Потужність на MPP, Вт	510
Струм короткого замикання, А	14
Напруга холостого ходу, В	45,41
Струм на MPP, А	13,39
Напруга на MPP, В	38,08
Коефіцієнт корисної дії, %	$\geq 21,5$
Максимальна напруги системи, В	1500
Максимальний зворотній струм, А	25
Технологія	монокристал
Вага, кг	25,7
Габарити, ДхШхТ, мм	2092x1134x30

За допомогою програмного забезпечення (ПЗ) SAM 2023.12.17 (розповсюджується з відкритою ліцензією) розробленого американською Національною лабораторією відновлювальної енергії (NREL) [19] було вибрано

три трифазних інвертори потужністю 50 кВт, з обмеженням перетоків Deye SUN-50K-Do3 (рис. 3.3). Технічні параметри інвертора наведено в табл. 3.5.



Рисунок 3.3 – Інвертор Deye SUN-50K-Do3

Таблиця 3.5 – Технічні характеристики інвертора Deye SUN-50K-Do3

<b>Вхідна сторона</b>	
Макс. Вхідна потужність постійного струму (кВт)	65
Макс. Вхідна напруга постійного струму (В)	1000
Вхідна напруга постійного струму при запуску (В)	250
Робочий діапазон MPPT (V)	200~850
Макс. Вхідний постійний струм (А)	40+40+40+40
Макс. Струм короткого замикання (А)	60+60+60+60
Кількість трекерів МРР	4
Кількість рядків на трекер МРР	3
<b>Вихідна сторона</b>	
Номінальна вихідна потужність (кВт)	50
Макс. Активна потужність (кВт)	55
Номінальна вихідна напруга / діапазон (В)	3L/N/PE 220/380В, 230/400В
Номінальна частота мережі (Гц)	50 / 60 (необов'язково)
Операційна фаза	Три фази
Номінальний вихідний струм мережі змінного струму (А)	75,8/72,4
Макс. Вихідний струм змінного струму (А)	83,3/79,7
Коефіцієнт вихідної потужності	0,8 веде до 0,8 відстає
Поточний КНІ сітки	<3%
Постійний струм інжекції (мА)	<0,5%
Діапазон частот сітки	47~52 або 57~62

Маючи запроєктовану ФЕС у програмному забезпеченні SAM 2023.12.17 було сформовано графік генерації електроенергії та співставлено його з добовим споживанням будинку у автономному режимі при оголошенні тривоги, рис. 3.4.

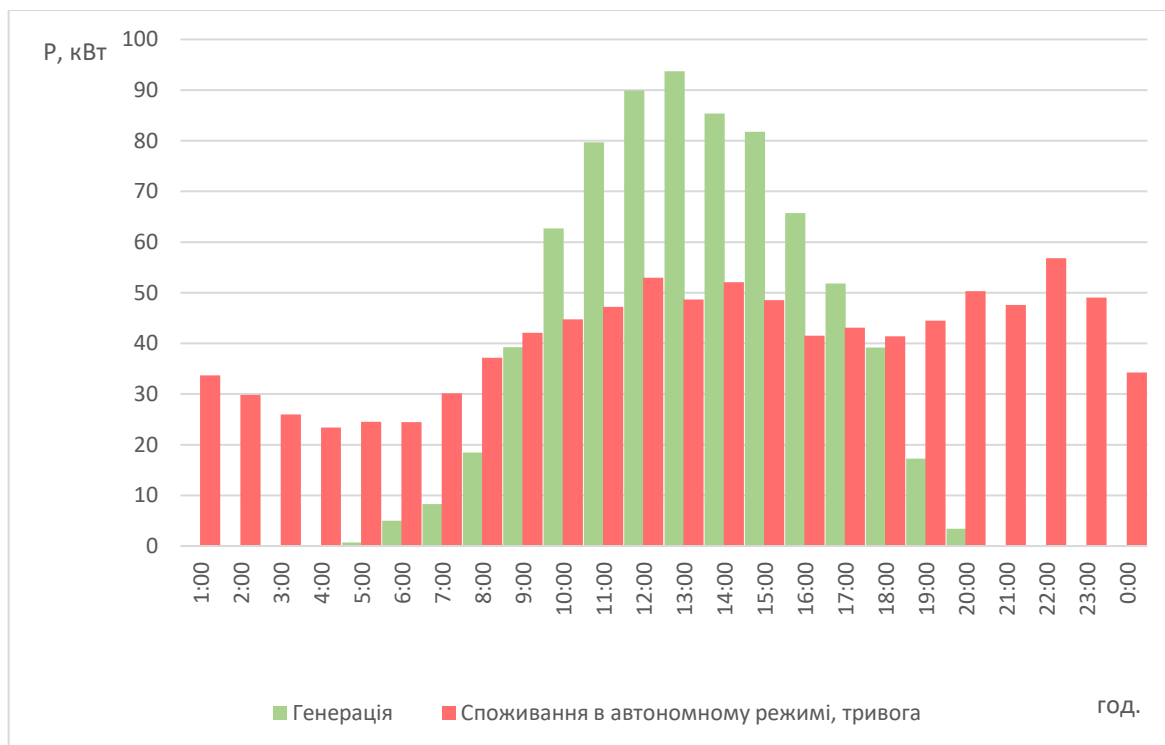


Рисунок 3.4 – Порівняння графіку генерації з графіком споживання у автономному режимі при оголошенні повітряної тривоги

### 3.3 Установка зберігання енергії

З графіку рис. 3.4 бачимо, що у період з 18:00 до 9:00 генерації не достатньо для повноцінного забезпечення потреб будинку у автономному режимі при оголошенні повітряної тривоги. Оскільки за добу генерується 742,2 кВт·год, а споживається 973,91 кВт·год, то можна зробити висновок, що запропонована конфігурація системи гарантованого живлення не забезпечить необхідну потужність для функціонування будинку.

Отже для покриття необхідної потужності необхідне застосування УЗЕ, яка забезпечить необхідне споживання протягом однієї доби будинку у автономному режимі при оголошенні тривоги.

Для розрахунку УЗЕ у цілях безпеки та довговічності системи вибрано залізо-фосфатні акумуляторні батареї LP LiFePO<sub>4</sub> Battery HVM (рис. 3.5). Характеристики наведені в табл. 3.6.



Рисунок 3.5 - Акумулятор LP LiFePO<sub>4</sub> Battery HVM

Таблиця 3.6 – Технічні характеристики акумулятора LP LiFePO<sub>4</sub> Battery

Номінальна ємність, А·год	304
Ємність, кВт·год	124,518
Номінальна напруга, В	409,6
Напруга повного заряду, В	464,6
Мінімальна напруга, В	345,6
Максимальний струм заряду, А	304
Максимальний струм розряду, А	304
Кількість циклів	7000
BMS	HVM
Номінал комірок	304
Робоча температура заряду, °C	0..+40
Робоча температура розряду, °C	-10..+50
Матеріал корпусу	метал
Кількість батарейних блоків	8

Згідно з рекомендаціями виробників акумуляторних батарей межі заряду/розряду в яких повинен працювати накопичувальний пристрій становлять 30-80%, тож для вибраного типу акумуляторів розрахуємо ефективну ємність:

$$C_{\text{еф}} = C_{\text{max}} - C_{\text{min}}, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.1)$$

$$C_{\text{max}} = C_{\text{акум.}} \cdot \frac{80}{100} = 124,518 \cdot \frac{80}{100} = 99,61, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.2)$$

$$C_{\text{min}} = C_{\text{акум.}} \cdot \frac{30}{100} = 124,518 \cdot \frac{30}{100} = 37,36, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.3)$$

$$C_{\text{еф}} = 99,61 - 37,36 = 62,26, \text{ кВт} \cdot \text{год}. \quad (3.4)$$

Отримавши ефективну ємність однієї акумуляторної батареї розрахуємо кількість батарей для цілодобового живлення будинку у автономному режимі при оголошенні тривоги:

$$n_{\text{акум.}} = \frac{P_{\Sigma \text{буд.ав.т}}}{C_{\text{еф}}} = \frac{973,91}{62,26} = 15,64 \approx 16, \text{ шт.} \quad (3.5)$$

Тепер розрахуємо протягом скількох годин запропонована УЗЕ здатна забезпечити споживання будинку у трьох режимах роботи:

1. Нормальний режим:

$$t_{\text{н}} = \frac{C_{\text{еф}} n_{\text{акум.}}}{\frac{A_{\text{н.}}}{24}} = \frac{62,26 \cdot 16}{\frac{3356,93}{24}} = 7,12, \text{ год}, \quad (3.6)$$

2. Автономний режим:

$$t_{\text{авт}} = \frac{C_{\text{еф}} n_{\text{акум.}}}{\frac{A_{\text{авт.}}}{24}} = \frac{62,26 \cdot 16}{\frac{2221,51}{24}} = 10,76, \text{ год}, \quad (3.7)$$

3. Автономний режим при оголошенні тривоги:

$$t_{\text{авт.т}} = \frac{C_{\text{еф}} n_{\text{акум.}}}{\frac{A_{\text{авт.т}}}{24}} = \frac{62,26 \cdot 16}{\frac{973,91}{24}} = 24,55, \text{ год}. \quad (3.8)$$

Далі розрахуємо яку потужність можуть забезпечити 16 акумуляторних батарей вибраного типу:

$$\begin{aligned}
 P_{\text{акум.мах}} &= \sqrt{3} I_{\text{розр.}} \cdot \frac{U_{\text{акум.н.}}}{1000} \cdot \cos\varphi \cdot n_{\text{акум.}} = & (3.9) \\
 &= \sqrt{3} \cdot 304 \cdot \frac{409,6}{1000} \cdot 0,92 \cdot 16 = 3174,69, \text{ кВт.}
 \end{aligned}$$

Порівняємо, отримане значення максимальної потужності проектованої УЗЕ з потужністю будинку у:

1.Нормальному режимі роботи:

$$P_{\text{н.р}} < P_{\text{акум.мах}} \Rightarrow 568,98 < 3174,69, \text{ кВт,}$$

2.Автономному режимі роботи:

$$P_{\text{авт.р}} < P_{\text{акум.мах}} \Rightarrow 392,95 < 3174,69, \text{ кВт,}$$

3.Автономному режимі роботи при оголошенні тривоги:

$$P_{\text{авт.т.р}} < P_{\text{акум.мах}} \Rightarrow 156,58 < 3174,69, \text{ кВт.}$$

Отже, УЗЕ, що складається з 16-ти акумуляторних батарей типу LP LiFePO4 Battery НVM здатна видати необхідну потужність у кожному з трьох розглянутих режимах роботи для повноцінної роботи багатоповерхового житлового будинку, та забезпечить живлення, для нормального режиму упродовж 7,12 годин, для автономного режиму – 10,76 годин, для автономного режиму при оголошенні тривоги – 24,55 годин.

### 3.4 Технологія Vehicle-to-Grid

Оскільки вартість однієї акумуляторної батареї типу LP LiFePO4 Battery НVM складає 534,794 тис.грн, то загальна вартість проектованої УЗЕ становитиме – 8556,704 тис.грн.

Тож, для зменшення кількості акумуляторів у запропонованій конфігурації УЗЕ варто розглянути технологію Vehicle-to-Grid (V2G) для зарядних станцій електромобілів у паркінгу будинку.

Згідно Закону України «Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів» [21] станція зарядки

електромобілів (електрозарядна станція) - пристрій (пересувний або стаціонарний), призначений для заряджання систем акумуляування електричної енергії (аккумуляторних батарей) електромобілів, електромобілів вантажних, електромобілів легкових, автомобілів плагін-гібридних, електробусів та інших електричних колісних транспортних засобів.

### **Принцип роботи зарядного пункту електромобілів:**

Процес зарядної сесії ініціюється після успішної автентифікації користувача. Яка проводиться з використанням безконтактних карток або комунікації ближнього поля, зареєстрованих у системі оператора зарядної інфраструктури, або через мобільний додаток, що використовує Bluetooth, Wi-Fi або QR-код. Також застосовується стандарт Міжнародної організації зі стандартизації 15118 (Plug & Charge), за якого транспортний засіб автоматично ідентифікує себе та платіжний контракт безпосередньо через зарядний кабель.

Після авторизації зарядний пункт та бортовий зарядний пристрій електромобіля встановлюють зв'язок. Ключову роль відіграє сигнал "Control Pilot" (Контрольний пілот) згідно зі стандартом Міжнародної електротехнічної комісії 61851, який є сигналом з широтно-імпульсною модуляцією. Через нього зарядний пункт інформує електромобіль про максимальну доступну потужність, а електромобіль у відповідь сигналізує про свій стан (готовність, вимога вентиляції, помилка). Одночасно сигнал "Proximity Pilot" (Пілот наближення) інформує зарядний пункт про наявність підключеного кабелю та його номінальну пропускну здатність, що визначається опором резистора в конекторі. Це запобігає передачі струму, що перевищує можливості кабелю. Лише після того, як сигнали "Control Pilot" та "Proximity Pilot" підтверджують коректне та безпечне підключення, зарядний пункт замикає внутрішній силовий контактор, подаючи напругу на електромобіль. Схему типову зарядного пункту наведено на рис. 3.б.

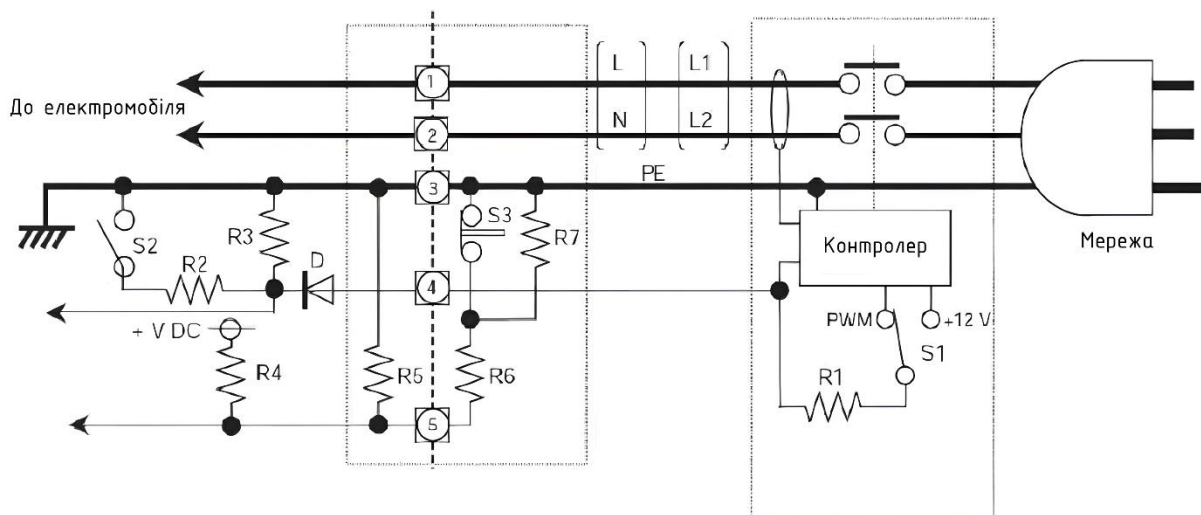


Рисунок 3.6 - Схема типова зарядного пункту електромобілів з функцією керування зарядом

Для тарифікації кожна зарядна точка або зарядний пункт оснащується приладом обліку. У багатьох юрисдикціях для комерційного біллінгу вимагаються лічильники, сертифіковані за Директивою про вимірювальні прилади, що гарантують точність вимірювань. Цей лічильник може бути вбудованим у корпус зарядного пункту або зовнішнім, розміщеним у головному розподільчому щиті. Дані обліку, зокрема спожиті кіловат-години, передаються в режимі реального часу або періодично на центральну серверну платформу для моніторингу та формування рахунків.

Підключення до мережі Оператора системи розподілу передбачає визначену точку приєднання, що вимагає отримання технічних умов. На межі балансової належності встановлюється комерційний вузол обліку, узгоджений з Оператором системи розподілу.

Для інтеграції в мережі операторів більшість комерційних зарядних пунктів використовують Відкритий протокол зарядної точки (Open Charge Point Protocol), найчастіше версії 1.6J або 2.0.1. Цей протокол забезпечує зв'язок між зарядним пунктом та центральною системою управління для виконання таких функцій, як авторизація, білінг, дистанційна діагностика, бездротове оновлення прошивки та керування сесіями.

Зарядні пристрої класифікуються за режимами заряджання (Mode) згідно зі стандартом Міжнародної електротехнічної комісії 61851-1 та за типами конекторів.

Щодо режимів, Mode 1 (заряджання від побутової розетки без захисту) заборонений у багатьох країнах. Mode 2 передбачає заряджання від побутової розетки через кабель з вбудованим у кабель пристроєм контролю та захисту. Стандартом для комерційних та приватних зарядних пунктів є Mode 3 (заряджання змінним струмом), що використовує спеціалізовану станцію (зарядний пункт), яка забезпечує комунікацію ("Control Pilot"/"Proximity Pilot") та повний набір електричних захистів, зазвичай з потужністю від 3.7 кВт до 22 кВт (іноді до 43 кВт). Mode 4 (заряджання постійним струмом) – це швидкісна зарядка, де випрямляч знаходиться у самій станції. Зарядний пункт безпосередньо керує процесом заряду батареї електромобіля через цифрову шину (наприклад, Controller Area Network) або через комунікацію по силовій лінії (Power Line Communication) з потужністю від 50 кВт до 350 кВт і вище.

Стандартизація зарядних пристроїв для електричних транспортних засобів є однією з основних вимог для забезпечення сумісності між інфраструктурою та електричними автомобілями різних виробників. Існує декілька домінуючих стандартів [22], які відрізняються за географічним поширенням, типом електричного струму, максимальними показниками потужності, фізичною конфігурацією роз'ємів та протоколами керування процесом заряду. Ці стандарти охоплюють як заряджання змінним струмом, яке зазвичай відбувається з меншою потужністю і триває довше, так і заряджання постійним струмом, що забезпечує значно вищу потужність та суттєво скорочує час, необхідний для поповнення ємності тягової акумуляторної батареї.

Стандарт «Тип 1» (рис. 3.7) формально специфікований у стандарті SAE J1772. Він є домінуючим для заряджання змінним струмом у Північній Америці, а також зустрічається в Японії та деяких інших азійських країнах. Конектор Типу 1 має круглу форму та п'ять контактних штирів. Ці штирі призначені для передачі однофазного змінного струму: два силові контакти (Лінія 1 та Лінія 2/Нейтраль), один контакт захисного, а також два сигнальні контакти.

Один з яких слугує для комунікації між зарядним пристроєм (станцією) та бортовим зарядним пристроєм електричного автомобіля, передаючи інформацію про максимальний допустимий струм та стан процесу заряджання, а інший використовується для детектування фізичного підключення роз'єму до порту автомобіля та інформування системи про готовність до блокування конектора перед початком передачі енергії. Стандарт Тип 1 зазвичай підтримує потужність заряджання рівня 1 (Level 1) при напрузі 120 вольт, що забезпечує потужність приблизно до 1.9 кіловата, та рівня 2 (Level 2) при напрузі 240 вольт, що дозволяє передавати потужність до 7.4 кіловата, а в деяких комплектаціях до 19.2 кіловата.

Стандарт «Тип 2» (рис. 3.7) розповсюджений у Європі та багатьох інших регіонах світу, включаючи Австралію та частково Китай, заряджання здійснюється змінним струмом та специфікований у стандарті ІЕС 62196-2. Тип 2 також відомий як "Mennekes". Цей конектор має сім контактних штирів і фізично відрізняється від Типу 1, зокрема, більш пласкою верхньою частиною. Ключовою перевагою стандарту Тип 2 є його здатність підтримувати не лише однофазний змінний струм, але й трифазний змінний струм. Контакти включають три фазні лінії (L1, L2, L3), контакт нейтралі (Neutral), контакт захисного заземлення, а також сигнальні контакти аналогічні за функціями до Типу 1. Завдяки підтримці трьох фаз, Тип 2 може передавати значно вищу потужність при заряджанні змінним струмом. При напрузі 230 В (однофазна) він зазвичай підтримує до 7,4 кВт, але при напрузі 400 В(трифазна) потужність може сягати 22 кВт або навіть 43 кВт (хоча остання опція рідко реалізується на бортових зарядних пристроях сучасних електричних автомобілів). Конектор Тип 2 також має механізм блокування, що активується автомобілем для запобігання від'єднанню під час сесії заряджання.

Стандарт «CCS» (рис. 3.7) (Combined Charging System) розроблено для швидкісного заряджання постійним струмом. Цей стандарт є еволюцією стандартів Тип 1 та Тип 2, що має на меті об'єднати можливість повільного заряджання змінним струмом та швидкісного заряджання постійним струмом в одному зарядному порту на автомобілі. Існує два варіанти CCS: CCS Combo 1, який базується на роз'ємі Тип 1 і поширений у Північній Америці та Кореї, та CCS

Combo 2, який базується на роз'ємі Тип 2 і є стандартом у Європі. В обох випадках до стандартного роз'єму (Тип 1 або Тип 2) додаються два великі силові контакти, призначені виключно для передачі постійного струму високої напруги. Сигнальні контакти з оригінальних конекторів змінного струму використовуються і для сесій заряджання постійним струмом. Однак ключовою відмінністю CCS є використання технології зв'язку по силовій лінії, яка передає цифрові дані керування процесом заряджання через сигнальний контакт. Це дозволяє здійснювати складну комунікацію між станцією та автомобілем, включаючи автентифікацію, узгодження параметрів заряджання (напруга, струм) та моніторинг стану. Системи CCS підтримують дуже високу потужність, що починається від 50 кіловат і на сучасних ультра-швидкісних станціях досягає 350 кіловат або навіть більше, при напрузі до 1000 вольт.

Стандарт «**CHAdeMO**» (рис. 3.7), назва якого є аббревіатурою від "CHArge de MOve", що перекладається як "зарядка для руху", є стандартом швидкісного заряджання постійним струмом, розробленим в Японії консорціумом, до якого входять Токуо Electric Power Company та провідні японські автовиробники. Цей стандарт історично був одним із перших на ринку швидкісного заряджання і отримав значне поширення, особливо на автомобілях таких брендів, як Nissan та Mitsubishi. Конектор CHAdeMO є великим, круглим і має 10 контактних штирів. Він є повністю окремим портом від порту для заряджання змінним струмом (який зазвичай є Типом 1 або Типом 2). На відміну від CCS, який використовує зв'язок по силовій лінії, CHAdeMO використовує окремі контакти для цифрової комунікації за протоколом CAN (Controller Area Network). Це надійний промисловий протокол, що дозволяє обмінюватися даними між станцією та автомобілем. Важливою та унікальною особливістю стандарту CHAdeMO є його підтримка двоспрямованої передачі енергії, відомої як Vehicle-to-Grid (V2G) або Vehicle-to-Home (V2H), що дозволяє електричному автомобілю не лише споживати, але й віддавати енергію назад у мережу або жити будівлю. Потужність заряджання CHAdeMO спочатку була обмежена 50-62.5 кіловатами, але новіші ревізії стандарту (CHAdeMO 2.0 та

3.0, розроблений спільно з Китаєм під назвою ChaoJi) підтримують потужності до 400 кіловат.

Стандарт «**GB/T**» (рис. 3.7) (Guobiao / Tuijian, що означає "Національний Стандарт / Рекомендований") є сукупністю національних стандартів, обов'язкових для використання в Китайській Народній Республіці. Для електричних автомобілів існує два окремі стандарти GB/T: один для заряджання змінним струмом (GB/T 20234.2) та інший для заряджання постійним струмом (GB/T 20234.3). Конектор для змінного струму GB/T візуально схожий на європейський Тип 2, але має зворотну конфігурацію (штири на кабелі, гнізда на автомобілі) та відмінні сигнальні протоколи, що робить їх фізично та електрично несумісними без спеціальних адаптерів. Конектор для постійного струму GB/T є унікальним, великим роз'ємом, який, подібно до CHAdeMO, використовує комунікацію за протоколом CAN для керування процесом заряджання. Цей стандарт підтримує високі потужності, необхідні для швидкого заряджання, і наразі є домінуючим на найбільшому у світі ринку електричних автомобілів. Ведуться роботи по гармонізації китайського стандарту постійного струму з японським CHAdeMO у новому стандарті ChaoJi, що має на меті створення єдиного протоколу для Азії з підтримкою потужності понад 500 кіловат.

Стандарт «**Tesla Supercharger**» (рис. 3.7) є системою заряджання, розробленою компанією Tesla Incorporated, виключно для її власних електричних автомобілів. Ця система складається з глобальної мережі зарядних станцій, що забезпечують високопотужне заряджання постійним струмом. Історично Tesla використовувала два різні типи конекторів. У Північній Америці компанія розробила власний унікальний, компактний роз'єм, який здатний передавати як змінний струм (для домашнього заряджання або заряджання від публічних станцій рівня 2), так і постійний струм (на станціях Supercharger) через ті самі силові контакти. Нещодавно Tesla відкрила специфікації цього роз'єму і перейменувала його на "North American Charging Standard" (NACS), заохочуючи інших виробників до його впровадження. У Європі, Китаї та на більшості інших ринків, Tesla адаптувала свої автомобілі для використання роз'єму Тип 2. Для заряджання

змінним струмом використовується стандартний порт Тип 2, а на станціях Supercharger використовується модифікований кабель з роз'ємом Тип 2, який здатний передавати постійний струм через комбінацію штирів, призначених у стандарті IEC 62196-2 для змінного струму. Новітні європейські моделі Tesla перейшли на використання стандарту CCS Combo 2 для сумісності з інфраструктурою інших операторів. Системи Supercharger відомі своєю високою потужністю (до 250 кіловат на станціях версії V3) та безшовною інтеграцією: процес заряджання та автентифікації відбувається автоматично завдяки унікальному протоколу комунікації між автомобілем та зарядною станцією.



Рисунок 3.7 – Стандарти зарядних пристроїв електромобілів та їх розповсюдження відповідно до регіону

Вимоги щодо встановлення зарядних пунктів у підземних паркінгах:

Встановлення зарядних пунктів електромобілів у підземних паркінгах регулюється будівельними нормами (Державними будівельними нормами В.2.3-15:2007, Державними будівельними нормами В.2.5-56) та Правилами улаштування електроустановок.

З електротехнічної точки зору, силові кабелі до зарядних пунктів повинні мати перетин, розрахований на тривале максимальне навантаження, та мати виконання, що не розповсюджує горіння (з низьким димо- та газовиділенням або

безгалогенне). Кабельні траси прокладаються у металевих лотках або трубах для механічного захисту. Кожен зарядний пункт повинен бути захищений окремим автоматичним вимикачем та пристроєм захисного відключення типу А або В (залежно від типу зарядного пункту) з номінальним струмом витоку не вище 30 мА. Рекомендується встановлення окремого розподільчого щита для групи зарядних пунктів у легкодоступному місці.

Протипожежні вимоги є критичними, оскільки підземні паркінги є зоною підвищеного ризику, зокрема через можливість термічного розгону літій-іонних батарей. Зарядні пункти не повинні розміщуватися на шляхах евакуації або блокувати доступ до пожежного обладнання. Паркінг має бути обладнаний автоматичною системою пожежної сигналізації та автоматичною системою пожежогасіння (зазвичай спринклерною), розрахованою на додаткове навантаження. Обов'язковою є наявність кнопок аварійного відключення живлення (Emergency Power Off), які централізовано знеструмлюють усі зарядні пункти та розміщуються на виходах і у диспетчерській.

Вимоги до вентиляції включають забезпечення відведення додаткового тепла, що виділяється під час заряджання. Система вентиляції також повинна мати режим примусового димовидалення, що активується при пожежі. Залежно від норм, може вимагатися моніторинг концентрації водню як запобіжний захід.

Структурні вимоги передбачають захист зарядних пунктів, особливо тих, що стоять на підлозі, від механічних пошкоджень транспортними засобами. Це досягається встановленням захисних стовпчиків або колесовідбійників. Місця для зарядки повинні бути чітко позначені та добре освітлені.

### **Технологія V2G:**

Технологія V2G, або двостороннє живлення електромобілів, являє собою інноваційний підхід до використання акумуляторних батарей електромобілів. Вона перетворює електромобілі з пасивних споживачів електричної енергії на активні елементи енергетичної мережі, здатні як накопичувати енергію, так і віддавати її у систему. Оскільки електромобілі набирають популярності технологія V2G є

перспективною з точки зору підвищення гнучкості та стійкості мікро-мережі будинку.

Сутність V2G полягає у використанні сукупного потенціалу накопичення енергії в батареях підключених електромобілів як розподіленого сховища енергії. Це дозволяє здійснювати двосторонній обмін енергією між електромобілями та електричною мережею. За умов достатнього живлення від мережі, фотоелектричної станції та УЗЕ електромобілі заряджаються. У періоди дефіциту електроенергії, система V2G дозволяє мережі використовувати частину накопиченої в батареях електромобілів енергії, забезпечуючи потреби споживачів.

#### Принцип Роботи

Ключовим апаратним елементом, що забезпечує функціональність V2G, є двоспрямована зарядна станція (V2G Charger).

Двоспрямований Інвертор: V2G станція оснащена двоспрямованим перетворювачем постійного струму (DC) батареї електромобіля у змінний струм (AC) мережі, і навпаки.

Режим Заряджання (Grid-to-Vehicle, G2V): Змінний струм мережі (AC) перетворюється на постійний струм (DC) для заряджання акумулятора електромобіля.

Режим Розряджання (Vehicle-to-Grid, V2G): Постійний струм (DC) акумулятора електромобіля перетворюється на змінний струм (AC) з тією ж частотою та напругою, що і в мережі, і подається назад в енергосистему.

Протоколи Зв'язку та Керування: Реалізація V2G вимагає вдосконаленого зв'язку між електромобілем та зарядною станцією. Використовуються стандарти, такі як ISO 15118, які забезпечують безпечний та ефективний обмін даними про наявність енергії, потреби мережі, ціни на електроенергію та ліміти розрядки акумулятора.

Інтелектуальне Управління: Центральна система або агрегатор оптимізує процеси заряджання/розряджання, враховуючи:

Потреби Водія: Гарантований мінімальний рівень заряду (State of Charge, SoC) для наступної поїздки.

Ціни на Енергію: Розрядження під час високих цін (пік) та зарядження під час низьких.

Таким чином, V2G-станція виступає як інтелектуальний інтерфейс, який узгоджує технічні параметри енергії та забезпечує комунікацію для фінансово-оптимізованого та технічно-безпечного обміну потужністю.

### **Стандартизація двосторонніх зарядних пунктів електромобілів:**

На фундаментальному рівні стандартизація стосується фізичного конектора та способу передачі енергії. Історично, японський стандарт зарядження постійним струмом, відомий як CHAdeMO (аббревіатура від "Charge de Move"), першим інтегрував та стандартизував функціональність "Автомобіль-до-Мережі". Цей стандарт використовує специфічну шину комунікації для управління потоком енергії у двох напрямках, що дозволило його раннє впровадження переважно в Японії. Транспортні засоби, сумісні з CHAdeMO, та відповідне двостороннє обладнання для живлення електромобілів можуть передавати електроенергію постійного струму з батареї автомобіля назад до зарядної станції, яка потім перетворює її у змінний струм для потреб мережі або будівлі.

На противагу цьому, комбінована система зарядження (Combined Charging System), яка домінує в Європі та Північній Америці, лише відносно нещодавно почала впроваджувати стандартизовану двосторонню функціональність. На відміну від ранніх версій CHAdeMO, комбінована система зарядження покладається на більш складні протоколи цифрового зв'язку по лінії живлення (Power Line Communication) для управління процесом зарядження та розрядження.

Ключовим елементом стандартизації двостороннього зв'язку для комбінованої системи зарядження є стандарт Міжнародної Організації зі Стандартизації 15118 (International Organization for Standardization 15118). Цей стандарт визначає протокол зв'язку високого рівня між електромобілем та зарядною станцією. Новітні редакції цього стандарту, зокрема частина Міжнародної Організації зі Стандартизації 15118-20, формально визначають механізми, необхідні для двоспрямованого передавання потужності (Bidirectional Power Transfer). Він описує, як транспортний засіб може повідомляти про свою

готовність віддавати енергію, свій стан заряду, а також отримувати команди від зарядної станції щодо необхідної потужності та напрямку її потоку. Цей стандарт також включає важливі функції, такі як автоматична аутентифікація ("Plug and Charge"), що спрощує взаємодію користувача.

Поряд із протоколами зв'язку "автомобіль-станція", необхідні стандарти для управління взаємодією самої зарядної станції з енергосистемою. Відкритий Протокол Зарядної Точки (Open Charge Point Protocol), особливо у версіях 2.0 та новіших, вводить розширені можливості "розумного заряджання". Ці можливості дозволяють операторам мережі або агрегаторам дистанційно керувати процесами заряджання, включаючи запит на віддачу енергії від підключених транспортних засобів у періоди пікового попиту.

Крім того, розробляються стандарти, що стосуються інтеграції в ширшу енергосистему. Наприклад, стандарт Інституту Інженерів з Електротехніки та Електроніки 2030.5 (Institute of Electrical and Electronics Engineers 2030.5) забезпечує протокол прикладного рівня для взаємодії розподілених енергетичних ресурсів, якими фактично стають електромобілі при підключенні до мережі, з системами управління операторів мережі.

Нарешті, стандарти безпеки та сертифікації, такі як ті, що розроблені Спільнотою Автомобільних Інженерів (Society of Automotive Engineers), наприклад, документ Спільноти Автомобільних Інженерів J3072 щодо взаємодії транспортних засобів з мережею, та стандарти Міжнародної Електротехнічної Комісії (International Electrotechnical Commission), серії 61851 та 62196, повинні бути оновлені для врахування ризиків та вимог, пов'язаних зі зворотним потоком енергії. Це включає забезпечення "anti-islanding" (запобігання утворенню ізольованих ділянок мережі під напругою) для захисту ремонтних бригад під час відключень електроенергії. Таким чином, екосистема стандартів для двосторонніх зарядних пунктів є сукупністю норм, що регулюють фізичні, комунікаційні та мережеві аспекти для забезпечення безпечної, надійної та інтероперабельної роботи.

## **Світовий досвід з застосування технології V2G:**

Впровадження технології V2G вимагає не лише наявності технічно сумісних електромобілів та зарядних пристроїв, але й відповідної регуляторно-правової бази та ринкових механізмів, які дозволяють електромобілям брати участь в енергетичних ринках. Хоча пілотні проекти V2G були запуснені у багатьох регіонах, комерційне розгортання та інтеграція в національні мережі є поступовим процесом.

Станом на останні дані та активні пілотні проекти, що переходять у комерційну фазу, країни-лідери у впровадженні V2G включають:

**Нідерланди:** Країна є одним зі світових лідерів з найбільшою кількістю публічних двоспрямованих зарядних станцій.

**Данія:** Активні дослідження та комерційні проекти, спрямовані на використання V2G для інтеграції вітрової енергії.

**Велика Британія:** Активне державне фінансування пілотних проектів, впровадження регуляторних стандартів (наприклад, G99) для підключення V2G до національної мережі.

**Японія:** Піонери технології V2G, особливо після землетрусу 2011 року (використання V2H/V2G для підвищення стійкості). Nissan є ключовим гравцем.

**США:** Ініціативи, здебільшого на рівні окремих штатів (наприклад, Каліфорнія) та комунальних служб, зосереджені на наданні допоміжних послуг мережі.

**Швеція:** Активні пілотні проекти, зокрема за участю Volkswagen, для тестування V2G-послуг у домашніх господарствах та компаніях.

**Німеччина:** Фокус на дослідженні та впровадженні V2G для стабілізації мережі з високою часткою сонячної та вітрової енергії.

**Франція:** Дослідження та пілотні проекти, спрямовані на інтеграцію електромобілів в енергетичну інфраструктуру та оптимізацію споживання.

**Південна Корея:** Розвиток регуляторної бази та технологій для участі електромобілів в ринках допоміжних послуг.

Для багатоповерхового будинку, що розглядається приймемо 5 зарядних станцій електромобілів DCLO30A-V2G потужністю 30 кВт з технологією V2G від компанії Hongjiali (рис.3.8), які розраховані на 10 парко-місць. Основні технічні характеристики зарядної станції наведені в табл. 3.7.



Рисунок 3.8 - Hongjiali DCLO30A-V2G Bi-Directional EV Chargers

Таблиця 3.7 – Технічні характеристики Hongjiali DCLO30A-V2G

Номінальна потужність		30кВт	
Зарядне обладнання	Режим заряджання	Діапазон вхідної напруги	260..485 В
		Частота вхідної напруги	45..65 Гц
		Діапазон вихідної напруги	150..750 В
		Максимальний вихідний струм	100 А
	Режим віддачі	Діапазон вхідної напруги постійного струму	300..750 В
		Максимальний вхідний постійний струм	100 А
		Діапазон вихідної напруги змінного струму	260..485 В
		Вихідна частота змінного струму	45..65 Гц
Точність вимірювання		1,0	

Продовження таблиці 3.7

Дизайн функцій	Режим заряджання	Автоматичне заряджання; Фіксована потужність; Фіксований ступінь заряджання; Фіксований час.
	Спосіб оплати	Оплата кредитною картою; Оплата скан-кодом.
	Networking	Ethernet 3G/4G
	Безпека	Виявлення температури зарядного пістолета, захист від перенапруги, захист від низької напруги, захист від перевантаження, захист від короткого замикання, захист від заземлення, захист від перегріву, захист від низької температури, захист від контролю ізоляції, захист від зворотної полярності, блискавкозахист, захист від аварійної зупинки, захист від витоку

Оскільки вибрані зарядні станції не мають власного вбудованого накопичувального пристрою, а є лише засобом заряду/розряду електромобілів, то споживання електричної енергії яке вони можуть забезпечити буде ґрунтуватись на основі ємності підключених електромобілів. Згідно даних «Опендатабот» [23] найбільше було ввезено електромобілів від виробників: Tesla, Volkswagen, Nissan статистику за період з 2022 по 2024 рік наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8 – Ввезені електромобілі 2022..2024 роки

Виробник	2022р.	2023р.	2024р.	Всього
Volkswagen	8915	3194	1937	14046
Tesla	7622	4742	1570	13934
Nissan	5656	3034	2154	10844

Найпопулярнішими моделями цих виробників в Україні є Tesla Model 3 (ємністю 60 кВт·год), Nissan Leaf (ємністю 40 кВт·год) та Volkswagen ID.4 (ємністю 82 кВт·год). Дані моделі мають роз'єм заряджання, що відповідає стандарту «Тип 2», а запропонована зарядна станція – GB/T, тож для узгодження стандартів необхідний адаптер type 2 - GB/T.

Для подальшого розрахунку визначимо середню ємність одного електромобіля в Україні:

$$C_{ем} = \frac{60 \cdot 13934 + 40 \cdot 10844 + 82 \cdot 14046}{13934 + 10844 + 14046} = 62,37, \text{ кВт} \cdot \text{год},$$

Оскільки в паркінгу розміщено 10 парко-місць з технологією V2G, маємо:

$$C_{\Sigma ем} = C_{ем} n_{п.м.} = 62,37 \cdot 10 = 623,7, \text{ кВт} \cdot \text{год}, \quad (3.10)$$

Розрахуємо кількість акумуляторних батарей яку замінять запропоновані зарядні станції:

$$n_{акум.з} = \frac{C_{\Sigma ем}}{C_{еф}} = \frac{623,7}{62,26} = 10,017 \approx 10, \text{ шт.} \quad (3.11)$$

Тобто, при реалізації 10-ти парко-місць з технологією V2G конфігурація проєктованої УЗЕ зменшиться з 16-ти акумуляторних батарей до 6-ти акумуляторних батарей.

Орієнтовна ціна зарядної станції з технологією V2G потужністю 30 кВт складає 200 тис.грн. Розрахуємо вартість системи УЗЕ при впровадженні V2G:

$$\begin{aligned} E &= n_{акум} \Pi_{акум} - n_{акум.з} \Pi_{акум} + n_{з.с.} \Pi_{з.с.} = \\ &= 16 \cdot 534,794 - 10 \cdot 534,794 + 5 \cdot 200 = 4208,764, \text{ тис. грн}, \end{aligned} \quad (3.12)$$

У відсотковому значенні економія складе:

$$\Delta E = \frac{8556,704 - 4208,764}{8556,704} \cdot 100 = 50,81 \%$$

### 3.5 Когенераційна установка

У періоди тривалих вимкнень, коли обсягів генерації та накопиченої електричної енергії за допомогою УЗЕ та електромобілів не вистачає необхідне резервне джерело електричної енергії, яке не залежить від зовнішніх факторів, таких як погодні умови та вимкнення живлення від зовнішньої електромережі понад доби. Таким джерелом пропонується когенераційна установка.

Основна відмінність та перевага когенераційної установки порівняно зі звичайним дизельним генератором полягає у принципі її роботи та кінцевому

результаті. Дизельний генератор перетворює хімічну енергію палива виключно на електричну енергію, при цьому значна частина енергії, до 50-60 %, незворотно втрачається у вигляді скидного тепла через систему охолодження та вихлопні гази.

Когенераційна установка, навпаки, призначена для комбінованого виробництва двох видів енергії: електричної та теплової. Вона так само виробляє електрику, але одночасно вловлює та утилізує вторинне тепло, що виділяється при роботі двигуна. Це утилізоване тепло спрямовується на корисні потреби, такі як опалення будівель, гаряче водопостачання або технологічні процеси на виробництві.

Завдяки такій утилізації тепла загальний коефіцієнт використання енергії первинного палива в когенераційній системі досягає 85-90 % і вище, тоді як у дизельного генератора цей показник, що враховує лише виробництво електрики, зазвичай не перевищує 35-40 %. Таким чином, когенерація забезпечує значно вищу загальну енергоефективність та раціональніше використання палива на ту саму кількість витраченого дизеля чи газу, продукуючи одночасно два корисних енергетичних продукти.

Оскільки основною метою дослідження, що проводиться є забезпечення споживачів критичної групи, то потужність яку когенераційна установки повинна забезпечувати це розрахункова потужність будинку у автономному режимі при оголошенні тривоги ( $P_p = 156,584$  кВт).

Скористаємось модельним рядом когенераційних установок Німецької компанії Viessman, що вже реалізовувала систему забезпечення житлових споруд електричною та тепловою енергією. Установка Vitobloc 200 NG 260 (рис. 3.9) потужністю 263 кВт задовільняє необхідній вимозі у забезпеченні споживачів критичного навантаження. Технічні характеристики наведені в табл. 3.9.



Рисунок 3.9 – Когенераційна установка Vitobloc 200 NG 260

Таблиця 3.9 – Технічні характеристики когенераційної установки Vitobloc 200 NG 260

Електрична потужність, кВт	263
Теплова потужність, кВт	416
Використання палива (100 % навантаження), кВт	721
Використання палива (75 % навантаження), кВт	573
Використання палива (50 % навантаження), кВт	431
Електрична ефективність, %	36,5
Теплова ефективність, %	57,7
Загальна ефективність, %	94,2
Індекс потужності	0,618
Коефіцієнт первинної потужності FPE	0,176
Економія первинної енергії PEE, %	29,08
Температура потоку макс. °C	92
Температура зворотного потоку макс. °C	75
Паливо	природний газ

Для підключення Vitobloc 200 NG 260 до електричної мікромережі багатоповерхового житлового будинку скористаємось схемою з функцією автономного режиму, що надана виробником – рис. 3.10.

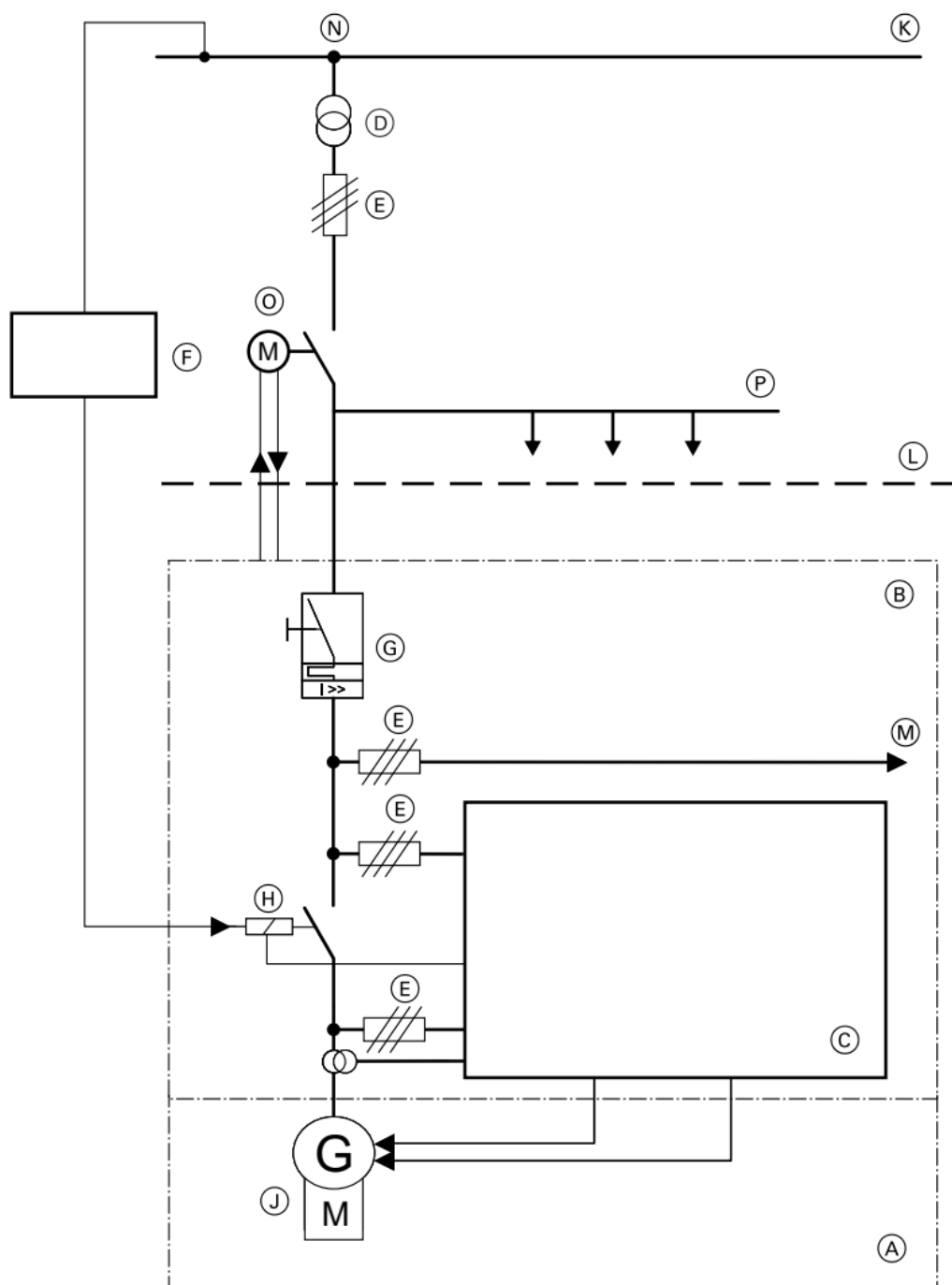


Рисунок 3.10 – Схема підключення когенераційної установки Vitobloc 200 NG 260 до мережі 0,4 кВ

На рисунку 3.10: А – когенераційна установка; В – шафа керування; С – пристрій керування; D – трансформатор; E – запобіжник 3-ф; F – пристрій захисту; G – ручний перемикач; H – контактор генератора; J – генератор; K – мережа 0,4 кВ; L – межа постачання Viessman; M – внутрішні допоміжні приводи; N – точка підключення до мережі; O – секційний вимикач мережі; P – автономна шина.

### 3.6 Побудова системи

Основним джерелом електропостачання будинку є зовнішні мережі ОСР. Для підвищення стійкості будинку пропонується впровадження: дахової ФЕС та локальної УЗЕ з використанням електромобілів у якості мобільних накопичувальних пристроїв. Під час тривалих вимкнень, а також в разі погіршення погодних умов, коли обсягів генерації та акумуляованої електроенергії не вистачає, досліджується застосування когенераційної установки Vitobloc 200 NG 260, потужністю 263 кВт [24] для гарантованого енергозабезпечення критичного навантаження будинку.

Ключовим елементом, який об'єднує всі компоненти мікросистеми, є мультипортовий конвертор (рис. 3.11) [25], [26] – це статичний силовий електронний перетворювальний пристрій, що призначений для гнучкого управління потоками енергії в сучасних низьковольтних розподільчих мережах. Його ключова архітектурна особливість полягає в наявності трьох або більше електричних портів. Ця конструкція дозволяє одночасно підключати та керувати різними типами джерел енергії та навантажень. Пристрій має порти змінного струму, які забезпечують двоспрямоване з'єднання із загальною електромережею, а також живлення локальних споживачів змінного струму в межах житлового комплексу. Одночасно, він оснащений портами постійного струму, які призначені для прямої інтеграції джерел мікрогенерації на постійному струмі, таких як фотоелектричні масиви, та систем накопичення енергії, наприклад, акумуляторних батарей.

Внутрішня топологія мультипортового конвертора може суттєво відрізнятися, включаючи конфігурації з гальванічною розв'язкою або без неї. Ізольовані топології, які часто використовують високочастотні трансформатори, забезпечують підвищений рівень безпеки та гнучкості у поєднанні портів з різними рівнями напруги, що є критичним для інтеграції чутливого обладнання. Неізольовані топології можуть пропонувати вищу ефективність та компактність для певних застосувань.

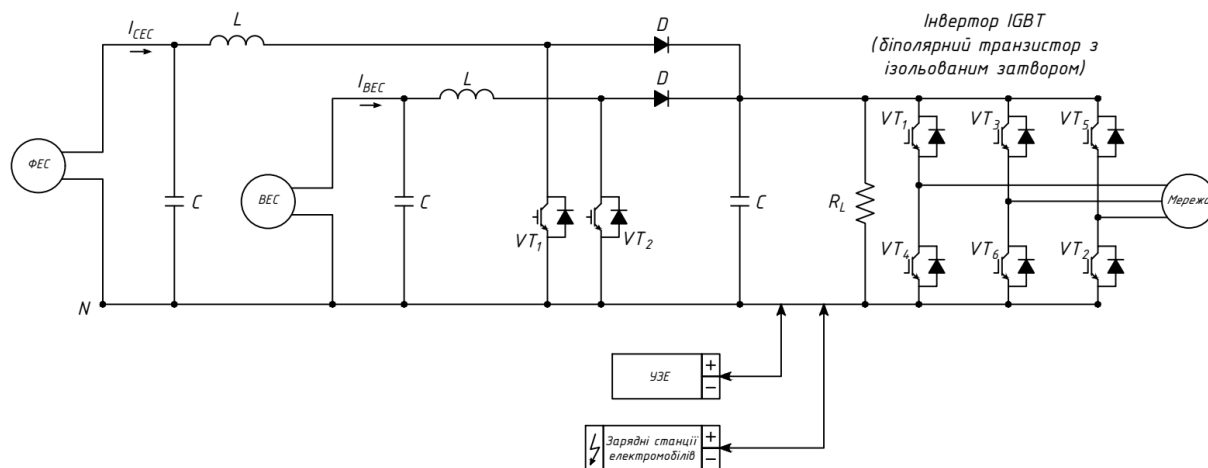


Рисунок 3.11 – Схема мультипортного конвертора.

Авторське право [27]

Такий пристрій забезпечить можливість оперативного та безпечного реконфігурування системи внутрішнього електропостачання житлового комплексу під час агресивних зовнішніх впливів за відсутності спеціалізованого персоналу.

### Безпека під час Монтажу

Перед початком будь-яких монтажних робіт необхідно повністю знеструмити всі джерела живлення, що підводяться до пристрою, включаючи порт змінного струму від мережі, порти постійного струму від генераторних установок та портів систем накопичення енергії.

Місце монтажу повинно відповідати технічним вимогам: бути сухим, захищеним від прямого сонячного випромінювання та опадів, мати достатню вентиляцію для відведення тепла. Необхідно забезпечити вільний простір навколо корпусу пристрою для обслуговування та циркуляції повітря.

Обов'язковим є належне виконання захисного заземлення. Клема захисного заземлення корпусу конвертора повинна бути надійно підключена до головної шини заземлення будівлі провідником відповідного перерізу згідно з чинними електричними нормами та правилами. Усі кабельні з'єднання повинні виконуватися з дотриманням правильної полярності для кіл постійного струму та правильного чергування фаз для кіл змінного струму. Силкові з'єднання повинні бути затягнуті з рекомендованим виробником зусиллям (моментом затягування) для запобігання перегріву.

## **Безпека під час Експлуатації та Обслуговування**

Введення пристрою в експлуатацію (перший пуск) повинно проводитися кваліфікованим персоналом згідно з пусконаладжувальною процедурою виробника. Це включає перевірку правильності конфігурації програмного забезпечення та захисних налаштувань.

Під час нормальної експлуатації забороняється знімати захисні кожухи або панелі пристрою, оскільки це відкриває доступ до компонентів, що знаходяться під напругою. Слідкуйте за індикаторами стану та повідомленнями про помилки на панелі управління.

Перед виконанням будь-яких робіт з технічного обслуговування, включаючи чистку вентиляційних отворів, необхідно виконати повну процедуру знеструмлення, блокування та перевірки відсутності напруги, аналогічну процедурам монтажу. У разі виявлення несправності, виникнення диму або нехарактерного шуму, необхідно негайно знеструмити пристрій за допомогою зовнішніх засобів відключення та звернутися до сервісної служби. Забороняється самостійно модифікувати конструкцію конвертора.

### **3.7 Схема однолінійна принципова**

Живлення багатоповерхового житлового будинку здійснюється за допомогою двох кабельних ліній напругою 0,4 кВ, що забезпечує II категорію надійності згідно вимог ПУЕ [1]. КЛ-0,4 кВ входять у головний ввідно розподільний пункт ГВРП-0,4 кВ, де улаштовано загальнобудинкову точку обліку, перемикач навантаження та розподільну шину для підключення ввідно розподільних пунктів ВРП-3.1, ВРП-3.2, ВРП-3.3, ВРП-3.4 та ВРП-П. Однолінійну схему до впровадження системи комбінованого електропостачання житлового комплексу наведено на рис. 3.12.

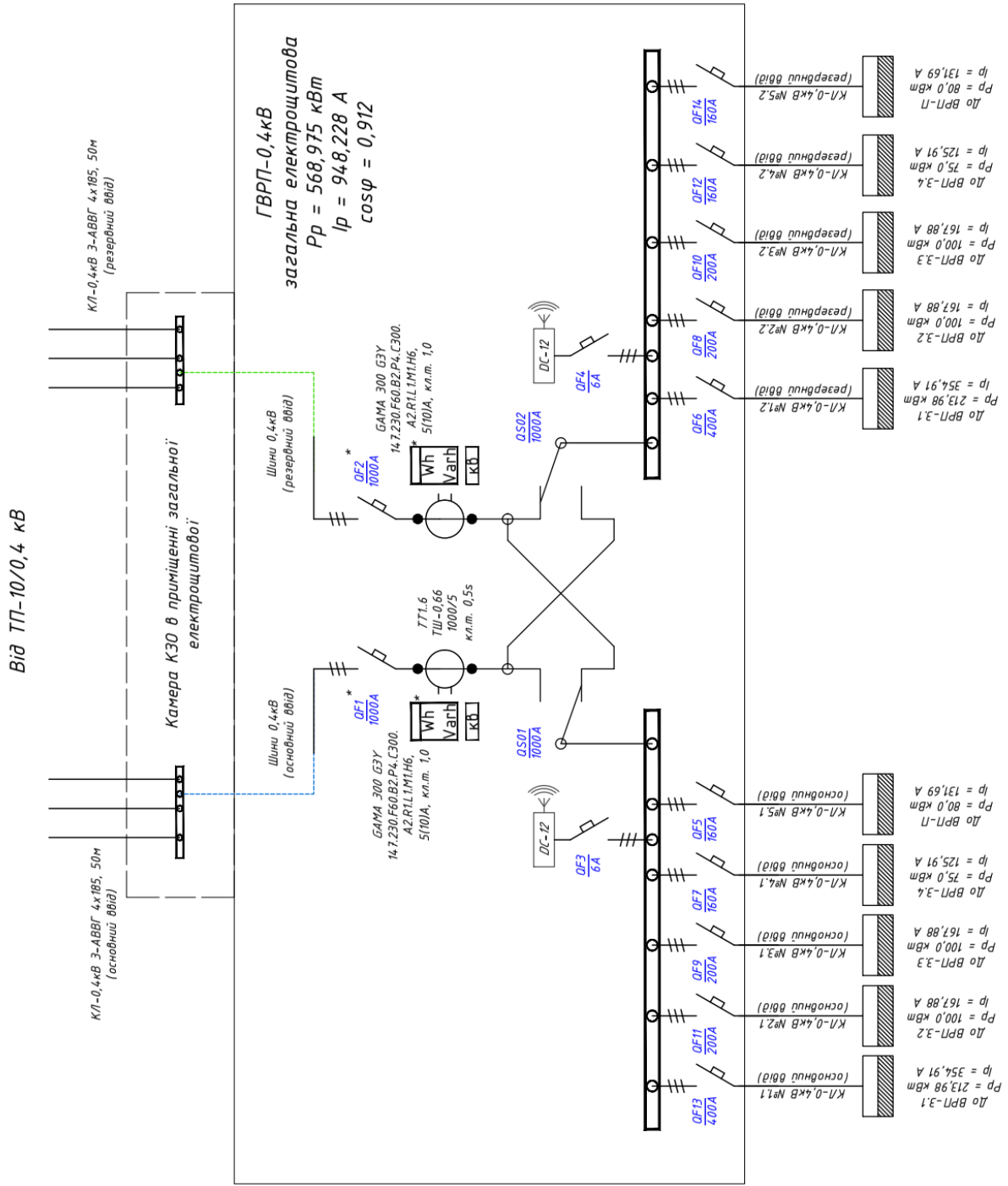


Рисунок 3.12 – Схема однолінійна принципова ГВП-0,4 кВ

Для впровадження розглянемо два варіанти впровадження системи комбінованого електропостачання житлового комплексу. У першому варіанті всі резервні джерела живлення (дахова фотоелектрична станція, УЗЕ, зарядні пункти електромобілів, когенераційна установка) під'єднуються до одного мультипортового конвертора, який розміщений замість перемикача навантаження у ГВРП-0,4 кВ.

Щити фотоелектричної станції (ЩФЕС-0,4 кВ), УЗЕ (ЩУЗЕ-0,4 кВ), зарядних пунктів електромобілів (ЩЗП-0,4 кВ) розташовані у загальній електрощитовій будинку. Інвертори фотоелектричної станції розташовані у щитах на даху будівлі, інвертори УЗЕ розташовані у приміщенні акумуляторних батарей. Когенераційна установка встановлена у окремому приміщенні поруч з приміщенням котельні / насосної будинку. Зарядні пункти електромобілів розташовані у підземному паркінгу у місцях паркування електрокарів. Схема однолінійна принципова ГВРП-0,4 кВ після впровадження системи комбінованого електропостачання з одним мультипортовим конвертором зображена на рис. 3.13.



У другому варіанті крім одного мультипортового портового конвертора № 1 розташованого у ГВРП-0,4 кВ пропонується додаткових трьох на дев'ятому поверху будинку. Також для функціональної зручності пропонується розділити ЩФЕС-0,4 кВ на три окремі щити ЩФЕС-1, ЩФЕС-2, ЩФЕС-3. Мультипортовий конвертор № 2 з'єднує перші два стояки, що живлять квартири 2..5 поверхів та ЩФЕС-1. Мультипортовий конвертор № 3 з'єднує інші два стояки, що живлять квартири 6..9 поверхів та ЩФЕС-2. Мультипортовий конвертор № 4 з'єднує стояки, що живлять загально будинкове навантаження (освітлення коридорів, технічних приміщень, ліфт...) та ЩФЕС-3. Мультипортові конвертори № 2, № 3 та №4 з'єднані між собою, що дає змогу перерозподіляти потоки потужності між ЩФЕС-0,4 кВ та навантаженнями будинку, також від мультипортового конвертора №4 передбачена окрема лінія до ЩУЗЕ-0,4 кВ для заряджання акумуляторних батарей у години надлишкової генерації. Схема однолінійна принципова ГВРП-0,4 кВ після впровадження системи комбінованого електропостачання з декількома мультипортовими конверторами зображена на рис. 3.14, ВРП-3.1 – на рис. 3.15.





У першому варіанті з впровадженням одного загального мультипортового конвертора керування джерелами живлення відбувається централізовано, що спрощує роботу з такою системою. Проте в такій системі будуть присутні втрати напруги через необхідність прокладання ліній від джерел живлення, що знаходяться на значній відстані від електрощитової.

У другому варіанті для ФЕС встановлюється у пріоритет живлення побутового та загально будинкового навантаження, що у нормальному режимі режимі роботи зменшить втрати в системі гарантованого електропостачання у порівнянні з першим варіантом. Також застосування декількох мультипортових конверторів забезпечує ліпшу гнучкість системи за рахунок збільшення кількості можливих конфігурацій мережі.

Тож, перший варіант вимагає менші капіталовкладення для реалізації, але у перспективі має більші втрати у мережі та меншу гнучкість у порівнянні з другим, реалізація якого потребує більших капіталовкладень.

### **Висновки до розділу 3**

У третьому розділі виконано інженерний розрахунок та моделювання ключових компонентів системи комбінованого електропостачання, обраної як оптимальний шлях для підвищення енергетичної стійкості житлового комплексу. На початку дослідження було підсумовано розрахунки споживання електроенергії для трьох визначених режимів функціонування будинку: нормального, автономного з пріоритетним навантаженням та автономного в умовах оголошення повітряної тривоги з критичним навантаженням, що дозволило визначити потреби в електроенергії для забезпечення життєдіяльності в трьох режимах роботи.

Далі проведено проектування дахової фотоелектричної станції, визначено тип фотоелектричних панелей та інвертора, а також змодельовано її добову генерацію за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення. На підставі порівняння графіків генерації та споживання було встановлено, що власної генерації недостатньо для повного покриття добових потреб у критичному режимі, що обґрунтувало необхідність застосування установки накопичення енергії.

З метою гарантованого цілодобового забезпечення електроенергією було розраховано необхідну конфігурацію установки зберігання енергії на базі літій-залізо-фосфатних акумуляторних батарей. Визначено, що для покриття добового споживання в найбільш критичному режимі необхідна ємність забезпечується шістнадцятьма батарейними блоками. Підтверджено, що така система накопичення здатна забезпечити живлення критичного навантаження будинку протягом більш ніж двадцяти чотирьох годин. Також, враховуючи високу капітальну вартість стаціонарних накопичувачів, було проведено аналіз можливості використання технології двоспрямованого живлення «V2G» для інтеграції батарей електромобілів, розміщених у підземному паркінгу, як мобільних резервних джерел.

На завершення, було окреслено архітектуру системи комбінованого електропостачання, в якій мультипортовий конвертор виступає ключовим інтелектуальним елементом, що об'єднує всі джерела енергії – фотоелектричну станцію, накопичувачі та когенераційну установку – для забезпечення оперативного та безпечного реконфігурування внутрішнього електропостачання будинку, та запропоновано дві структурні схеми його інтеграції.

## 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

### 4.1 Опис ідеї проєкту

Запропонований проєкт передбачає розробку та впровадження спеціалізованого апаратно-програмного комплексу, що реалізує технологію двоспрямованого обміну електричною енергією між високовольтною тяговою батареєю електричного транспортного засобу та локальною мережею споживача. Основна ідея розробки полягає у зміні розуміння використання електротранспорту, який розглядається не лише як засіб пересування, а як мобільний розподілений накопичувач енергії високої ємності, здатний забезпечувати енергетичну автономність об'єктів нерухомості під час аварійних або планових відключень централізованого електропостачання. Технічне рішення базується на створенні силового перетворювального пристрою, який об'єднує функціонал зарядного модуля та автономного інвертора напруги, що дозволяє керувати вектором потужності залежно від поточного стану зовнішньої електричної мережі та потреб домогосподарства.

Основою апаратної частини комплексу є двосторонній напівпровідниковий перетворювач, побудований на базі транзисторів, що забезпечує перетворення електричної енергії змінного струму промислової частоти у енергію постійного струму для заряджання акумулятора, а також зворотне перетворення енергії постійного струму акумуляторної батареї у змінний струм зі стабілізованими параметрами напруги та частоти для живлення побутових споживачів. Критично важливим компонентом системи є блок автоматичного введення резерву, який здійснює постійний моніторинг параметрів вхідної мережі та, у разі детектування відхилення напруги за межі допустимого діапазону або її повного зникнення, ініціює процедуру фізичного від'єднання внутрішньої мережі будинку від зовнішньої магістралі. Зазначена процедура є обов'язковою вимогою техніки безпеки для унеможливлення подачі напруги в знеструмлену лінію електропередач та захисту ремонтного персоналу енергопостачальної компанії.

Алгоритм роботи системи передбачає тісну інформаційну взаємодію із системою керування акумуляторною батареєю транспортного засобу через цифрові інтерфейси передачі даних. Програмне забезпечення контролера зарядного пристрою в реальному часі аналізує рівень заряду, температуру комірок та допустимі струми розрядження, що дозволяє запобігти прискореній деградації накопичувача. Користувачеві надається можливість налаштування граничних рівнів розрядження батареї, що гарантує збереження необхідного запасу ходу транспортного засобу для екстрених поїздок навіть після тривалого періоду живлення будинку.

Впровадження даного технічного рішення дозволяє створити децентралізовану систему енергозабезпечення, яка підвищує стійкість домогосподарств до енергетичних криз без необхідності придбання окремих стаціонарних систем накопичення енергії або паливних генераторів, що мають значно менший ресурс та потребують регулярного технічного обслуговування.

#### **4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту**

Для забезпечення структурованого аналізу та подальшої оцінки технічної реалізованості, ключові аспекти проєкту розробки двоспрямованого зарядного пристрою електричних транспортних засобів наведено у табл. 4.1, відображає концептуальну основу, визначає специфічні функціональні напрямки застосування розроблюваної системи та деталізує прогнозовані переваги, які отримує кінцевий споживач від її впровадження в інфраструктуру домогосподарства.

Таблиця 4.1 – Основні характеристики проекту

Зміст ідеї	Напрями застосування	Вигоди для користувача
Розробка пристрою двоспрямованої передачі енергії між акумуляторною батареєю електричного транспортного засобу та побутовою електричною мережею.	1. Забезпечення резервного живлення об'єкта нерухомості у разі зникнення електропостачання від зовнішньої розподільчої мережі (режим V2G – Vehicle-to-Grid).	Стійкість електропостачання: Гарантоване автоматичне перемикання на живлення від електромобіля для підтримки роботи критично важливих побутових навантажень.
	2. Заряджання електротранспорту із зовнішньої мережі або локальних джерел генерації до тягової акумуляторної батареї транспортного засобу.	Забезпечення заряджання: Можливість заряджання накопичувача електротранспорту
	3. Моніторинг технічного стану тягової акумуляторної батареї та контроль граничної глибини розряджання для запобігання деградації елементів живлення.	Збереження ресурсу: Забезпечення довговічності акумуляторної батареї транспортного засобу шляхом програмного контролю циклів заряду-розряду та теплового режиму.

Для реалізації функціоналу двоспрямованого зарядного пристрою необхідно інтегрувати комплекс апаратних засобів та спеціалізованого програмного забезпечення.

Ключовим елементом апаратної частини є силовий двоспрямований інвертор, здатний здійснювати перетворення постійного струму акумуляторної батареї у змінний струм для побутової мережі та навпаки. Безпека експлуатації вимагає обов'язкового застосування механізму фізичного гальванічного роз'єднання від зовнішньої мережі під час роботи в автономному режимі. Програмне забезпечення включає вбудоване програмне забезпечення для контролера, написане на мовах програмування низького рівня, що відповідає за роботу алгоритмів керування потужністю та реалізацію протоколів зв'язку між пристроєм та електричним транспортним засобом, як правило, за допомогою спеціалізованих бібліотек для комунікації транспортних засобів. Додатково необхідна програмна платформа для моніторингу та керування пристроєм, яка може бути реалізована на серверних мовах програмування та системах керування

базами даних для обробки та зберігання інформації про енергетичні потоки. В табл. 4.2 наведено необхідні технології та їх доступність.

Таблиця 4.2 – Технології для здійснення ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
Розробка пристрою двоспрямованої передачі енергії між акумуляторною батареєю електричного транспортного засобу та побутовою електричною мережею.	Напівпровідникові компоненти на основі карбиду кремнію, силова схемотехніка мостового типу.	наявна	доступна
	Високопродуктивний цифровий сигнальний процесор, алгоритми керування широтно-імпульсною модуляцією.	наявна	доступна
	Спеціалізовані бібліотеки для комунікації транспортних засобів, мови програмування низького рівня.	наявна	доступна
	Серверні мови програмування, системи керування базами даних.	наявна	доступна

### 4.3 Вигляд розробленого зарядного пристрою електромобілів

Ключовою функцією системи є забезпечення енергетичної автономності об'єкта під час аварійних відключень централізованого електропостачання шляхом автоматичної перекомутації навантаження на живлення від електромобіля. Алгоритм роботи передбачає постійний моніторинг параметрів вхідної мережі та миттєву активацію режиму генерації при детектуванні відсутності напруги на вводі. Критично важливим елементом архітектури є модуль автоматичного роз'єднання з зовнішньою мережею, який запобігає перетіканню генерованої електроенергії в загальну магістраль та гарантує безпеку під час проведення ремонтних робіт на лінії електропередач. Обмін даними між зарядним пристроєм та системою керування батареєю транспортного засобу відбувається за допомогою спеціалізованих дротових протоколів зв'язку, що дозволяє контролювати глибину розрядження та запобігати деградації акумуляторних комірок. Блок-схему наведено на рис. 4.1.

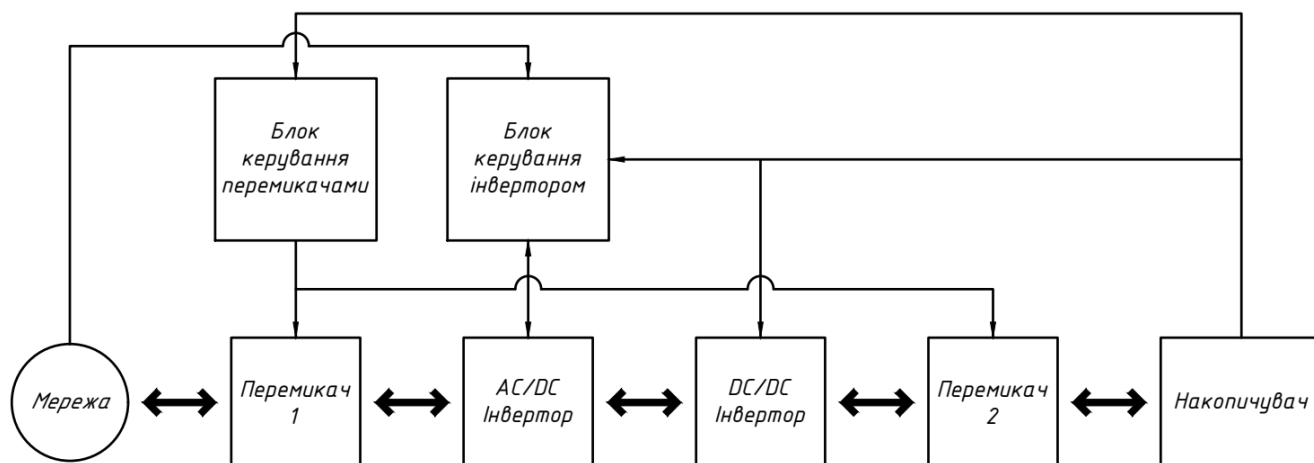


Рисунок 4.1 – Блок-схема двоспрямованого зарядного пристрою електротранспорту [28]

Розроблений зарядний пункт має стаціонарний вертикально орієнтований корпус, встановлений на опорній конструкції типу п'єдестал, що забезпечує його стійкість та можливість зовнішньої експлуатації. Основний блок апаратного забезпечення виконаний у формі захисного прямокутного кожуха. На лицьовій панелі корпусу інтегровано індикаторний дисплей для відображення ключових параметрів процесу передачі електричної енергії та діагностичної інформації для користувача.

Зарядний кабель виходить з нижньої частини основного корпусу, де передбачено спеціалізований механізм або пристрій для його упорядкованого зберігання та запобігання пошкодженням. Кабель завершується конектором стандарту TYPE 2. Вибір зазначеного стандарту обумовлений його широким поширенням та визнанням як основного багатофазного інфраструктурного роз'єму для підключення електричних транспортних засобів на території європейських держав, що забезпечує максимальну сумісність пристрою з наявним парком автомобілів. Попередній зовнішній вигляд пристрою наведено на рис. 4.2.

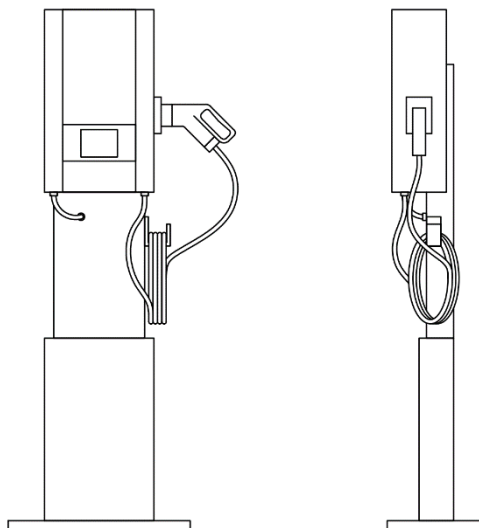


Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд двоспрямованого зарядного пристрою електротранспорту

#### 4.4 Розроблення стратегії проєкту

Життєвий цикл (ЖЦ) стартап-проєкту є послідовним процесом еволюції від початкової ідеї до стійкої бізнес-моделі та характеризується зміною пріоритетів, завдань та джерел фінансування на кожному етапі. У контексті розробки двоспрямованого зарядного пристрою, цей цикл поділяється на три ключові фази, що відображають зростання рівня зрілості технології та організації.

Перша стадія: Концептуалізація та формування основи

Ця початкова фаза зосереджена на наявності ідеї та її первинному осмисленні. На цьому етапі відбувається деталізація елементів ідеї, яка включає опис ключового функціоналу продукту (двоспрямоване перетворення енергії), визначення цільової аудиторії та первинне дослідження технічної реалізованості. Основною ознакою стадії є відсутність плану по реалізації ідеї у формалізованому вигляді. Одночасно відбувається початок формування команди, коли залучаються засновники з необхідними компетенціями у сфері силової електроніки та програмного забезпечення. Істотною характеристикою є складність забезпечення фінансування проєкту, оскільки на цьому етапі інвестори зазвичай виявляють низьку зацікавленість через високі ризики та відсутність доказів життєздатності концепції.

### Друга стадія: Розробка та верифікація

Друга стадія передбачає перехід від теоретичних розробок до практичної реалізації. Центральним завданням є розробка бізнес-плану, що деталізує стратегію монетизації, фінансові прогнози, маркетинговий підхід та операційну модель. Ключовим технічним завданням є створення робочого прототипу двоспрямованого зарядного пристрою, який повинен продемонструвати базові функції заряду та повернення енергії в мережу згідно з технічними вимогами. Ця фаза вимагає активного пошуку джерел інвестицій, оскільки для виготовлення прототипу та проведення випробувань необхідні значні капіталовкладення, які зазвичай залучаються від венчурних фондів або бізнес-ангелів. Успішне завершення цієї стадії підтверджується функціональністю прототипу та наявністю затвердженого бізнес-плану.

### Третя стадія: Комерціалізація та масштабування

Фінальна стадія циклу сфокусована на комерційному успіху та стабілізації бізнесу. На цьому етапі відбувається вихід продукції на ринок, що включає початок серійного виробництва двоспрямованих зарядних пристроїв та їх продаж кінцевим споживачам або дистриб'юторам. Головною фінансовою метою є досягнення стійкого прибутку, що свідчить про підтвердження бізнес-моделі та самоокупність проекту. Одночасно відбувається формування організаційної структури, яка перетворюється з невеликої команди до повноцінної компанії з відділами виробництва, продажу, маркетингу та технічної підтримки, необхідними для масштабування діяльності та обслуговування клієнтів.

Характеристики стацій ЖЦ наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Ключові характеристики стадій ЖЦ стартапів

Стадії ЖЦ стартапів	Основні характеристики
Перша	Наявність ідеї; Відсутня плану по реалізації ідеї; Початок формування команди; Деталізація елементів ідеї; Складність забезпечення фінансування проєкту.
Друга	Розробка бізнес-плану; Створення робочого прототипу; Пошук джерел інвестицій.
Третя	Вихід продукції на ринок; Досягнення стійкого прибутку; Формування організаційної структури.

#### 4.5 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проєкту

Пріоритетним об'єктом уваги інвесторів на початкових стадіях розвитку проєкту є динаміка цільового ринку. На спеціалізованих заходах, які об'єднують розробників та потенційних інвесторів, запит на фінансовий план не завжди є першочерговим, оскільки фінансова модель безпосередньо залежить від готової бізнес-моделі. Початкова бізнес-модель, запропонована ініціатором проєкту, часто підлягає суттєвій корекції після фази консультування з маркетинговими експертами, менторами та самими інвесторами.

Модель маркетингового обґрунтування будь-якої інноваційної розробки повинна містити чітке пояснення щодо трьох ключових параметрів: підтвердження наявності попиту на продукцію проєкту, визначення оптимальної цінової позиції на одиницю продукції та прогнозування потенційного обсягу реалізації. Аналіз попиту, що являє собою дослідження потреби у товарі чи послугі, може бути обґрунтований одним із двох принципових способів: наявністю офіційних угод щодо збуту продукції або доведенням існування попиту за допомогою спеціалізованих дослідницьких методів. У разі відсутності укладених договорів реалізації, доцільно застосовувати методи визначення потреби, які повинні бути максимально прозорими та зрозумілими для інвесторів.

Початковий етап дослідження передбачає збір вторинної інформації, що включає аналіз діяльності конкурентів та існуючих даних про ринки, на які

планується вихід. Застосування вторинної інформації є виправданим в умовах обмежених фінансових ресурсів, проте існує ризик нерелевантності даних, що може негативно вплинути на подальшу стратегію стартапу. Якщо вторинний пошук не забезпечує достатньої основи для прийняття рішень, необхідно перейти до первинних досліджень, таких як фокус-групи, глибинні інтерв'ю та анкетне опитування.

Фокус-група є груповою дискусією, що проводиться модератором за попередньо розробленим сценарієм у невеликій вибірці представників цільової сукупності. Основна мета на цьому етапі полягає в аналізі споживчих запитів, сприйняття запропонованої інновації та пошуку напрямків для вдосконалення ідеї. Глибинне інтерв'ю передбачає індивідуальну бесіду з потенційним покупцем для виявлення прихованих мотиваційних чинників, які можуть стимулювати придбання інноваційної продукції. Для стартапу найбільш ефективним є нестандартизований формат інтерв'ю, оскільки вищий рівень свободи у відповідях респондента відкриває ширші перспективи для модифікації проекту.

Анкетне опитування є найбільш поширеним методом дослідження, але його ефективність часто оцінюється неоднозначно через потенційну недостатню достовірність відповідей респондентів. На його основі здійснюється угруповання відповідей та відбір необхідної первинної інформації. Найчастіше стартапи використовують роздаткове та торгове анкетне опитування. Торгове опитування все частіше реалізується через Інтернет, зокрема шляхом використання спеціалізованих спільнот і груп у соціальних мережах, що дозволяє проводити вибірку серед зацікавлених груп за географічними, віковими та іншими ознаками.

Після накопичення значної бази первинної інформації здійснюється сегментування – процес поділу всіх потенційних покупців на однорідні групи, що характеризуються спільними перевагами та вимогами до товару. Кінцевою метою сегментування є вибір цільових груп споживачів, на яких фірма буде орієнтуватися для досягнення максимального економічного зиску.

Фінальним етапом аналізу можливості впровадження стартапу є складання SWOT-аналізу (табл.4.4). Цей інструмент є корисним як для невеликих, так і для

великих проєктів і вимагає розуміння всіх внутрішніх можливостей та слабких сторін, а також зовнішніх можливостей та загроз. Наприклад, при створенні нової соціальної мережі необхідно оцінити інтенсивність конкурентної боротьби та визначити унікальну торгову пропозицію проєкту. Великі гравці ринку повинні проводити SWOT-аналіз частіше ніж раз на рік для підтримання актуальності своєї стратегії в умовах щоденних ринкових змін.

Таблиця 4.4 – SWOT-аналіз стартап-проєкту

Сильні сторони	Слабкі сторони
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Технологічна перевага у реалізації двоспрямованої передачі енергії постійного струму у змінний струм високої якості.</li> <li>2. Можливість забезпечення повної енергетичної автономності домогосподарства під час аварійних відключень.</li> <li>3. Потенційно вищий коефіцієнт корисної дії системи завдяки інтеграції напівпровідникових компонентів</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Висока інженерна складність апаратного та програмного забезпечення для двоспрямованого керування потоками потужності.</li> <li>2. Залежність терміну служби та ефективності пристрою від якості системи керування акумуляторною батареєю електричного транспортного засобу.</li> <li>3. Висока початкова собівартість виробництва</li> </ol>
Можливості	Загрози
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Зростання світового парку електричних транспортних засобів та кількості домогосподарств.</li> <li>2. Державні програми стимулювання розвитку інтелектуальних електричних мереж та розподіленої генерації.</li> <li>3. Підвищення нестабільності централізованих енергосистем, що збільшує комерційну привабливість рішень для резервного живлення.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Поява нових галузевих стандартів або протоколів зв'язку, що можуть вимагати суттєвої модифікації розробленого програмного забезпечення.</li> <li>2. Ризик негативного сприйняття ринком через побоювання споживачів щодо прискореної деградації акумуляторних батарей електромобілів від циклів розряду у режимі Vehicle-to-Grid.</li> </ol>

#### 4.6 Розроблення маркетингової компанії стартап-проєкту

Визначення ключових переваг (табл. 4.5) є обов'язковим етапом для подальшого обґрунтування цінності розроблюваного двоспрямованого зарядного пристрою електричних транспортних засобів. Це стратегічне позиціонування базується на аналізі унікальних технічних характеристик продукту, зокрема здатності забезпечувати резервне живлення об'єкта та його функціональних можливостей, які виділяють пристрій серед традиційних односпрямованих рішень.

Стратегічна діяльність із сегментування ринку (виділення цільових груп споживачів, наприклад, власників приватних будинків з електричними транспортними засобами) є необхідною передумовою для формування найбільш релевантного позиціонування продукту та розробки цільової маркетингової програми. У залежності від обраного підходу до процесу сегментування, застосовуються наступні стратегії охоплення ринку:

- Масовий маркетинг (недиференційований);
- Концентрований маркетинг;
- Товарно-диференційований маркетинг (множинний);
- Індивідуальний маркетинг.

Таблиця 4.5 – Ключові переваги зарядного пристрою

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги
Енергетична безпека та автономність	Можливість використання тягової акумуляторної батареї електричного транспортного засобу як джерела резервного живлення для домогосподарства під час аварійних відключень зовнішньої мережі.	Інтегроване апаратно-програмне рішення, що використовує існуючий актив (електричний транспортний засіб) для резервування без необхідності придбання окремих стаціонарних накопичувачів енергії.
Оптимізація витрат на електроенергію	Здатність керувати часом заряду та розряду акумуляторної батареї, дозволяючи накопичувати енергію в періоди мінімального тарифу та використовувати її пізніше для зниження загальних витрат.	Функціонал двоспрямованого керування потоком потужності, що забезпечує гнучке управління споживанням та генерацією для зменшення загальних експлуатаційних витрат на електроенергію.
Збереження ресурсу тягової батареї	Реалізація інтелектуальних алгоритмів керування, що контролюють глибину розряду та тепловий режим, мінімізуючи негативний вплив циклічної роботи на довговічність акумуляторної батареї.	Наявність спеціалізованого програмного забезпечення, розробленого для безпечної взаємодії з системою керування акумуляторною батареєю, що гарантує збереження гарантійних зобов'язань виробника транспортного засобу.
Простота інсталяції та сумісність	Використання стандартизованого конектора типу TYPE 2 та відповідність загальноєвропейським нормам безпеки і протоколам зв'язку для електричних транспортних засобів.	Висока сумісність з більшістю електричних транспортних засобів, оснащених портом TYPE 2, та готовність до інтеграції в існуючу побутову електричну мережу без значної її модернізації.

Розглянемо детальніше маркетингові стратегії (табл. 4.6) для визначення найбільш ефективного підходу щодо просування двоспрямованого зарядного пристрою електричних транспортних засобів.

Масовий маркетинг передбачає випуск одного усередненого продукту, призначеного для всіх потенційних споживачів. Хоча дана стратегія сприяє швидкому налагодженню великосерійного виробництва та забезпечує економію на масштабі витрат, її застосування є нерелевантним для інноваційної сфери. У сегменті високотехнологічних продуктів, де переважає нецінова конкуренція, неможливо запропонувати універсальний інноваційний виріб без істотних доробок для обслуговування різних сегментів. Технічні особливості двоспрямованого зарядного пристрою, які включають різноманітність протоколів комунікації з транспортними засобами та вимог до інтеграції в електричні мережі, роблять стратегію масового маркетингу недоцільною.

Концентрований маркетинг є стратегією, за якої фірма зосереджує свої ресурси на розробці продукту, орієнтованого на єдиний, чітко визначений сегмент. Цей підхід вважається найбільш поширеним та виправданим для технологічних стартапів. В умовах високої конкуренції на існуючих ринках така стратегія дозволяє створити вузьку ринкову нішу, в якій діяльність конкурентів мінімізована через відсутність інтересу або невеликий обсяг сегменту. Ця стратегія також корелює з обмеженими фінансовими можливостями стартапу, оскільки складнощі із залученням значного додаткового фінансування не дозволяють диференціювати продукцію для одночасного охоплення множинних ринкових сегментів. Таким чином, концентрований маркетинг дозволяє сфокусувати технічні та фінансові ресурси на задоволенні специфічних потреб ключової групи споживачів.

Товарно-диференційований маркетинг передбачає розробку та пропозицію спеціалізованих модифікацій двоспрямованого зарядного пристрою для кожного окремого сегмента ринку. Така стратегія є характерною для середніх та великих технологічних підприємств, що дозволяє їм диверсифікувати ризики та збільшити сумарну частку ринку в різних нішах. Проте реалізація даного підходу супроводжується значним зростанням виробничих витрат через втрату ефекту

масштабу, необхідність підтримки розширеної номенклатури компонентів та ризиком внутрішньої конкуренції між різними моделями обладнання одного виробника. Для стартап-проекту на початковому етапі така стратегія визнається недоцільною через обмеженість фінансових ресурсів для паралельної розробки кількох апаратних версій та відсутність вичерпної інформації щодо конкурентного середовища у нових сегментах.

Індивідуальний маркетинг базується на розгляді кожного окремого замовника як унікального сегмента з урахуванням його специфічних технічних вимог та умов експлуатації енергетичного обладнання. Даний підхід є найбільш релевантним для стартапу, оскільки дозволяє подолати високі бар'єри входу на ринок силової електроніки завдяки формуванню адаптивної ціннісної пропозиції. Водночас технічна реалізація такої стратегії вимагає закладення високої гнучкості ще на етапі проектування архітектури системи. Конструкція розроблюваного двоспрямованого зарядного пристрою та його програмне забезпечення повинні передбачати можливість параметричного налаштування під конкретну конфігурацію локальної мережі домогосподарства без необхідності внесення змін у апаратну частину та суттєвого збільшення бюджету проекту.

Таблиця 4.6 – Стратегії охоплення ринку в залежності від процесу сегментування

Стратегія маркетингу	Визначення	Бар'єри для стартапу
Масовий маркетинг	Компанія випускає один усереднений товар для всіх споживачів.	Практично неможливо створити інноваційний продукт для декількох сегментів без істотних удосконалень.
Концентрований маркетинг	Фірма розробляє продукт для одного сегмента.	Існуючий ринок: великі витрати і мало інформації про ринок в порівнянні з конкурентами. На ринковій ніші: пошук вигідною ринкової ніші.
Товарно-диференційований маркетинг	Фірма пропонує для кожного сегмента спеціально розроблений для них товар.	Недостатньо фінансових коштів і потужностей для диференціації.
Індивідуальний маркетинг	Компанія розглядає кожного покупця як окремий сегмент, тобто враховує індивідуальні переваги кожного.	Можна реалізувати тільки за умови можливості адаптації продукції стартапу без серйозного збитку бюджету.

#### **Висновки до розділу 4**

Ідея проєкту полягає у розробці та впровадженні апаратно-програмного комплексу двоспрямованого зарядного пристрою для електричних транспортних засобів, який забезпечує резервне живлення об'єкта за рахунок накопиченої енергії акумуляторної батареї. На підставі проведених досліджень вдалося розкрити сутність стартапу, також детально проаналізовано маркетингове обґрунтування проєкту з урахуванням специфіки ринку силової електроніки. Розкрито ключові характеристики стадій життєвого циклу стартапу та визначено оптимальні стратегії охоплення ринку для подолання бар'єрів входу в галузь. Аналіз підтвердив, що реалізація технології двостороннього обміну енергією та адаптивність програмного забезпечення дає можливість бути комерційно привабливим цьому проєкту для інвесторів та забезпечувати енергетичну автономність споживачів.

## ВИСНОВКИ

Проведене дослідження присвячене розробці та технічному обґрунтуванню системи комбінованого електропостачання багатоповерхового житлового комплексу, здатної забезпечити стабільне функціонування критично важливих інженерних систем в умовах тривалих перебоїв зовнішнього електропостачання. Актуальність роботи визначається високою вразливістю міської інфраструктури до порушень у роботі централізованих енергетичних мереж та необхідністю підвищення рівня енергетичної стійкості.

1. У ході аналізу проблемних аспектів було встановлено, що основною причиною нестабільності є критична залежність багатоповерхових будівель від зовнішніх систем розподілу, а також недостатня увага до впровадження ефективних автономних джерел енергії на етапі проєктування.

2. На основі отриманих даних було сформовано два основні шляхи розв'язання проблеми: перший — послідовна модернізація, спрямована на підвищення енергоефективності та використання традиційних резервних генераторів, та другий — впровадження високотехнологічної гібридної енергетичної системи. Шляхом порівняльного аналізу, виконаного в другому розділі роботи, було обґрунтовано вибір гібридної енергетичної системи з інтелектуальним управлінням та когенерацією як найбільш доцільного та стратегічно виправданого рішення. Цей підхід, незважаючи на вищі початкові інвестиційні вимоги, забезпечує максимальну автономність, екологічність та надійність завдяки інтеграції відновлюваних джерел та сучасних систем накопичення.

3. Розроблено архітектуру системи, що охоплює дахову фотоелектричну станцію, установку зберігання енергії на базі залізо-фосфатних акумуляторних батарей, когенераційну установку та мультипортовий конвертор. Вибір залізо-фосфатної технології для накопичувачів був обґрунтований її високим рівнем безпеки та подовженим циклом експлуатації, що є критичним фактором для житлових об'єктів. Центральним елементом системи було визначено

мультипортовий конвертор, здатний забезпечувати одночасну інтеграцію джерел постійного та змінного струму, гнучке керування енергопотоками та швидке перемикання між мережевим та автономним режимами роботи. Додатково було проведено аналіз усіх зацікавлених сторін, підтверджено економічну та соціальну вигоду від реалізації проекту для мешканців та інфраструктури.

4. У третьому розділі були виконані необхідні інженерні розрахунки, які стали основою для проектування системи. Було кількісно визначено потреби будинку в електроенергії для трьох режимів функціонування: нормального, автономного та автономного режиму під час повітряної тривоги. Розрахунки показали, що для гарантованого забезпечення життєдіяльності будинку в критичному режимі протягом більше ніж двадцяти чотирьох годин без зовнішнього живлення необхідна ємність установки зберігання енергії складає визначену величину, що може бути забезпечена шістьма батарейними блоками та п'ятьма зарядними пунктами електромобілів, кожен на два паркомісця, з технологією V2G як механізму використання акумуляторних батарей електромобілів, розташованих у паркінгу, як мобільних резервних джерел енергії. Фінальним етапом роботи стала розробка двох принципових структурних схем інтеграції мультипортового конвертора в головну внутрішню розподільчу мережу будинку, що забезпечують необхідну надійність та можливість локалізації втрат.

5. Таким чином, у дисертаційній роботі було успішно вирішено поставлене завдання. Розроблена система комбінованого електропостачання являє собою завершене технічне рішення, що відповідає сучасним вимогам енергоефективності, безпеки та стійкості. Вона забезпечує перехід житлового комплексу на принцип функціонування мікромережі, здатного автономно працювати в умовах зовнішніх загроз, значно підвищуючи якість життя та рівень безпеки мешканців. Практичне значення дослідження полягає у створенні науково обґрунтованої та інженерно деталізованої моделі, готової до впровадження у процес модернізації існуючого житлового комплексу та проектування нових багатоповерхових будівель із підвищеними вимогами до енергетичної незалежності.

## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Правила улаштування електроустановок. Київ: Міненерговугілля України, 2017. 57-66с., 617 с.
2. Правила технічної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Міненерговугілля України, 2006. 141 с.
3. ГКД 34.20.507-2003 Правила технічної експлуатації електричних станцій і мереж. Харків: Індустрія, 2019. 580 с.
4. ДБН В.2.5-28-2018 Природне і штучне освітлення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2018. 133 с.
5. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
6. ДСТУ-Н Б В.2.5-80:2015 Настанова з проектування систем електропостачання промислових підприємств. Київ: Мінрегіонбуд України, 2015. 45 с.
7. Василега П.О. Електропостачання: підручник. Суми: Сумський державний університет, 2019. 521 с.
8. Шестеренко В.Є. Системи електроспоживання та електропостачання промислових підприємств. Вінниця: Нова Книга, 2004. 656 с.
9. ДНАОП 0.00-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Держбуд України, 2001. 24 с.
10. ДБН В.2.2-41:2019 Висотні будівлі. Основні положення. Київ, Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2019, 47-49 с.
11. Кодекс комерційного обліку електричної енергії від 20.03.2020 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/v0311874-18#Text> (21.11.2025).
12. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. Постанова 31.05.2023 №1008.

<https://www.nerc.gov.ua/acts/pro-vnesennya-zmini-do-postanovi-nkrekp-vid-25-lyutogo-2022-roku-332-9> (21.11.2025).

13. ДБН В.1.2-7-2008. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека. Вид.офіц. Київ: Держстандарт України

14. VSE-E.com [https://vse-e.com/ua/kabel-silovoj-avvg-4185?gad\\_source=1&gclid=CjwKCAjwvIWzBhAlEiwANHWgvUR4BsMJ3iX1IjC4emjEhgSFCKYUejWIAqJsuDEz3svN9DfZjL7OVhoCEVkJQAvD\\_BwE](https://vse-e.com/ua/kabel-silovoj-avvg-4185?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwvIWzBhAlEiwANHWgvUR4BsMJ3iX1IjC4emjEhgSFCKYUejWIAqJsuDEz3svN9DfZjL7OVhoCEVkJQAvD_BwE) (21.11.2025).

15. Системи електропостачання [Електронний ресурс]: довідкові дані (таблиці) до виконання практичних занять, контрольних і самостійних робіт, розрахункової роботи та курсового проекту з дисципліни для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» освітньої програми «Системи забезпечення споживачів електричною енергією» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: Попов В.А., Ткаченко В.В., Ярмолюк О.С. – Електронні текстові дані. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 19 с.

16. ГН 3.3.5-8-6.6.1-2014 Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу.

17. ДСТУ4676:2006.Засоби індивідуального захисту.

18. Про затвердження Правил пожежної безпеки в компаніях, на підприємствах та в організаціях енергетичної галузі України: Наказ №491 від 26.09.2018. Міністерство палива та енергетики України.

19. System Advisor версії 2023.12.17 (SAM 2023.12.17). Національна лабораторія відновлюваної енергетики. Голден, Колорадо. <https://sam.nrel.gov> (21.11.2025).

20. Поліщук Н. О. Проектування мікросистеми енергозабезпечення критичного навантаження житлового комплексу: дипл. проєкт: Київ, 2024. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/67638> (21.11.2025).

21. Про деякі питання використання транспортних засобів, оснащених електричними двигунами, та внесення змін до деяких законів України щодо

подолання паливної залежності і розвитку електрозарядної інфраструктури та електричних транспортних засобів: Закон України №3220-IX від 30.06.2023. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2956-20#Text> (21.11.2025).

22. ДП «ДержавтотрансНДІпроект». Заряджання електромобілів. Визначення та пояснення. URL: [https://insat.org.ua/files/nav/law/3/ev\\_definitions\\_and\\_explanations\\_ukr.pdf](https://insat.org.ua/files/nav/law/3/ev_definitions_and_explanations_ukr.pdf) (21.11.2025).

23. Opendatabot: website. URL: <https://opendatabot.ua/analytics?theme=%D0%95%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BA%D0%B0%D1%80%D0%B8> (21.11.2025).

24. Сучасні кліматичні рішення компанії Viessmann | Viessmann UA. URL: <https://www.viessmann.ua/uk/porady/tekhnolohiya-i-systemy/teploelektrotsentrali.html> (21.11.2025).

25. Sam Harrison, Bartosz Soltoswski, Antonio Pepiciello, Andres Camilo Henaο, Ahmed Y. Farag, Mebtu Beza, Lie Xu, Agustí Egea-Alvarez, Marc Cheah-Man~e, Oriol Gomis-Bellmunt (2024). Review of multiport power converters for distribution network applications. Elsevier.

26. Ahmed Yahia, Farag Abdelfattah, Paolo Mattavelli, Ruzica Cvetanovic, Khaled Awadallah Ahmed Mohamed (UNIPD), Martí Domínguez (UPC), Mohammed Debbat (IREC) (2024). Modelling and control of LV multiport converters. iPlug.

27. Hedra Mahfouz, Khairy Sayed, Ahmed G. Abo-Khalil, Abdulaziz Almutairi (2021). Multi-Port PWM DC-DC Power Converter for Renewable Energy Applications.

28. ScienceDirect: website. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484723007187> (21.11.2025).

29. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 13.04.2017 № 2019-VIII.

30. Закон України «Про альтернативні джерела енергії» від 20.02.2003 № 555-IV.

31. Закон України «Про особливості доступу до інформації у сферах постачання електричної енергії, природного газу, тепlopостачання, централізованого водopостачання та водовідведення» від 10.12.2015 № 887-VIII.

32. Кодекс цивільного захисту України від 02.10.2012 № 5403-VI.
33. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Правил роздрібного ринку електричної енергії» від 14.03.2018 № 224.
34. Постанова Кабінету Міністрів України «Деякі питання забезпечення функціонування об'єднаної енергетичної системи України» від 24.03.2021 № 329.
35. Постанова Кабінету Міністрів України «Про затвердження Порядку функціонування систем накопичення енергії» від 12.01.2022 № 13.
36. ДБН В.2.5-23:2010 «Проектування електроустановок об'єктів цивільного призначення».
37. ДБН В.2.2-15:2019 «Житлові будинки. Основні положення».  
ДБН В.1.1-12:2014 «Будівництво в умовах надзвичайних ситуацій. Інженерно-технічні заходи цивільного захисту».
38. ДСТУ EN 50549-1:2019 «Вимоги до генерувальних установок, що паралельно працюють з розподільчими електричними мережами. Частина 1: Підключення до мереж низької напруги. Загальні вимоги до генерувальних установок».
39. ДСТУ ІЕС 62446-1:2018 «Фотоелектричні (PV) системи. Вимоги до випробувань, документації та технічного обслуговування. Частина 1: Системи, з'єднані із мережею. Документація, введення в експлуатацію та перевірка».
40. Директива 2009/28/ЄС Європейського Парламенту та Ради «Про сприяння використанню енергії з відновлюваних джерел» (та її наступні редакції).
41. Регламент Комісії (ЄС) 2016/631 «Вимоги до мережевого кодексу для генерувальних установок» (NC RfG).