

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту
(повна назва інституту)

Кафедра електропостачання
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

« ____ » _____ 20 ____ р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

освітня програма Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології

на тему: *«Розроблення системи енергомоніторингу житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій»*

Виконала: студентка II курсу, групи ГН-41мп

_____ Плотник Дана Анатоліївна

(прізвище, ім'я по батькові)

_____ (підпис)

Науковий керівник к.т.н., доц. Чернявський А В

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Нормоконтроль провідний інженер Прокопенко І.Д.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) _____ (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

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

Студентка _____

Київ – 2025 року

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»**

Інститут/факультет Навчально-науковий інститут енергозбереження та енергоменеджменту

Кафедра електропостачання

(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

Освітня програма «Енергетичний менеджмент та енергоефективні технології»

Завідувач кафедри

_____ Олена БОРИЧЕНКО

«___» _____ 2025 р.

**ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Плотник Дана Анатоліївна**

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації «Розроблення системи енергомоніторингу житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій»

науковий керівник дисертації к.т.н., доц. Чернявський А.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від 03 листопада 2025 р. №4749-с

2. Строк подання студентом дисертації 17 грудня 2025 року

3. Об'єкт дослідження Будівля житлова, ОСББ "Ю124"

4. Предмет дослідження процеси збору, обробки, аналізу та візуалізації даних енергоспоживання житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій та методів інтелектуального аналізу даних.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити аналіз сучасного стану та принципів енергомоніторингу житлових комплексів; аналіз оцінки та енергоспоживання багатоквартирних будівель; аналіз нормативно-правової бази та стандартів у сфері енергомоніторингу; оцінка енергоспоживання та рівня енергоефективності об'єкта дослідження; розроблення концепції та структури системи енергомоніторингу; застосування методів кластерного аналізу з метою визначення пріоритетних об'єктів для впровадження системи енергомоніторингу в будівлі; обґрунтування можливостей розробленої системи у вигляді стартап-проєкту.

- 6.Перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: презентація.
- 7.Орієнтовний перелік публікацій "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку –РЕМС'2025". [Київ, 18-20 листопада 2025 р.].
- 8.Консультанти розділів дисертації
- Нормоконтроль* *Прокопенко І.Д.*

9.Дата видачі завдання 01 вересня 2025 року

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів МД	Примітка
1	Отримання та затвердження завдання на магістерську дисертацію	01.09.2025	
2	Аналіз і систематизація науково-технічних та нормативних джерел	02.09.25 - 10.09.25	
3	Підготовка та написання теоретичного розділу дослідження	20.09.25 - 13.10.25	
4	Виконання аналітичного розділу з оцінки енергоспоживання об'єкта	14.10.25–27.10.25	
5	Розроблення та обґрунтування системи енергомоніторингу	11.11.25–25.11.25	
6.	Розроблення та обґрунтування стартап-проєкту	30.11.25 - 10.12.25	
7.	Оформлення магістерської дисертації, підготовка презентаційних матеріалів та перевірка роботи на плагіат	16.12.25 - 17.12.25	
8.	Проходження процедури попереднього захисту магістерської дисертації	17.12.25	
9.	Захист магістерської дисертації	22.12.25 - 25.12.25	

Студент

(підпис)

Д.А Плотник
(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

(підпис)

А.В Чернявський
(ініціали, прізвище)

РЕФЕРАТ

Структура та обсяг роботи. Магістерська дисертація виконана на тему «Розроблення системи енергомоніторингу житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій». Загальний обсяг роботи становить 110 сторінок. У структурі дослідження наведено 17 рисунків, 36 таблиць, а також використано 47 джерел літератури.

Актуальність теми дослідження. В умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів, обмеженості їх постачання та підвищених вимог до енергоефективності будівель питання раціонального використання енергії набуває особливої значущості.

Сучасні системи енергетичного моніторингу, побудовані на основі цифрових технологій, дають змогу здійснювати безперервний збір, обробку та аналіз даних про споживання енергоресурсів у режимі реального часу. Використання інтелектуальних алгоритмів аналізу даних, методів статистичної обробки та елементів машинного навчання забезпечує можливість виявлення аномалій, прогнозування навантажень і формування обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації енергоспоживання. Це створює передумови для підвищення енергоефективності будівель і зменшення фінансових витрат на енергетичні ресурси.

Особливо актуальним є впровадження систем енергомоніторингу у житлових комплексах, що перебувають в управлінні об'єднань співвласників багатоквартирних будинків. Для ОСББ характерна необхідність оперативного контролю споживання енергії, підвищення прозорості розрахунків та прийняття управлінських рішень на основі достовірних даних. У цьому контексті розроблення комплексної системи енергомоніторингу з використанням сучасних цифрових технологій є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності управління житловими комплексами та забезпечення сталого використання енергетичних ресурсів.

Метою магістерської дисертації є розроблення системи енергомоніторингу житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій з метою підвищення рівня енергоефективності та оптимізації споживання енергетичних ресурсів. Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

1. аналіз сучасного стану та принципів енергомоніторингу житлових комплексів;
2. аналіз методів оцінки та енергоспоживання багатоквартирних будівель;
3. аналіз нормативно-правової бази та стандартів у сфері енергомоніторингу;
4. оцінка енергоспоживання та рівня енергоефективності об'єкта дослідження;
5. розроблення концепції та структури системи енергомоніторингу;
6. використання методів кластерного аналізу з метою визначення пріоритетних об'єктів для впровадження системи енергомоніторингу в будівлі;
7. обґрунтування можливостей розробленої системи у вигляді стартап-проєкту.

Об'єкт дослідження - багатоквартирна житлова будівля, що перебуває в управлінні ОСББ «Ю124».

Предмет дослідження - процеси збору, обробки, аналізу та візуалізації даних енергоспоживання житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій та методів інтелектуального аналізу даних.

Методи дослідження. У роботі використано методи енергетичного аналізу та кластерний аналіз.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено підхід до організації енергомоніторингу житлового комплексу шляхом поєднання сучасних цифрових технологій із методами кластерного аналізу для класифікації споживачів енергії та виявлення нераціональних режимів споживання. Запропоновано

структуру системи енергомоніторингу, орієнтовану на потреби ОСББ та управління енергоефективністю.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані при впровадженні та модернізації систем енергомоніторингу в житлових комплексах, що перебувають в управлінні ОСББ, а також при розробленні інформаційно-аналітичних платформ для контролю та оптимізації енергоспоживання. Запропоновані рішення сприяють підвищенню енергоефективності та зменшенню витрат на енергетичні ресурси.

Апробація результатів роботи. Результати представлені на Міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'2025» [Київ, 18–20 листопада 2025 р.].

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи було представлено та опубліковано у тезах на XI Міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'25».

Ключові слова: аналіз даних, енергомоніторинг, енергоефективність будівель, енергоспоживання, інтелектуальні системи, житловий комплекс, ОСББ, управління енергетичними ресурсами, цифрові технології.

ABSTRACT

Structure and scope of work. The master's thesis is on the topic “Development of an energy monitoring system for a residential complex using modern digital technologies.” The total volume of work is 110 pages. The structure of the study includes 17 figures, 36 tables, and 47 references.

Relevance of the research topic. In the context of constantly rising energy costs, limited supply, and increased energy efficiency requirements for buildings, the issue of rational energy use is becoming particularly important.

Modern energy monitoring systems based on digital technologies enable the continuous collection, processing, and analysis of data on energy consumption in real time. The use of intelligent data analysis algorithms, statistical processing methods, and machine learning elements makes it possible to identify anomalies, forecast loads, and form informed recommendations for optimizing energy consumption. This creates the conditions for improving the energy efficiency of buildings and reducing financial costs for energy resources.

The implementation of energy monitoring systems in residential complexes managed by associations of co-owners of apartment buildings is particularly relevant. Associations of co-owners of apartment buildings typically need to monitor energy consumption in real time, increase the transparency of calculations, and make management decisions based on reliable data. In this context, the development of a comprehensive energy monitoring system using modern digital technologies is an important scientific and practical task aimed at improving the efficiency of residential complex management and ensuring the sustainable use of energy resources.

The purpose and objectives of the research. The purpose of the study is to develop an energy monitoring system for residential complexes using modern digital technologies in order to increase energy efficiency and optimize energy consumption. To achieve this goal, the following tasks are addressed in the thesis:

1. analysis of the current state and principles of energy monitoring in residential complexes;

2. analysis of methods for assessing the energy consumption of apartment buildings;
3. analyzing the regulatory framework and standards in the field of energy monitoring;
4. assessing the energy consumption and energy efficiency level of the research object;
5. developing the concept and structure of the energy monitoring system;
6. use of cluster analysis methods to identify priority objects for the implementation of an energy monitoring system in buildings;
7. justification of the capabilities of the developed system in the form of a start-up project.

The object of the study is a multi-apartment residential building managed by the housing cooperative.

The subject of the study is the processes of collecting, processing, analyzing, and visualizing energy consumption data for a residential complex using modern digital technologies and intelligent data analysis methods.

Research methods. The work uses methods of analysis and generalization of scientific and technical literature, calculation and balance methods of energy consumption assessment, methods of energy analysis, cluster analysis, as well as methods of mathematical statistics.

Scientific novelty of the results obtained. The approach to organizing energy monitoring of a residential complex has been improved by combining modern digital technologies with cluster analysis methods for classifying energy consumers and identifying irrational consumption patterns. A structure for an energy monitoring system has been proposed, focused on the needs of condominium associations and energy efficiency management.

Practical significance of the work. The results of the study can be used in the implementation and modernization of energy monitoring systems in residential complexes managed by condominium associations, as well as in the development of information and analytical platforms for monitoring and optimizing energy consumption.

The proposed solutions contribute to improving energy efficiency and reducing energy costs.

Approbation of research results. The results were presented at the International Scientific, Technical, and Educational Conference “Energy Management: Status and Development Prospects – PEMS'2025” [Kyiv, November 18–20, 2025].

Publications. The main provisions of the dissertation were presented and published in the abstracts of the XI International Scientific, Practical, and Educational Conference “Energy Management: Status and Development Prospects – PEMS'25.”.

Keywords: data analysis, energy monitoring, energy efficiency of buildings, energy consumption, intelligent systems, residential complex, condominium association, energy resource management, digital technologies.

ЗМІСТ

ВСТУП	13
РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ В ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСАХ.....	16
1.1 Аналіз існуючого стану енергетичного моніторингу житлових комплексів.....	16
1.1.1 Поняття, мета і завдання енергетичного моніторингу	18
1.1.2 Основні принципи та функції енергетичного моніторингу....	20
1.1.3 Програмне забезпечення систем моніторингу.....	23
1.2 Методи оцінки споживання енергії у багатоквартирних будівлях різних типових серій.....	29
1.3 Аналіз нормативно-правової бази та сучасних стандартів у сфері енергомоніторингу	35
Висновки до розділу 1	38
РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ЯК ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ	40
2.1 Загальна характеристика багатоквартирної житлової будівлі	40
2.2 Інженерні системи багатоквартирної житлової будівлі.....	43
2.3 Оцінка поточної системи обліку та моніторингу енергоспоживання	46
2.4 Енергетичний баланс житлового комплексу	48
2.5 Оцінка поточного рівня енергоефективності.....	57
Висновки до розділу 2	59
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ.....	61
3.1 Загальна концепція системи енергомоніторингу	61
3.2 Архітектура системи енергомоніторингу житлового комплексу.....	65
3.3 Вибір технічних рішень і платформ.....	69
3.4 Інтеграція системи з існуючими інженерними мережами ЖК	74

3.5 Застосування кластерного аналізу в системі енергомоніторингу будинку	76
Висновки до розділу 3.....	82
РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ	84
4.1 Загальний опис ідеї стартапу	84
4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту	86
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту	88
4.4 Економічна оцінка впровадження системи енергомоніторингу	101
4.5 Вплив на зменшення викидів CO ₂ та екологічний ефект.....	102
Висновки до розділу 4.....	104
ВИСНОВКИ.....	105
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	106

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АС - автоматизована система

АСЕМ - автоматизована система енергетичного моніторингу

ДБН - державні будівельні норми

ДСТУ - державний стандарт України

IoT - Інтернет речей (Internet of Things)

ML - машинне навчання (Machine Learning)

Smart Metering - інтелектуальний облік енергоресурсів

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. В умовах постійного зростання вартості енергетичних ресурсів, обмеженості їх постачання та підвищених вимог до енергоефективності будівель питання раціонального використання енергії набуває особливої значущості.

Сучасні системи енергетичного моніторингу, побудовані на основі цифрових технологій, дають змогу здійснювати безперервний збір, обробку та аналіз даних про споживання енергоресурсів у режимі реального часу. Використання інтелектуальних алгоритмів аналізу даних, методів статистичної обробки та елементів машинного навчання забезпечує можливість виявлення аномалій, прогнозування навантажень і формування обґрунтованих рекомендацій щодо оптимізації енергоспоживання. Це створює передумови для підвищення енергоефективності будівель і зменшення фінансових витрат на енергетичні ресурси.

Особливо актуальним є впровадження систем енергомоніторингу у житлових комплексах, що перебувають в управлінні об'єднань співвласників багатоквартирних будинків. Для ОСББ характерна необхідність оперативного контролю споживання енергії, підвищення прозорості розрахунків та прийняття управлінських рішень на основі достовірних даних. У цьому контексті розроблення комплексної системи енергомоніторингу з використанням сучасних цифрових технологій є важливим науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення ефективності управління житловими комплексами та забезпечення сталого використання енергетичних ресурсів.

Метою магістерської дисертації є розроблення системи енергомоніторингу житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій з метою підвищення рівня енергоефективності та оптимізації споживання енергетичних ресурсів. Для досягнення поставленої мети у роботі вирішуються такі завдання:

1. аналіз сучасного стану та принципів енергомоніторингу житлових комплексів;
2. аналіз методів оцінки та енергоспоживання багатоквартирних будівель;
3. аналіз нормативно-правової бази та стандартів у сфері енергомоніторингу;
4. оцінка енергоспоживання та рівня енергоефективності об'єкта дослідження;
5. розроблення концепції та структури системи енергомоніторингу;
6. використання методів кластерного аналізу з метою визначення пріоритетних об'єктів для впровадження системи енергомоніторингу в будівлі;
7. обґрунтування можливостей розробленої системи у вигляді стартап-проекту.

Об'єкт дослідження - багатоквартирна житлова будівля, що перебуває в управлінні ОСББ «Ю124».

Предмет дослідження - процеси збору, обробки, аналізу та візуалізації даних енергоспоживання житлового комплексу з використанням сучасних цифрових технологій та методів інтелектуального аналізу даних.

Методи дослідження. У роботі використано методи аналізу та узагальнення науково-технічної літератури, розрахункові та балансові методи оцінки енергоспоживання, методи енергетичного аналізу, кластерний аналіз, а також методи математичної статистики.

Наукова новизна одержаних результатів. Удосконалено підхід до організації енергомоніторингу житлового комплексу шляхом поєднання сучасних цифрових технологій із методами кластерного аналізу для класифікації споживачів енергії та виявлення нераціональних режимів споживання. Запропоновано структуру системи енергомоніторингу, орієнтовану на потреби ОСББ та управління енергоефективністю.

Практичне значення роботи. Результати дослідження можуть бути використані при впровадженні та модернізації систем енергомоніторингу в

житлових комплексах, що перебувають в управлінні ОСББ, а також при розробленні інформаційно-аналітичних платформ для контролю та оптимізації енергоспоживання. Запропоновані рішення сприяють підвищенню енергоефективності та зменшенню витрат на енергетичні ресурси.

Апробація результатів роботи. Результати представлені на Міжнародній науково-технічній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'2025» [Київ, 18–20 листопада 2025 р.].

Публікації. Основні положення дисертаційної роботи було представлено та опубліковано у тезах на XI Міжнародній науково-практичній та навчально-методичній конференції «Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS'25».

РОЗДІЛ 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ В ЖИТЛОВИХ КОМПЛЕКСАХ

1.1 Аналіз існуючого стану енергетичного моніторингу житлових комплексів

Постійне зростання енергоспоживання житлових будівель, зменшення запасів природних ресурсів, а також погіршення стану навколишнього середовища є вагомими аргументами на користь формування політики сталого розвитку та переходу до системного управління енергоресурсами. Саме енергомоніторинг у житловому секторі виступає важливим інструментом для збору, аналізу та оптимізації даних про споживання енергії на належному рівні, що дозволяє підвищувати ефективність експлуатації будинків і зменшувати енерговитрати.

Підвищення енергоефективності багатоквартирних житлових будинків є одним із ключових пріоритетів енергетичної політики України, оскільки саме житловий сектор становить найбільшу частку у структурі кінцевого енергоспоживання. За даними [1], середнє споживання енергії в житлових будівлях становить 163 кВт·год/м² на рік, що в 2-3 рази перевищує показники країн Європейського Союзу. Така ситуація зумовлена значною зношеністю будівельних конструкцій, застарілими інженерними системами та низьким рівнем впровадження технологій енергомоніторингу.

У статті [2] проведено порівняльний аналіз будівель ЄС і України за показниками енергоефективності. У ній зазначено, що ефективність українських будівель суттєво нижча порівняно з європейськими і що необхідні комплексні заходи, включно з моніторингом та контролем споживання енергії.

Водночас в Україні залишається невирішеним комплекс питань, пов'язаних із вдосконаленням принципів моніторингу енергоспоживання та розробкою відповідних фінансово-економічних моделей оцінки ефективності експлуатації житлових будинків. Як зазначається у [3], першочерговими завданнями, які потрібно вирішити показано в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Аналіз завдань у житлових комплексах України

№	Завдання (напрямок)	Поточний стан в Україні
1	Методи впровадження системи моніторингу для існуючих багатоквартирних будинків (різні типові серії)	Є локальні пілоти та проєкти з енергомодернізації (через Фонд енергоефективності, Енергодім) для деяких ОСББ, що передбачають енергоаудит та модернізацію.
2	Інтеграція систем моніторингу у проєкти нового житлового будівництва	Деякі нові ЖК мають енергоефективні рішення; проте обов'язкової практики немає.
3	Використання BIM-технологій під час реконструкції або експлуатації	BIM у будівництві починає застосовуватися; є ініціативи щодо його впровадження у нових об'єктах.
4	Використання моніторингу для розробки проєктів підвищення енергоефективності та оцінки результатів	Реалізовані проєкти утеплення та модернізації, але застосування моніторингу нерівномірне, часто без подальшого контролю результатів.
5	Виявлення та усунення причин нераціонального використання паливно-енергетичних ресурсів під час експлуатації	Наявні приклади систем моніторингу та аудиту в окремих ОСББ

У житлових комплексах України впровадження систем енергомоніторингу поступово переходить від використання окремих цифрових лічильників до комплексних інтегрованих рішень, які охоплюють багатофункціональні сенсорні мережі та програмно-аналітичні платформи. Типові сучасні рішення включають застосування смарт-лічильників електроенергії, теплової енергії, холодної та гарячої води, датчиків температури внутрішнього та зовнішнього повітря, контролерів роботи насосного обладнання та індивідуальних теплових пунктів (ІТП). Важливою тенденцією є поява систем, що використовують концепцію Інтернету речей (IoT), яка дозволяє об'єднати різні пристрої в єдину мережу, забезпечуючи автоматизований збір даних з інтервалом від 1 хвилини до 1 години залежно від типу сенсора та режиму роботи. У роботі [4] розроблено технічне

рішення для гнучкої системи управління енергоспоживанням та параметрами мікроклімату житлових будинків на основі інтелектуального обладнання та концепції Інтернету речей (IoT). Отримані дані дозволять запропонувати потенційні сценарії зниження енерговитрат при забезпеченні комфортних умов у приміщеннях.

Зібрана інформація передається через бездротові протоколи (LoRaWAN, Wi-Fi, ZigBee) або через дротові модулі (RS485, M-Bus) до проміжних концентраторів, які виконують первинну фільтрацію та буферизацію даних. Після цього інформація агрегується на сервері або у хмарному сховищі, де відбувається її обробка, нормування та візуалізація. У більшості проєктів ОСББ та керуючих компаній застосовуються платформи з веб-інтерфейсами та мобільними додатками, що дозволяють переглядати режими споживання в реальному часі. Дані групуються за типами енергоресурсів, за зонами будівлі (квартири, МЗК, ІТП), а також у розрізі часових періодів, що дозволяє формувати базові лінії енергоспоживання.

Надалі ці дані використовуються для важливих процесів: оперативного виявлення аномалій (перевищення теплового навантаження, аварійні режими роботи, некоректні показники лічильників), прогнозування енергоспоживання на основі моделей регресії та погодних коефіцієнтів, оптимізації режимів роботи ІТП відповідно до зовнішньої температури, а також для формування звітів про ефективність енергоспоживання. Системи дозволяють управляти обладнанням у напівавтоматичному режимі, змінюючи температурні графіки та режими циркуляції в залежності від фактичних даних.

1.1.1 Поняття, мета і завдання енергетичного моніторингу

Енергетичний моніторинг - це систематичний і безперервний процес вимірювання, збору, накопичення, обробки й аналізу даних про споживання та генерацію енергоресурсів у межах будівельного комплексу (квартири, під'їзди, технічні приміщення, інженерні системи). У розширеному розумінні він включає

не лише реєстрацію величин (електроенергія, тепло, газ, вода), а й інші показники (температура, вологість) та методи їхньої обробки, які дають змогу приймати рішення щодо управління енергією.

У контексті «розумного житлового будинку» система енергомоніторингу може інтегруватися з мережами датчиків, пристроями IoT, системами автоматизації та сучасною аналітикою (Big Data, ML) для проактивного управління. В дослідженні [5] зазначено необхідність відстеження енергоспоживання в режимі реального часу, постійного вимірювання і аналізу даних про споживання.

Мета енергомоніторингу включає поєднання економічних, експлуатаційних і екологічних цілей:

1. **Енергоефективність та зменшення витрат.** Завдяки постійному вимірюванню, аналізу можна ідентифікувати непотрібне споживання та приймати рішення на основі цих даних.
2. **Підвищення комфорту життя мешканців.** Забезпечення нормативних значень температури, вологості, якості повітря при мінімальних витратах енергії.
3. **Зменшення впливу на навколишнє середовище.** Завдяки скороченню споживання, підвищенню використання відновлюваних джерел вдається знизити викиди CO₂ та загальне навантаження на енергосистему.
4. **Розвиток управління життєвим циклом будівлі та систем.** Моніторинг допомагає здійснювати не лише одноразові заходи з енергоощадження, але й системне управління впродовж експлуатації будинку чи систем. Це дає змогу виявляти тенденції, дефекти, зношування обладнання, оптимізувати технічні заходи.

Для ефективного енергомоніторингу необхідне виконання низки завдань, що охоплюють технічні, аналітичні та організаційні аспекти. Важливо забезпечити точний збір даних з лічильників та датчиків, а також гарантувати їхню синхронізацію та цілісність. Система повинна аналізувати режими роботи, знаходити кореляції між навантаженням та зовнішніми факторами, і розробляти

алгоритми для оптимізованого управління енергоспоживанням. Також важливо забезпечити зрозумілу інформацію та підвищувати обізнаність користувачів.

Енергетичний моніторинг є ключовим елементом сучасної системи енергоменеджменту будівель і виступає основою для підтримання досягнутого рівня енергоефективності. Його застосування забезпечує не лише підтримку досягнутого рівня енергозбереження, але й створює умови для подальшої оптимізації енергоспоживання [6].

1.1.2 Основні принципи та функції енергетичного моніторингу

Система енергомоніторингу базується на принципах об'єктивності, надійності та незалежності отриманих даних. Її ефективність визначається чіткістю параметрів, що підлягають фіксації, можливістю кількісної оцінки та мінімізацією впливу суб'єктивних факторів.

До основних функцій енергетичного моніторингу належать:

- інформаційно-аналітична - забезпечення збору та оцінки даних щодо стану окремих параметрів і напрямів управління енерговикористанням, а також формування обґрунтованих висновків про ефективність цього процесу;
- коригувальна і регулювальна - оперативне внесення змін, уточнень або виправлень у систему управління енерговитратами для підвищення її результативності;
- прогностична - прогнозування на основі отриманої інформації можливих тенденцій і напрямів подальшого розвитку процесу управління енергоспоживанням;
- координаційна - забезпечення узгодженої діяльності фахівців і підрозділів підприємства, що беруть участь у реалізації енергетичної політики;
- дослідницько-аналітична - активне залучення всіх учасників процесу до пошуку рішень і проведення моніторингових досліджень;
- пізнавальна (гностична) - накопичення, аналіз і систематизація даних щодо рівня енергоефективності та стану систем управління енергоресурсами.

Сучасні системи енергомоніторингу повинні відповідати низці ключових функціональних критеріїв, що визначають їх ефективність, зручність використання та надійність [7-10]. У таблиці 1.2 наведено основні критерії та їхні характеристики.

Таблиця 1.2 - Основні критерії функціонування систем енергомоніторингу

Критерій	Опис
Моніторинг	Система має забезпечувати фіксацію даних про споживання енергії з високою часовою роздільністю. Це дозволяє користувачам пов'язати реальні режими споживання з фактичними енергетичними витратами.
Доступність та зручність	Безперервний доступ до інформації через інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, веб-портал, мобільний додаток або локальний пристрій з віддаленим доступом.
Інтеграція даних	Система має включати не лише енергоспоживання, а й додаткові параметри: температуру, вологість, освітленість, історію користувача, дані використання приладів та порівняльні показники.
Економічність	Встановлення та налаштування системи повинні бути простими, такими, що не потребують висококваліфікованого втручання.
Керування	Система має забезпечувати можливість автоматичного чи дистанційного керування пристроями відповідно до заданих алгоритмів і сценаріїв.
Кібербезпека та приватність	Система повинна забезпечувати захист користувацьких даних і функцій керування від несанкціонованого доступу.

Продовження таблиці 1.2

Критерій	Опис
Інтелектуальність та аналітика	Аналіз трендів споживання та надання рекомендації користувачам на основі методів машинного навчання, що спрощує управління енергією.

За періодичністю проведення енергомоніторинг може бути постійним або періодичним.

– Постійний (безперервний) моніторинг проводиться на постійній основі після визначення цілей, технології збору та аналізу діагностичних даних.

– Періодичний здійснюється з певною регулярністю відповідно до потреби в оновленій інформації й може мати календарну або етапну форму. Календарний моніторинг виконується у визначені терміни звітного періоду, тоді як етапний проводиться в межах конкретного завдання чи проекту.

Енергомоніторинг поділяється на регулярний і одноразовий.

Регулярний застосовується для постійного відстеження результативності заходів із підвищення енергоефективності об'єкта, зазвичай проводиться щорічно.

Одноразовий моніторинг використовується у випадках необхідності коригування базового рівня енергоефективності, визначення її поточного стану або при виявленні порушень нормативних вимог у сфері енергозбереження.

Ресурсне забезпечення енергомоніторингу має бути достатнім для реалізації всіх його завдань. Керівництво підприємства повинно гарантувати наявність людських, матеріально-технічних та фінансових ресурсів.

До матеріально-технічних ресурсів належать:

- приміщення та необхідне технічне обладнання;
- інформаційні системи та програмні комплекси;
- вимірювальні прилади, інструменти та допоміжне устаткування;
- нормативна, технічна й експлуатаційна документація.

До фінансових ресурсів входять:

- витрати, пов'язані з організацією та проведенням енергомоніторингу;
- заробітна плата персоналу, залученого до виконання моніторингових робіт.

Особлива увага приділяється організації безперервних потоків інформації щодо реалізації енергоощадних заходів, обсягів фінансування, а також аналізу результативності таких дій.

У загальному вигляді система енергомоніторингу може вирішувати багато завдань, які визначаються цілями та специфікою об'єкта спостереження. До основних із них належать:

- контроль своєчасності та якості виконання програм і планів з енергозбереження;
- оцінка досягнення запланованих показників енергоефективності;
- моніторинг рівня енергетичної ефективності об'єкта або його окремих підрозділів;

Такий підхід дозволяє забезпечити системність, прозорість та керованість процесів енергоспоживання на об'єкті.

Формування систем енергомоніторингу є одним із ключових елементів ефективного енергетичного менеджменту. Їх упровадження забезпечує помітне підвищення раціональності використання енергоресурсів, скорочення експлуатаційних витрат та більш злагоджену роботу інженерних мереж. Серед доступних аналітичних інструментів значне поширення має регресійний аналіз, оскільки він дозволяє робити достовірні прогнози, особливо тоді, коли система характеризується великою кількістю змінних параметрів [11].

1.1.3 Програмне забезпечення систем моніторингу

Для ефективного управління енергоефективністю у житловому секторі необхідно створити дієву систему енергетичного моніторингу, що потребує використання відповідного програмного забезпечення. Сучасний ІТ-ринок пропонує широкий вибір комп'ютерних рішень для контролю та аналізу

споживання енергоресурсів. Проте для досягнення максимальної результативності управління процесами енергоспоживання та енергозбереження необхідне подальше вдосконалення програмних продуктів - зокрема, у напрямі підвищення функціональності, зручності користування та технічної гнучкості.

Під час вибору програмного забезпечення для енергомоніторингу в житловому секторі слід враховувати кілька ключових чинників: функціональні можливості системи, її вартість, масштабованість та простоту в експлуатації. Окрім цього, впровадження інформаційної системи вимагає належної підготовки персоналу - проведення навчання, організації технічного супроводу та підтримки користувачів для забезпечення стабільної роботи всієї системи.

Для обробки, зберігання та відображення даних пропонується використання відкритих або комерційних платформ.

Основні модулі ПЗ:

- модуль збору даних (опитування пристроїв, архівування);
- аналітичний модуль (енергетичний баланс, порівняння із нормами, виявлення відхилень);
- модуль звітності (створення PDF-звітів);
- візуалізаційна панель;
- система сповіщень (у разі перевищення споживання).

Енергоплан [12] - це спеціалізоване програмне забезпечення, призначене для моніторингу всіх видів енергоресурсів у бюджетних установах (див. рис. 1.1). Система дозволяє відстежувати споживання енергії з будь-якою періодичністю, зберігати та аналізувати статистичні дані, будувати енергетичні баланси й прогнозувати подальше споживання. Однією з переваг є можливість введення показників онлайн без потреби встановлення додаткових програм. Простий інтерфейс та зручна навігація дають змогу швидко фіксувати показники, виявляти перевитрати або відхилення від норми в режимі реального часу.

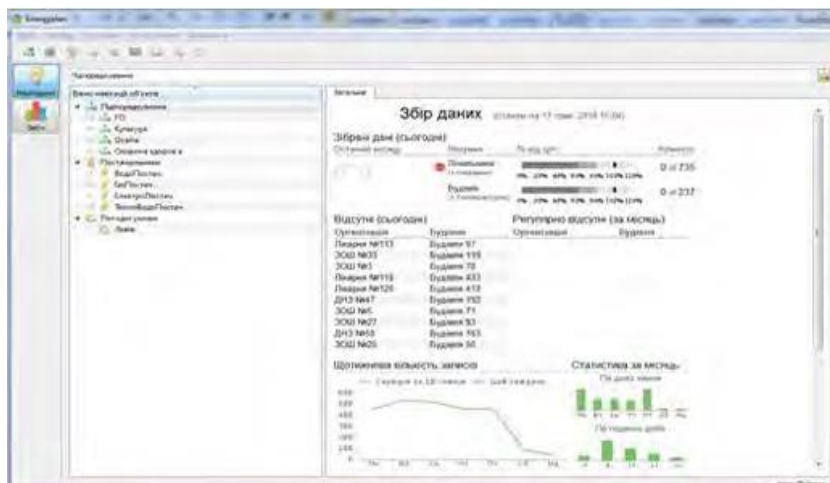


Рисунок 1.1 – Приклад інтерфейсу користувача ПЗ «Енергоплан»

Енергобаланс [13] - це система для моніторингу основних енергоресурсів (електроенергії, тепла, води, газу) та оцінки їх ефективного використання. Програмне забезпечення розроблене для застосування переважно у бюджетних організаціях і забезпечує зручний аналіз динаміки споживання, порівняння показників між різними об'єктами та виявлення потенціалу для енергозбереження. Його функціонал орієнтований на формування звітів, графіків і таблиць, що дозволяє приймати обґрунтовані управлінські рішення.

uMuni [14] - універсальне програмне забезпечення для моніторингу енергоресурсів, придатне для бюджетного, житлового та комерційного секторів. Воно підтримує роботу з різними типами енергоресурсів і дозволяє додавати нові категорії залежно від потреб користувача (див. рис. 1.2). Система забезпечує не лише збирання та аналіз даних, але й можливість прогнозування споживання, а також оцінювання технічного стану будівель і інженерних мереж. Завдяки своїй гнучкості uMuni є ефективним інструментом для інтегрованого управління енергоспоживанням на різних рівнях.

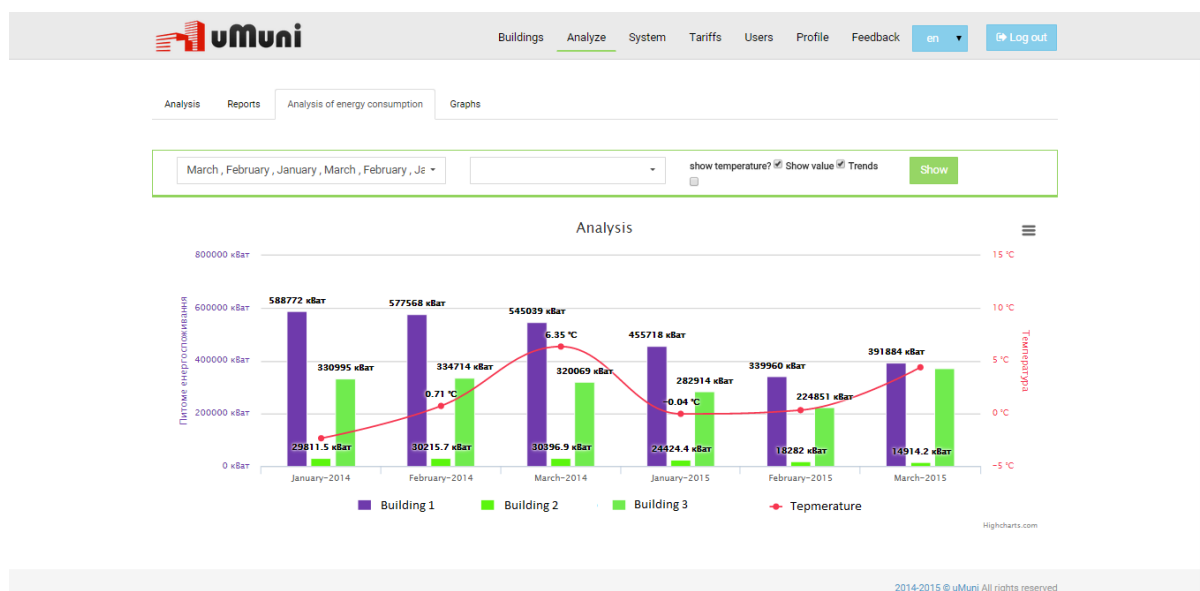


Рисунок 1.2 – Приклад інтерфейсу користувача ПЗ «uMuni»

Автоматизована система енергомоніторингу (АСЕМ) [15] - це комплекс програмного й технічного забезпечення, який дозволяє здійснювати дистанційний облік споживання енергоресурсів (див. рис. 1.3). Система має ієрархічну структуру та отримує дані безпосередньо з вузлів обліку тепла, електроенергії, води та інших ресурсів. АСЕМ також реєструє аварійні сигнали та параметри мікроклімату, що дозволяє швидко реагувати на позаштатні ситуації. Її перевагою є повна автоматизація збору даних, що мінімізує людський фактор і підвищує точність енергетичного аналізу.

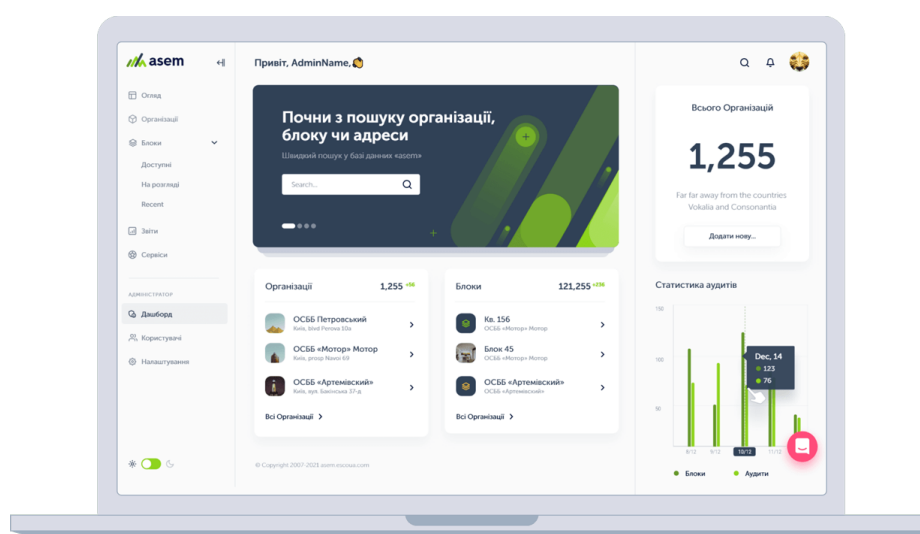


Рисунок 1.3 – Приклад інтерфейсу користувача «АСЕМ»

Загалом усі ці системи спрямовані на підвищення прозорості, точності та оперативності управління енергоспоживанням. Їх застосування дозволяє оптимізувати витрати, скоротити енергетичні втрати та забезпечити раціональне використання ресурсів у житловому та бюджетному секторах. В таблиці 1.3 показана порівняльна характеристика.

Таблиця 1.3 – Порівняльна таблиця програмного забезпечення для систем енергомоніторингу

Назва ПЗ	Основне призначення	Особливості та переваги
Енергоплан	Моніторинг усіх видів енергоресурсів у бюджетних установах	Онлайн-ведення показників, простий інтерфейс, побудова енергетичних балансів, прогнозування споживання
Енергобаланс	Контроль і аналіз споживання електроенергії, тепла, води, газу	Формування звітів і графіків, порівняння між об'єктами, визначення потенціалу енергозбереження
uMuni	Універсальна система моніторингу енергоресурсів	Підтримка різних типів ресурсів, прогнозування споживання, оцінка технічного стану будівель
АСЕМ	Автоматизований дистанційний облік енергоресурсів	Повна автоматизація збору даних, реєстрація аварійних сигналів, висока точність обліку
SynergyData	Віддалений моніторинг і управління енергоресурсами	Дистанційне зчитування лічильників, керування інженерними системами, підтримка стандартних протоколів, архівація та аналітика даних

Для об'єктивного порівняння обраних платформ систем енергомоніторингу було визначено п'ять основних критеріїв оцінки. До них належать масштабованість системи, рівень інтеграції з іншими платформами, точність та деталізація зібраних даних, а також вартість впровадження й якість технічної підтримки. В таблиці 1.4 наведемо головні критерії.

Таблиця 1.4 - Порівняння комерційних та open-source систем [17-19]

Критерій	ExpertPower	SIMATIC Energy	ETAP Schneider Electric
Масштабованість	Висока - підтримує до 1000 вузлів, хмарна архітектура	Висока - легко інтегрується з системами Siemens	Дуже висока, орієнтована на великі мережі

Продовження табл 1.4

Критерій	ExpertPower	SIMATIC Energy Meter (Siemens)	ETAP Schneider Electric
Інтеграція з іншими системами	Підтримує Modbus, BACnet,	Profinet, Modbus	OPC UA, IEC 61850, Modbus,
Точність і деталізація даних	Дані кожні 1-5 хвилин	Висока точність вимірювань до 1 сек.	Дуже висока, підтримка симуляцій і прогнозів
Вартість впровадження	Низька	Середня	Висока
Інтерфейс та техпідтримка	Україномовний веб-інтерфейс, мобільний доступ	Висока надійність, складніша конфігурація	Англомовний інтерфейс, професійна підтримка
Призначення	ЖК, комерційні будівлі, муніципалітети	Промислові об'єкти, офісні центри, ЖК преміум	Промисловість, енергетичні компанії, університети
Тип розгортання	Хмарний сервіс (SaaS)	Локальне або гібридне рішення	Локальне ПЗ із серверною інфраструктурою

1.2 Методи оцінки споживання енергії у багатоквартирних будівлях різних типових серій

Оцінка енергоспоживання багатоквартирних будівель - це задача, яка потребує врахування конструктивних характеристик, умов експлуатації, поведінки мешканців, кліматичних навантажень, інженерних систем, а також перспектив оптимізації. У сучасних дослідженнях застосовують кілька підходів, від простого обліку до складних моделей, моніторингу й аналітики.

Будівлі відрізняються конструктивними особливостями, інженерним обладнанням, що визначає підходи до оцінки їх енергоспоживання. Основні типи показані в табл. 1.5 [20].

Таблиця 1.5 - Житлові будинки різних серій

Період	Особливості
Типові забудови 1940-х та 1950-ті роки	Будівлі з силікатної цегли, фасади з ліпним декором, загалом задовільний технічний стан, уразливі місця: покрівля та балкони.

Продовження таблиці 1.5

Період	Особливості
Типові забудови 1950-х та 1960-ті роки	Панельні 5–9 поверхові будинки індустріальної забудови; низькі теплозахисні характеристики; критичний стан мереж та покрівель.
«Будинки типових серій»	9–16 поверхові, оснащені ліфтами, сміттєпроводами, системами протипожежної автоматики та димовидалення.
Сучасні будинки	Монолітно-каркасні будівлі з цегляними заповненнями; пальові фундаменти; ефективне утеплення; сучасне теплотехнічне обладнання; облік енергоресурсів у квартирах.

1. *Обліковий підхід на основі даних лічильників та комунальних платежів:* підхід передбачає використання фактичних даних обліку: показників електролічильників, теплолічильників, лічильників води, а також статистики оплати рахунків за комунальні послуги. Він належить до найбільш поширених практик, які застосовують ОСББ та керуючі компанії для проведення базового енергетичного аналізу.

Переваги:

- Мінімальні витрати на збір даних не потребує додаткового обладнання чи сенсорів;
- Підходить для попереднього оцінювання стану енергоспоживання та виявлення загальних проблем.

Обмеження:

- Немає можливості деталізувати споживання за окремими квартирами, приміщеннями чи видами енергоресурсів;
- Метод не враховує чинників, що впливають на обсяг споживання, таких як погодні умови, внутрішній мікроклімат чи поведінку мешканців.

2. *Енергетичне моделювання будівель:* цей підхід базується на побудові комп'ютерних моделей будівлі з урахуванням її конструктивних характеристик

(ОК, теплоізоляція), систем опалення/освітлення, кліматичних умов, графіків експлуатації, а також сценаріїв поведінки мешканців.

У статті [21] показано, що за допомогою програмних пакетів можна розрахувати питомі енергоспоживання для різних потреб, виконати сертифікацію та порівняти різні сценарії модернізації.

Переваги:

- Дозволяє прогнозувати енергоспоживання до фактичної експлуатації;
- Можливість аналізу різних сценаріїв модернізації або зміни систем;
- Дає структуроване розуміння теплових, вентиляційних, комунальних навантажень.

Обмеження:

- Вимагає достовірних вихідних даних про конструкцію, системи, матеріали;
- Моделі можуть не враховувати фактичні зміни, що погіршує точність;
- Не дає прямого обліку фактичного споживання без перевірки зі зчитуваннями.

3. *Методи аналізу з використанням IoT, Smart Metering*: полягає в застосуванні «розумних» лічильників і сенсорів, що забезпечують збір даних у реальному часі або з невеликими інтервалами.

У дослідженні [22] показано, що мережа сенсорів, яка фіксує температурні різниці між теплоносієм і внутрішнім середовищем, дає змогу значно підвищити точність непрямого обліку тепла порівняно з класичними приладами та зменшити похибку на 20–50%.

Переваги:

- Прогнозування, аналітика, автоматизація систем управління;
- Об'єктивність і прозорість.

Обмеження:

- Значні капітальні витрати на обладнання, мережу, серверну частину;
- Необхідність спеціалізованого програмного забезпечення, навичок аналітики;

– Питання захисту даних, приватності, безпеки, зберігання великих обсягів даних.

4. *Бенчмаркінг*: має на меті порівняти будівлі між собою або з еталонними значеннями та визначення закономірностей.

Переваги:

– Можливість порівнювати будівлі, оцінювати їх конкурентоспроможність;

– Орієнтує на реальні економічні та енергетичні результати.

Обмеження:

– Потребує достатньої бази даних будівель з подібними характеристиками;

– Не завжди відображає особливості конкретного будинку.

В табл. 1.6 покажемо ці методи оцінки енергоспоживання спираючись на серії будинків.

Таблиця 1.6 - Порівняння методів оцінки енергоспоживання у багатоквартирних будівлях з урахуванням типових серій

Метод	Особливості застосування
Обліковий	Може застосовуватися в будь-яких серіях, особливо в старих будівлях для первинного аналізу; обмежена деталізація по квартирах та системах.
Бенчмаркінг	Можливе для всіх типових серій; дозволяє порівнювати будівлі між собою, враховуючи специфіку конструкцій і енергоефективності; точність залежить від наявності даних.
Енергетичне моделювання	Корисне для типових серій 1950–1970-х років та сучасних будинків при реконструкції або модернізації; дозволяє прогнозувати споживання та оцінювати ефективність заходів.

Продовження таблиці 1.6

Метод	Особливості застосування
Моніторинг IoT / Smart Metering / сенсори	Найефективніший у сучасних будівлях і нових серіях, де доступна інфраструктура для встановлення сенсорів; в старих будинках потребує адаптації інженерних систем.

Одним із ключових елементів системи енергомоніторингу є виявлення аномалій у споживанні енергоресурсів [23]. Система аналізує часові ряди даних, порівнюючи поточні показники із середніми історичними значеннями, типовими профілями навантаження та встановленими нормативами. Це дозволяє своєчасно виявляти перевитрати електроенергії, витоки води, тепловтрати, пікові навантаження або збої у передачі даних [24].

Це дає змогу виявляти перевитрати електроенергії, витоки води, тепловтрати, пікові навантаження або збої у передачі даних. Для аналізу використовуються статистичні методи та алгоритми машинного навчання, що автоматично визначають відхилення від нормального режиму [25-26].

У загальному випадку виділяють такі типи аномалій:

Точкові аномалії. Найпростіший та один із найчастіше зустрічається. Це окремі спостереження, що різко відхиляються від загального тренду або статистичної норми. Зазвичай вони можуть бути результатом випадкових коливань, похибок вимірювання і не завжди мають практичну значущість.

Контекстуальні аномалії. Характерні для даних, що мають часовий або просторовий контекст (наприклад, часові ряди енергоспоживання). Значення вважається аномальним лише у межах певного контексту.

Колективні аномалії. Група взаємопов'язаних або послідовних даних, де кожен окремий елемент може виглядати цілком типовим, але їх спільна поява є нетиповою для системи.

Порівняння основних методів для визначення аномалій представлені в таблиці 1.7.

Таблиця 1.7 – Аналіз методів визначення аномалій

Метод	Сутність підходу	Переваги	Недоліки
Регресійний метод	Побудова моделі залежності між зовнішніми факторами (температура, сезонність, графік роботи будівлі) та очікуваним рівнем споживання. Аномалія фіксується як значне відхилення фактичного значення від прогнозу.	Висока точність прогнозів; можливість урахування сезонності та контексту; ефективний для теплової енергії та електроспоживання; придатний для автоматизації.	Потребує якісних історичних даних; чутливий до пропусків або некоректних значень. [27-28]
Статистичні методи (правило 3σ, довірчі інтервали)	Визначення меж нормального діапазону на основі статистичних характеристик вибірки. Відхилення за межі встановлених порогів вважається аномальним.	Простота застосування; швидкий аналіз великих масивів даних; низькі обчислювальні витрати.	Не враховує сезонні тренди; зниження точності при зміні режимів роботи будівлі; не підходить для складних профілів споживання.
Методи машинного навчання (Isolation Forest, SVM)	Автоматичний аналіз багатовимірних даних для виявлення нетипових профілів або вибірок, які не належать до сформованих кластерів.	Підходять для складних та нелінійних залежностей; ефективні при великій кількості показників; працюють у режимі онлайн-моніторингу.	Складність налаштування; потреба у великих обсягах даних; значне навантаження на обчислювальні ресурси. [29-33]

Сучасні системи енергомоніторингу часто комбінують методи, поєднуючи статистичні підходи та алгоритми машинного навчання, що дозволяє підвищити точність виявлення аномалій та оптимізувати управління енергоспоживанням.

Для прикладу, застосування регресійного аналізу з урахуванням зовнішніх факторів дозволяє передбачати пікові навантаження у зимовий період, а метод Isolation Forest автоматично виділяє нетипові патерни споживання електроенергії в режимі реального часу, що забезпечує своєчасне реагування на потенційні витрати. Це дозволяє не лише виявляти аномалії, а й прогнозувати їх появу, що важливо для енергоменеджменту та планування ресурсів. Все частіше використовують методи на основі щільності для виявлення локальних аномалій, такі як алгоритм LOF [34]. Підготовка даних суттєво впливає на точність виявлення аномалій, зокрема при роботі з великими часовими рядами споживання енергії [35].

Водночас, використання алгоритмів машинного навчання не завжди гарантує високу точність: методи можуть демонструвати низьку ефективність у разі некоректного підбору моделей або особливостей даних, як це показано на прикладі систем виявлення вторгнень у мережах [36]. Аналогічні обмеження спостерігаються і в енергомоніторингу, де неврахування сезонності, зміни режимів роботи може призвести до помилкових спрацьовувань.

1.3 Аналіз нормативно-правової бази та сучасних стандартів у сфері енергомоніторингу

Україна, як держава, що імплементує норми Європейського Союзу, поступово гармонізує своє законодавство відповідно до положень таких директив:

Директива ЄС/2023/1791 “Про енергоефективність” [37] передбачає впровадження системи енергетичного менеджменту відповідно до європейських або міжнародних стандартів. У багатоквартирних та багатофункціональних будівлях повинні бути встановлені індивідуальні лічильники для вимірювання споживання тепла, холоду або гарячої води для кожної одиниці будівлі, що піддаються дистанційному зчитуванню за умови, якщо це технічно можливо та

економічно доцільно з точки зору пропорційності щодо потенційної економії енергії.

Директива ЄС/2024/1275 “Про енергетичні характеристики будівель” [38] встановлює вимоги до моніторингу енергетичної поведінки будівель і досягнення рівня “майже нульового споживання енергії” (nZEB). Це стало основою для розвитку концепції BEMS систем, які автоматизують моніторинг і регулювання параметрів споживання енергії у будівлях.

Країни ЄС широко впроваджують інтелектуальні системи обліку (Smart Metering), що дозволяють автоматично передавати дані про споживання електроенергії, газу, тепла і води до центральних баз даних. Це дає можливість здійснювати оперативний контроль, прогнозування та оптимізацію навантажень, а також мотивує споживачів до економії енергії.

Впровадження вимог європейських директив у частині моніторингу сприяє:

- підвищенню прозорості енергоспоживання;
- створенню аналітичної бази для енергетичних аудитів;
- формуванню енергетичних паспортів будівель;
- підготовці рішень для оптимізації споживання;
- зменшенню втрат енергії й витрат.

Розвиток систем енергомоніторингу в Україні базується на комплексі законодавчих, нормативно-технічних і методичних документів, що регламентують питання енергозбереження, енергоефективності та комерційного обліку енергоресурсів. Ці документи визначають вимоги до збору, обробки, аналізу та зберігання даних про споживання енергоресурсів, а також встановлюють стандарти для вимірювальних приладів, інформаційних систем і процедур управління енергоспоживанням.

Енергомоніторинг розглядається як ключовий інструмент управління енергоефективністю, який дозволяє забезпечити виконання вимог міжнародного стандарту ДСТУ ISO 50001:2020. Відповідно до цього стандарту, будь-який об'єкт енергоспоживання повинен забезпечити постійний моніторинг, вимірювання та аналіз показників використання енергії.

Для поліпшення енергоефективності будівель застосовують різні організаційні, технічні та інженерні дії. Вони мають на меті зменшити споживання енергії, покращити роботу інженерних мереж та забезпечити раціональне використання ресурсів. Важливо проводити інженерні перевірки будівель та незалежно відстежувати їх результати. Ці перевірки допомагають знайти основні причини втрат енергії, оцінити стан інженерних систем і розробити рекомендації щодо поліпшення ефективності. Сертифікація енергоефективності також важлива, адже вона визначає клас будівлі та передбачає подальший контроль за його збереженням. Це допомагає перевірити відповідність будівлі вимогам і стежити за змінами в споживанні енергії.

Закон України «Про енергетичну ефективність будівель» №2118-VIII [39] визначає правові, економічні та організаційні засади діяльності у сфері забезпечення енергоефективності та раціонального використання енергоресурсів у будівлях. Документ встановлює обов'язковість проведення енергетичної сертифікації для будівель державної та комунальної власності, а також передбачає впровадження систем енергетичного менеджменту й енергомоніторингу у великих містах. Такий підхід формує законодавче підґрунтя для розвитку цифрових систем збору, обліку та аналізу даних про енергоспоживання, що забезпечує прозорість і контроль ефективності використання енергії.

Також важливо врахувати Наказ Мінрегіону №169 «Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель» [40], який визначає механізм оцінки енергоефективності, включно з переліком показників, порядком розрахунку первинної енергії, визначенням класу енергетичної ефективності та обсягів викидів парникових газів.

На рівні стандартів ключовим документом є ДСТУ ISO 50001:2020 «Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання» [41]. Відповідно до стандарту, моніторинг забезпечує вимірювальну складову циклу PDCA та є критично важливим для формування енергетичної політики, планування, контролю та постійного вдосконалення. Основні принципи стандарту:

- Планування (Plan) - визначення цілей, базового рівня, ключових енергетичних аспектів і програм дій;
- Впровадження (Do) - реалізацію політики та заходів з енергоефективності;
- Перевірку (Check) - моніторинг, аналіз і контроль досягнення енергетичних показників;
- Дії з удосконалення (Act) - перегляд системи та внесення коригувальних і попереджувальних дій.

Стандарт EN 15232 [42] регламентує процедури вимірювання, аналізу та оцінювання функцій інженерних систем, що здійснюють керування опаленням, вентиляцією, кондиціонуванням, освітленням та іншими технологічними процесами. Крім того, він містить вимоги та рекомендації щодо класифікації будівель за рівнем енергоефективності систем управління, а також встановлює перелік функцій, необхідних для контролю та зменшення споживання енергії.

Висновки до розділу 1

У першому розділі було проаналізовано теоретичні основи енергомоніторингу та сучасний стан його впровадження в житлових комплексах України. Встановлено, що житловий сектор характеризується високим рівнем енергоємності та значною часткою застарілого житлового фонду, що зумовлює суттєві втрати енергії та низьку ефективність її використання.

Розглянуто поняття, функції та завдання енергомоніторингу, який у сучасних умовах є не просто обліком споживання, а комплексним інструментом управління енергетичними потоками будівлі. Визначено, що застосування IoT-пристроїв, систем дистанційного збору даних та аналітичних моделей дозволяє своєчасно виявляти перевитрати, прогнозувати споживання та підвищувати ефективність експлуатації житлових комплексів.

У розділі узагальнено основні бар'єри впровадження енергомоніторингу в Україні: недостатню автоматизацію будівель, часткову цифровізацію житлового фонду, низьку поінформованість споживачів та недостатнє фінансування енергоефективних заходів. Показано, що розвиток сучасних систем

енергомоніторингу потребує комплексного підходу, який включає використання інформаційних технологій, стандартів енергоменеджменту та методів прогнозної аналітики.

Окрему увагу приділено огляду нормативно-правових засад енергетичного моніторингу. Встановлено, що національні стандарти та європейські директиви формують вимоги до систем обліку, енергетичної ефективності будівель та цифровізації процесів управління. Це створює основу для подальшої інтеграції інтелектуальних систем у житлових комплексах та використання сучасних цифрових технологій для оптимізації споживання.

РОЗДІЛ 2 АНАЛІЗ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ ЯК ОБ'ЄКТА ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Загальна характеристика багатоквартирної житлової будівлі

Об'єктом дослідження є багатоквартирний житловий будинок ОСББ «Ю124», розташований за адресою: Київська область, м. Київ, Солом'янський район, вул. Юнацька, 1. Будівля належить до житлового фонду сучасної багатоповерхової забудови та характеризується значним загальним об'ємом приміщень, що безпосередньо впливає на рівень енергоспоживання в опалювальний та міжсезонний періоди.

Будинок має 2 під'їзди та включає 206 квартир і нежитлових приміщень, що формує суттєве та постійне навантаження на внутрішні інженерні системи: електропостачання, водопостачання, водовідведення, опалення та вентиляцію. Така кількість квартир вимагає впорядкованої системи обліку енергоресурсів та налагодженого управління роботою внутрішніх інженерних вузлів.

Загальна площа будинку згідно з технічним паспортом становить 9235,0 м², що включає житлові та нежитлові приміщення, технічні вузли, інженерні мережі, підсобні кімнати та місця загального користування (див. рис. 2.1). Житлова площа складає 3065,7 м² і визначає ту частину будівлі, яка найбільше впливає на показники теплового комфорту, внутрішній мікроклімат та фактичне енергоспоживання мешканців.



Рисунок 2.1 – Зовнішній вигляд ОСББ "Ю124"

Зовнішні стіни

Основні огорожувальні конструкції зведені з газобетонних блоків із зовнішнім шаром теплоізоляції на основі пінополістиролу товщиною 150 мм, що відповідає вимогам [15]. Сумарна товщина стіни становить 420 мм. Візуальне обстеження засвідчило відсутність суттєвих пошкоджень чи ознак деградації матеріалу. Теплотехнічні показники стін відповідають мінімально допустимим нормативам, що забезпечує належний рівень теплозахисту та дозволяє вважати їх технічний стан задовільним.

Світлопрозорі огороження (вікна та балконні блоки)

Площа застління становить орієнтовно третину площі фасаду (коефіцієнт скління — 0,314). Установлені металопластикові віконні системи з двокамерними склопакетами забезпечують нормативний опір теплопередачі для сучасних житлових будівель. Загальний стан віконних блоків оцінюється як технічно справний, а їх теплові характеристики відповідають вимогам щодо енергоефективності.

Зовнішні двері

Вхідні дверні блоки виконані з металопластикових конструкцій і знаходяться у робочому стані. Під час обстеження не виявлено пошкоджень, що могли б негативно вплинути на теплоізоляційні властивості. Розрахунковий опір теплопередачі дверей відповідає мінімальним нормативним значенням.

Покрівля

Будівля обладнана плоским дахом, конструктивною основою якого є залізобетонні плити. За результатами огляду не зафіксовано дефектів, що свідчили б про втрату герметичності чи порушення теплоізоляційного шару. Теплотехнічні характеристики покрівлі відповідають вимогам, а загальний технічний стан оцінюється як добрий.

Підвальне приміщення

Під усією будівлею знаходиться неопалюваний підвал. Підлога виконана на основі бетонної плити перекриття з подальшим облицюванням керамічною плиткою. Унаслідок відсутності додаткової теплоізоляції підвальні конструкції не

забезпечують нормативного опору теплопередачі, що може спричиняти підвищені втрати тепла з перших поверхів будівлі. В таблиці 2.1 наведемо характеристики ОК житлового будинку.

Таблиця 2.1 - Характеристики огорожувальних конструкцій житлового будинку

Вид огорожувальної конструкції	Приведений опір теплопередачі, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$ (фактичний)	Мінімально допустиме значення, $(\text{м}^2 \cdot \text{К})/\text{Вт}$	Площа конструкції, м^2	Відповідність вимогам
Зовнішні стіни	4,16	4,0	3157,56	Відповідає
Суміщені перекриття	7,9	7,0	1100	Відповідає
Покриття опалюваних горищ та мансард	—	—	—	Відсутні
Горищні перекриття неопалюваних горищ	—	6,0	0	Відсутні
Перекриття над неопалюваними підвалами	0,47	—*	920	Не відповідає
Світлопрозорі огорожувальні конструкції (вікна, балконні блоки)	0,9	0,9	1478,59	Відповідає
Зовнішні двері	0,7	0,7	8,4	Відповідає

Після аналізу фактичних та нормативних характеристик огорожувальних конструкцій, наведених у таблиці 2.1, доцільно розглянути можливі заходи з підвищення енергоефективності будівлі. Одним із найбільш проблемних елементів з точки зору тепловтрат є перекриття над неопалюваним підвальним приміщенням,

оскільки відсутність теплоізоляції призводить до підвищених втрат теплової енергії та зниження температурного комфорту в квартирах першого поверху.

Рекомендовано виконати утеплення плити перекриття підвалу із застосуванням мінеральної вати товщиною 100 мм з коефіцієнтом теплопровідності не більше $0,05 \text{ Вт/(м}\cdot\text{К)}$. Застосування такого теплоізоляційного шару дозволяє знизити значення приведенного коефіцієнта теплопередачі перекриття до $0,235 \text{ Вт/(м}^2\cdot\text{К)}$, що суттєво покращує теплозахисні властивості конструкції та наближає їх до сучасних вимог енергоефективності.

2.2 Інженерні системи багатоквартирної житлової будівлі

Інженерні системи багатоквартирної житлової будівлі відіграють ключову роль у забезпеченні належних умов проживання, формуванні параметрів мікроклімату та визначенні загального рівня енергетичної ефективності об'єкта. До основних інженерних систем належать системи вентиляції, опалення, гарячого водопостачання, електропостачання та освітлення, які функціонують у тісному взаємозв'язку та формують сумарне енергоспоживання будівлі.

Система опалення

У будівлі функціонує автономна система теплопостачання, побудована на основі індивідуальних газових двоконтурних котлів (див. рис 2.2), які забезпечують приготування теплоносія для опалення та гарячого водопостачання. Як теплоносієм застосовується вода, а робочий температурний режим системи становить $70/55 \text{ }^\circ\text{C}$. Облік витрат природного газу здійснюється за допомогою індивідуальних комерційних лічильників, встановлених у кожній квартирі.

Внутрішня система опалення виконана за двотрубною схемою. За температури внутрішнього повітря $20 \text{ }^\circ\text{C}$ температурний перепад у системі становить $42,5 \text{ К}$. Введення системи в експлуатацію відбулося у 2018 році.

Тепловіддача забезпечується 534 сталевими радіаторами та конвекторами, обладнаними ручними терморегуляторами. Клас енергетичної ефективності системи оцінюється за такими критеріями:

- регулювання теплового потоку на рівні приміщення - клас D;
- регулювання температури у подавальному чи зворотному трубопроводі - клас D;
- можливість зниження або коригування споживання енергії у період зниженої потреби - клас D;
- взаємозв'язок регулювання між системами опалення та охолодження - клас D.



Рисунок 2.2 – Встановлений котел в квартирі

Системи вентиляції, охолодження та кондиціонування

У приміщеннях використовується природна вентиляція, що відбувається за рахунок інфільтрації повітря через огорожувальні конструкції та періодичного

провітрювання через вікна. Система охолодження відсутня. Регулювання повітрообміну є некерованим і значною мірою залежить від погодних умов та дій користувачів приміщень, що не забезпечує стабільних параметрів мікроклімату.

Система гарячого водопостачання

Гаряче водопостачання повністю інтегроване із системою автономних газових котлів. Підігрів води здійснюється безпосередньо у квартирах, що забезпечує незалежність споживачів та мінімізує теплові втрати під час транспортування.

Системи освітлення

Освітлення у будівлі виконано із застосуванням світлодіодних ламп (LED), що забезпечують високий коефіцієнт світловіддачі та знижене енергоспоживання.

Система керування освітленням реалізована в автоматичному режимі за допомогою сутінкових датчиків та реле часу, що дозволяє уникати зайвого споживання електроенергії. Приклад освітлення місць користування покажемо на рисунку 2.3.

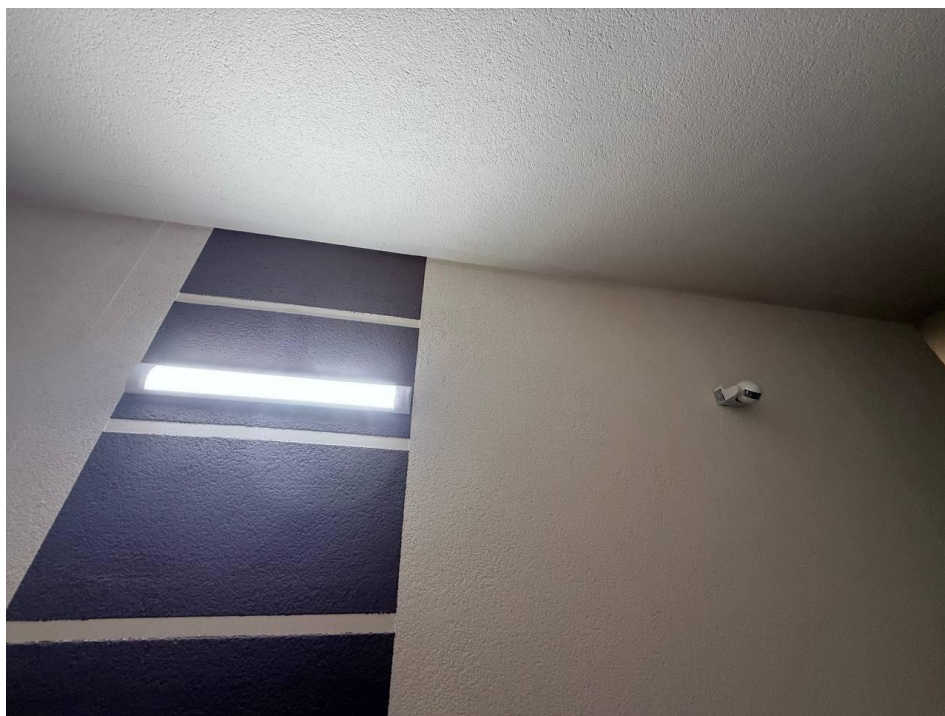


Рисунок 2.3 – Освітлення в місцях загального користування

Для підвищення енергоефективності в будівлі впроваджено сонячну електростанцію (СЕС) встановленою потужністю 31,72 кВт, що частково забезпечує електроживлення внутрішніх систем.

До складу СЕС входить:

3 гібридних інвертори по 12 кВт (загальна потужність — 36 кВт);

52 фотомодулі потужністю 610 Вт кожен (загальна — 31,72 кВт);

8 літій-залізофосфатних акумуляторних батарей ємністю 5,12 кВт·год кожна (загальна — 40,96 кВт·год).

Завдяки встановленню СЕС будівля частково забезпечує власне енергоспоживання, зменшуючи навантаження на зовнішню електромережу та підвищуючи рівень енергетичної автономності.

2.3 Оцінка поточної системи обліку та моніторингу енергоспоживання

Система обліку та моніторингу енергоресурсів у житловому комплексі представлена сукупністю приладів вимірювання, що забезпечують облік споживання природного газу, електричної енергії та води. Установлені засоби обліку відповідають чинним нормативним і технічним вимогам та призначені для комерційного й експлуатаційного контролю використання енергоресурсів у житловій будівлі. Разом з тим, більшість приладів функціонує автономно, без інтеграції у єдину автоматизовану систему збору та аналізу даних. Такий підхід забезпечує фіксацію фактичних обсягів споживання, однак не дозволяє в повній мірі реалізувати потенціал аналітичної обробки інформації та оперативного управління енергетичними потоками.

Облік природного газу здійснюється за допомогою мембранних лічильників «САМГАЗ» моделі RS/2.4, які призначені для вимірювання об'ємів спожитого природного газу в побутових та комунально-побутових умовах. Лічильники характеризуються достатньою точністю вимірювання, стабільністю метрологічних характеристик та надійністю в експлуатації протягом тривалого терміну служби. Конструктивно дані прилади сумісні з коректорами об'єму газу, обчислювачами та

модулями дистанційного зчитування, що створює передумови для їх подальшої інтеграції в автоматизовані системи енергомоніторингу. У разі впровадження таких систем з'являється можливість аналізу погодинних і добових графіків споживання, виявлення аномальних режимів та зниження непродуктивних втрат газу.

Облік електричної енергії у житловому комплексі забезпечується однофазними електролічильниками NIK 2100 AP2, призначеними для вимірювання активної електричної енергії в однофазних двопровідних мережах змінного струму. Лічильники відповідають вимогам щодо класу точності та надійності і забезпечують коректний облік електроспоживання в квартирах та місцях загального користування. Проте наявна схема обліку не передбачає автоматизованого передавання даних у диспетчерський центр або інформаційну систему ОСББ. Це суттєво обмежує можливості оперативного контролю, аналізу добових і сезонних графіків навантаження, а також ускладнює своєчасне виявлення пікових навантажень та нераціонального використання електроенергії.

Облік холодної води здійснюється за допомогою лічильників Apator Smart C+, які забезпечують точне вимірювання обсягів водоспоживання та характеризуються високою експлуатаційною надійністю. Дані прилади технічно придатні для використання в системах дистанційного збору показників і можуть бути оснащені імпульсними виходами або модулями зв'язку, що дозволяє застосовувати їх у складі автоматизованих систем обліку ресурсів. Це створює передумови для контролю витоків води, аналізу водоспоживання та оптимізації режимів використання інженерних мереж.

Узагальнюючи, наявна система обліку та моніторингу енергоресурсів житлового комплексу забезпечує базовий рівень контролю споживання природного газу, електроенергії та води. Водночас відсутність централізованої автоматизованої платформи збору та обробки даних знижує ефективність управління енергоспоживанням та унеможливорює впровадження сучасних методів аналізу, зокрема енергетичного бенчмаркінгу та прогнозування. Подальша модернізація системи шляхом впровадження автоматизованого енергомоніторингу дозволить

підвищити точність обліку, оперативність аналізу, прозорість управління та створити умови для зниження питомих витрат енергоресурсів у житловій будівлі.

2.4 Енергетичний баланс житлового комплексу

Нижче, в таблицях 2.2 - 2.3 наведено динаміку споживання електричної енергії, а також в приміщеннях та місцях загального користування з 2022 по 2024 рік.

Таблиця 2.2 - Річне споживання електричної енергії за 2022-2024 рр.

Місяць	2022		2023		2024	
	кВт·год	Грн	кВт·год	Грн	кВт·год	Грн
Січень	58 570	98 398	52 240	87 763	61 650	266 328
Лютий	49 480	83 126	55 600	93 408	52 090	225 029
Березень	50 580	84 974	58 970	99 070	53 240	229 997
Квітень	33 500	56 280	50 310	84 521	35 270	152 366
Травень	36 650	61 572	40 900	68 712	36 260	156 643
Червень	35 490	59 623	35 990	95 014	38 630	166 882
Липень	36 150	60 732	27 080	71 491	49 260	212 803
Серпень	46 430	78 002	48 120	127 037	51 520	222 566
Вересень	35 380	59 438	37 240	98 314	38 180	164 938
Жовтень	35 150	59 052	37 000	97 680	38 100	164 592
Листопад	44 430	74 642	46 760	123 446	48 640	210 125

Продовження таблиці 2.2

Місяць	2022		2023		2024	
	кВт·год	Грн	кВт·год	Грн	кВт·год	Грн
Грудень	49 080	82 454	51 780	136 699	54 360	234 835
Всього	510 890	858 295	541 990	1 183 154	557 200	2 407 104

Таблиця 2.3 - Річне споживання електричної енергії приміщеннями та МЗК
кВт·год за 2022-2024рр.

Місяць	2022		2023		2024	
	Приміщення	МЗК	Приміщення	МЗК	Приміщення	МЗК
Січень	24 520	4 760	22 270	3 950	25 810	5 010
Лютий	20 720	4 020	23 770	3 890	21 820	4 230
Березень	21 140	4 150	25 270	3 830	22 250	4 370
Квітень	15 960	790	26 760	3 760	16 800	830
Травень	15 540	2 780	17 540	2 910	15 180	2 950
Червень	14 470	3 200	15 530	2 470	15 050	4 270
Липень	17 580	3 400	17 470	2 310	19 540	5 090
Серпень	19 000	3 760	21 220	2 840	20 680	5 080
Вересень	14 750	2 940	15 530	3 090	15 840	3 150
Жовтень	14 800	2 780	15 580	2 920	16 040	3 010
Листопад	18 890	3 330	19 880	3 500	20 680	3 640
Грудень	20 780	4 210	21 460	4 430	22 530	4 650
Всього	218 150	40 120	242 280	39 900	232 220	46 280

Споживання електричної енергії за місяцями покажемо на рисунку 2.4.

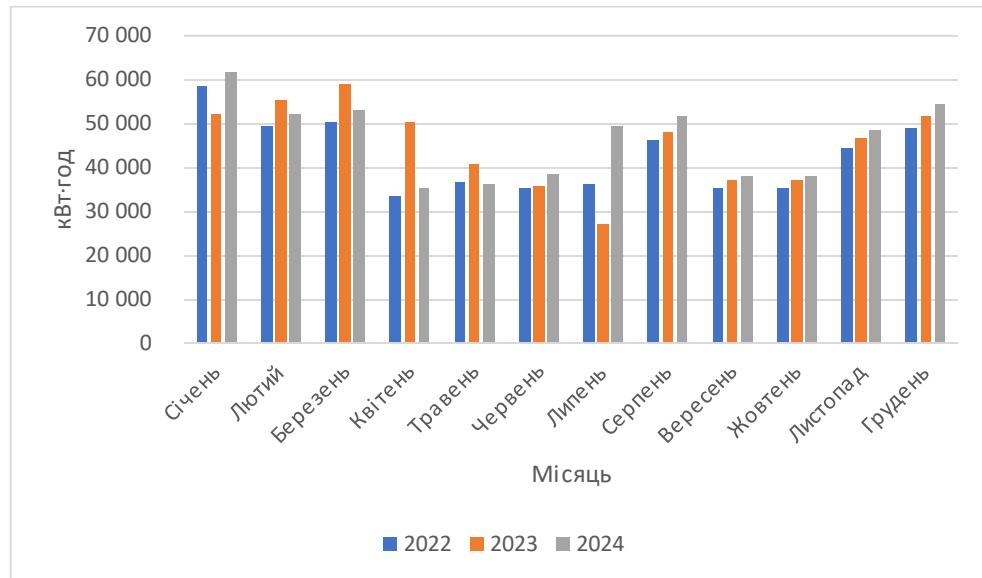


Рисунок 2.4 – Графік споживання електричної енергії за 2022-2024 рр.

Складемо баланс споживання електроенергії житловим будинком і зобразимо його на рис. 2.5.

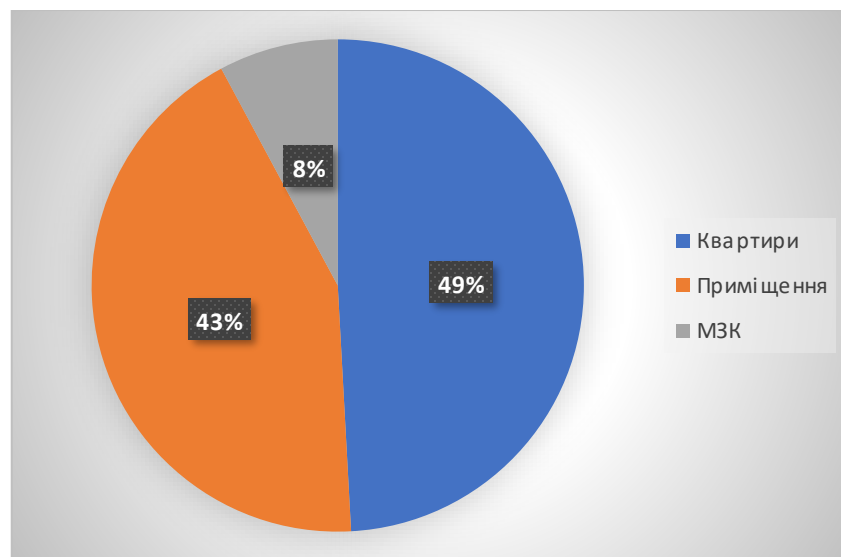


Рисунок 2.5 – Баланс споживання електричної енергії за 2022-2024 рр

Як можемо спостерігати з діаграми, квартири споживають 49% всієї електричної енергії, приміщення 43%, а МЗК становлять 8%.

Сумарна номінальна потужність системи освітлення визначається за формулою:

$$P_{n,j} = p_{ni} n_i, \quad (2.1)$$

де p_{hi} – номінальна потужність одного електроприймача, кВт;

n_i – кількість аналогічних приладів, шт.

Підставляючи вихідні дані у формулу (2.1), отримаємо:

$$P_{n,j} = 1600 \cdot 0,025 = 40 \text{ кВт.}$$

Коефіцієнт реактивного навантаження визначається за співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \operatorname{tg}(\arccos(\cos \varphi)) \quad (2.2)$$

Підставляючи дані у формулу (2.2), отримаємо:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = \operatorname{tg}(\arccos(\cos(0,95))) = 0,33.$$

Активна та реактивна потужності системи освітлення визначаються за формулами:

$$P_{п. j} = k_B P_{n. j}, \quad (2.3)$$

$$Q_{п. j} = P_{п. j} \operatorname{tg} \varphi_i, \quad (2.4)$$

Підставляючи необхідні числа у формулу (2.3) та (2.4) отримаємо:

$$P_{п. j} = 0,2 \cdot 40 = 8 \text{ кВт,}$$

$$Q_{п. j} = 16,224 \cdot 0,33 = 2,6 \text{ квар.}$$

Груповий коефіцієнт використання потужності визначається за формулою:

$$K_B = \frac{\sum_{j=1}^n P_{п. j}}{\sum_{j=1}^n P_{n. j}}, \quad (2.5)$$

Підставляючи дані у формулу (2.5), маємо:

$$K_B = \frac{8}{40} = 0,2.$$

Враховуючи наступні співвідношення, проведемо розрахунки для інших електроприладів [44]:

- Якщо відношення $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} \leq 3$, то ефективна кількість електроприймачів приймається рівною їх фактичній кількості вважають, що $n_e = n$;
- Якщо $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} > 3$ та $n_{p.e} \geq n$, тоді також $n_e = n$;
- Якщо $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} > 3$ та $n_{p.e} < n$, n_e приймається рівним розрахунковому $n_{p.e}$

округленому до меншого цілого.

Оскільки для системи освітлення виконується умова $\frac{P_{\max}}{P_{\min}} \leq 3$, то ефективна кількість електроприймачів приймається рівною $n_e = 1600$.

Розрахунковий коефіцієнт навантаження відповідно до [4] приймається:

$$K_p = 1.$$

Розрахуємо розрахункову активну потужність:

$$P_p = K_p P_{Co}, \quad (2.6)$$

Підставляючи дані у формулу (2.6), маємо:

$$P_p = 1 \cdot 8 = 8 \text{ кВт.}$$

Розрахуємо реактивну потужність:

– При умові $n_e \leq 10$, то $Q_p = 1,1 Q_{пр}$.

– При умові $n_e > 10$, то $Q_p = Q_{пр}$.

$$Q_p = 2,6 \text{ квар.}$$

Розрахуємо повну потужність:

$$S_p = \sqrt{P_p^2 + Q_p^2}, \quad (2.7)$$

Підставивши значення у формулу (2.7), отримаємо:

$$S_{p.co} = \sqrt{8^2 + 2,6^2} = 8,4 \text{ кВА.}$$

Сумарне активне навантаження на шинах низької напруги трансформаторної підстанції визначається за формулою:

$$\Sigma P_{\Pi} = \Sigma P_{C.O} + \Sigma P_{C.обл} + \Sigma P_{I.обл}, \quad (2.8)$$

Підставивши значення у формулу (2.8), отримаємо:

$$\Sigma P_{\Pi} = 8 + 6 + 385 = 399 \text{ кВт.}$$

Сумарне реактивне навантаження на шинах низької напруги визначається за формулою:

$$\Sigma Q_{\Pi} = \Sigma Q_{Co} + \Sigma Q_{C.обл} + \Sigma Q_{I.обл}, \quad (2.9)$$

Підставивши значення у формулу (2.9), отримаємо:

$$\Sigma Q_{\Pi} = 2,9 + 6,1 + 325,8 = 334,6 \text{ квар,}$$

Знайдемо повну потужність за формулою (2.7):

$$S_p = \sqrt{399^2 + 334,6^2} = 520,7 \text{ кВА.}$$

Втрати активної потужності в трансформаторі визначаються за формулою:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,02 S_p, \quad (2.10)$$

Втрати реактивної потужності визначається за формулою:

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 S_p, \quad (2.11)$$

Підставивши відповідно у формули (2.10) та (2.11) отримаємо:

$$\Delta P_{\text{тр}} = 0,03 \cdot 520,7 = 15,6 \text{ кВт},$$

$$\Delta Q_{\text{тр}} = 0,1 \cdot 520,7 = 52,1 \text{ квар.}$$

Прорахуємо навантаження на високій напрузі ТП:

$$P_{\text{вн}} = P_{\text{н.н}} + \Delta P_{\text{тр}}, \quad (2.12)$$

$$Q_{\text{вн}} = Q_{\text{н.н}} + \Delta Q_{\text{тр}}, \quad (2.13)$$

Підставивши відповідно у формули (2.12) та (2.13) отримаємо:

$$P_{\text{вн}} = 399 + 15,6 = 414,6 \text{ кВт},$$

$$Q_{\text{вн}} = 334,6 + 52,1 = 386,7 \text{ квар},$$

$$S_{\text{вн}} = \sqrt{414,6^2 + 386,7^2} = 566,9 \text{ кВА.}$$

Проведемо аналогічні розрахунки для інших споживачів та отримані дані розрахунків зведемо до таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Розрахунок електроприймачів які живляться від трансформаторної підстанції

Назва ЕП	n , од	$P_{\text{нi}}$	$P_{\text{н}\Sigma}$	P_{max} P_{min}	$K_{\text{в}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{н}}$, кВт	$Q_{\text{н}}$, квар	пр.е	пе	$K_{\text{р}}$	$P_{\text{р}}$, кВт	$Q_{\text{р}}$, квар	$S_{\text{р}}$, кВА
Світлодіодні світильники	1600	0,025	40		0,2	0,33	8	2,6						
Система освітлення	1600		40	1	0,20		8	2,6	3200	1600	1	8	2,9	8,4
Ліфт пасажирський	4	7,5	30		0,2	1,02	6	6,1						
Силове обладнання	4		30	1	0,20		6	6,1	8	4	1	6	6,1	8,6
Холодильники	206	0,5	103		0,15	1,33	15,45	20,6						

Продовження таблиці 2.4

Назва ЕП	n , од	$p_{\text{н}}$	$P_{\text{н}\Sigma}$	p_{max} p_{min}	$K_{\text{в}}$	$\text{tg}\varphi$	$P_{\text{н}}$, кВт	$Q_{\text{н}}$, квар	$np.e$	ne	Kp	Pp , кВт	Qp , квар	Sp , кВА
Пральні машини	206	1,5	309		0,25	1,33	77,25	103						
Електрочайник	150	2	300		0,2	0,75	60	45						
Мікрохвильові печі	185	0,8	148		0,2	0,75	29,6	22,2						
ПК, ТВ, дрібна техніка	198	0,7	138,6		0,6	0,62	83,16	51,5						
Пилосос	140	1,5	210		0,8	0,88	168	148,2						
Фен	130	1,7	221		0,2	1,33	44,2	58,9						
Інше обладнання	1215		1017,6	4,0	0,38		384,96	325,8	1017,6	721	1	384,9	325,8	504,3
Сумарне навантаження на шинах 0,4 кВ ТП1	2817		1072,6	300	0,37		399	334,58	290,03	290	1	399	334,6	520,7
Втрати потужності у ТП												15,6	52,1	
ТП 10 кВ												414,6	386,7	566,9

У табл. 2.5 наведено узагальнені показники енергетичної ефективності житлового комплексу, що дозволяють оцінити рівень використання енергоресурсів у розрахунку на одиницю площі будівлі. Отримані значення свідчать про домінування теплової складової у структурі енергоспоживання, зокрема на потреби опалення та гарячого водопостачання, які формують основне навантаження впродовж опалювального періоду. Така структура є типовою для багатоквартирних житлових будинків у кліматичних умовах України та суттєво залежить від температури зовнішнього повітря, тривалості опалювального сезону та режимів експлуатації приміщень. Показник питомого споживання первинної енергії та рівень викидів парникових газів характеризують будівлю як об'єкт із середнім рівнем енергоефективності та наявним потенціалом для подальшої оптимізації

шляхом впровадження енергоощадних заходів. Значення сумарного питомого енергоспоживання становить 119,5 кВт·год/м³.

Таблиця 2.5 - Показники енергетичної ефективності житлового комплексу

Показник	Значення, (кВт·год/м ²)
Питома енергетична потреба на опалення, охолодження та ГВП	83,3
Питоме споживання енергії під час опалення	73,6
Питоме споживання енергії на охолодження	5,2
Питоме споживання енергії на гаряче водопостачання	40,7
Питомі витрати на роботу вентиляційної системи	2,9
Питоме електроспоживання системи освітлення	6,7
Питоме споживання первинної енергії	158,58
Річні питомі викиди парникових газів, кг/м ²	30,22

У табл. 2.6 представлено деталізовану структуру річного енергоспоживання за основними інженерними системами будівлі. Аналіз даних показує, що найбільшу частку споживання становить система опалення, гаряче водопостачання, тоді як витрати на вентиляцію та освітлення мають відносно незначний внесок.

Таблиця 2.6 - Структура енергоспоживання будівлі

Вид споживання	Розрахунковий обсяг річного споживання	
	тис. кВт·год	(кВт·год)/м ²
Опалення	787,15	73,6
Вентиляція	30,74	2,9
Гаряче водопостачання	434,65	40,7

Продовження таблиці 2.6

Вид споживання	Розрахунковий обсяг річного споживання	
	тис. кВт·год	(кВт·год)/м ²
Охолодження	55,25	5,2
Освітлення	71,31	6,7
Разом	1379,09	129,1

Отже, продемонструємо результати енергоспоживання житловим комплексом на рис. 2.6.

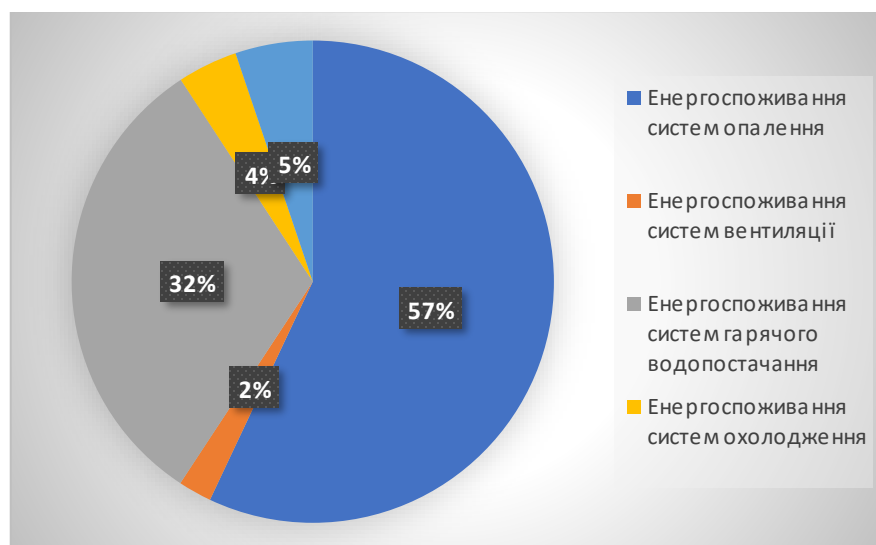


Рисунок 2.6 – Річне енергоспоживання будівлі, %

Найбільшу частку в загальному енергоспоживанні становить система опалення, що свідчить про основні теплові навантаження у холодний період року. Значні витрати припадають також на систему гарячого водопостачання, яка функціонує цілорічно. Порівняно менші обсяги споживання демонструють системи вентиляції, охолодження та освітлення, що відповідає вимогам сучасної енергоефективної будівлі з переважним використанням LED-освітлення та природної вентиляції.

2.5 Оцінка поточного рівня енергоефективності

Показники енергетичної ефективності житлової будівлі слугують основою для комплексного оцінювання раціональності використання паливно-енергетичних ресурсів та встановлення допустимих меж річних витрат енергії відповідно до чинних нормативних вимог. Вони дозволяють кількісно охарактеризувати енергетичний стан будівлі, порівняти його з нормативними або еталонними значеннями, а також визначити потенціал для подальшого зниження енергоспоживання. Зазначені показники застосовуються на всіх етапах життєвого циклу будівлі: під час проєктування, будівництва, введення в експлуатацію та в процесі подальшої експлуатації, що робить їх універсальним інструментом енергетичного аналізу.

При формуванні показників енергоефективності враховується категорія відповідальності об'єкта, функціональне призначення будівлі, кліматичні умови району будівництва, а також конструктивні та інженерні особливості. Сукупність цих факторів визначає клас енергетичної ефективності будівлі та її відповідність сучасним вимогам енергозбереження.

Одним із важливих чинників, що безпосередньо впливає на рівень енергетичних витрат, є компактність будівлі. Показник компактності характеризує співвідношення площі зовнішніх огорожувальних конструкцій до об'єму будівлі. Зменшення цього показника шляхом оптимізації об'ємно-планувальних рішень дозволяє суттєво скоротити теплові втрати через огорожувальні конструкції. За однакового значення приведенного опору теплопередачі стін, покрівлі та перекриттів будівлі з меншою компактністю потребують меншої кількості енергії для підтримання нормативного теплового комфорту порівняно з будівлями складної геометричної форми, які мають більшу площу теплообміну з навколишнім середовищем.

Клас енергетичної ефективності будівлі визначається відповідно до вимог Наказу №261, який регламентує методику оцінювання енергетичних показників та встановлює критерії їх порівняння. Основним критерієм виступає показник ΔEP ,

що характеризує відхилення між фактичним сумарним питомим енергоспоживанням на опалення та охолодження (EP_{use}) і нормативно встановленим граничним значенням (EP_p), визначеним для відповідної температурної зони. Розрахунок цього параметра виконується за формулою:

$$\Delta_{EP} = [(EP_{use} - EP_p) / EP_p] \cdot 100, \quad (2.14)$$

де EP_{use} - загальне питома енергоспоживання на опалення та охолодження, кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Загальне питома енергоспоживання визначається як сума питомих витрат енергії на опалення та охолодження будівлі:

$$EP_{use} = EP_{H use} + EP_{C use}, \quad (2.15)$$

де $EP_{H use}$, $EP_{C use}$ - відповідно питомі витрати енергії на опалення та охолодження будівлі, кВт·год/м², [кВт·год/м³].

Питома енергоспоживання при опаленні ($EP_{H use}$) розраховується за формулою для житлових будівель:

$$EP_{H use} = \frac{Q_{H use}}{A_f}, \quad (2.16)$$

де $Q_{H use}$ - річне енергоспоживання будівлі на опалення, кВт· год;

A_f - опалювальна площа для житлової будівлі, м².

Підставляючи розрахункові значення у формулу (2.16), отримуємо:

$$EP_{H use} = \frac{785150}{10689} = 73,6 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Питома енергоспоживання при опаленні ($EP_{C use}$) розраховується за формулою для житлових будівель:

$$EP_{C use} = \frac{Q_{C use}}{A_f}, \quad (2.17)$$

де $Q_{C use}$ - річне енергоспоживання будівлі на охолодження, кВт· год;

Підставляємо у формулу (2.17) і отримаємо:

$$EP_{C use} = \frac{55250}{10689} = 5,2 \text{ кВт·год/м}^3.$$

Підставимо значення у формулу (2.15) для знаходження загального енергоспоживання:

$$EP_{use} = 73,6 + 5,2 = 78,8 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3.$$

Нормативне граничне значення питомого енергоспоживання для житлових будівель, розташованих у I температурній зоні України становить $EP_p = 85 \text{ кВт} \cdot \text{год} / \text{м}^3$. На основі встановлених даних розрахуємо показник Δ_{EP} , підставивши значення у формулу (2.14):

$$\Delta_{EP} = [(78,8 - 85) / 85] \cdot 100 = -7,3 \, \%.$$

Відповідно до класифікації енергетичної ефективності, наведеної на рисунку 2.7, це відповідає класу енергоефективності C, що характеризується відповідністю чинним нормативним вимогам.



Рисунок 2.7 – Клас енергетичної ефективності житлового комплексу

Висновки до розділу 2

У другому розділі проведено комплексний аналіз багатоквартирного житлового будинку ОСББ «Ю124» як об'єкта дослідження. Було описано основні конструктивні елементи будівлі, оцінено технічний стан зовнішніх огорожувальних конструкцій, покрівлі та підвальних перекриттів, а також визначено їх теплотехнічні характеристики. Проаналізовано інженерні системи:

опалення, гаряче водопостачання, вентиляцію, освітлення та сонячну електростанцію, що дозволяє забезпечувати комфортні умови експлуатації та частково покривати потреби будівлі власними відновлюваними джерелами енергії.

Проаналізовано дані про споживання електроенергії за 2022–2024 роки. Визначено, скільки електроенергії споживається в квартирах, приміщеннях та місцях загального користування. Також створено енергетичний баланс будівлі. Ці дані дозволили оцінити, як використовується енергія, і знайти основні точки найбільшого споживання.

Проведено обчислення основних коефіцієнтів енергоефективності та визначено клас енергоефективності будівлі. З'ясовано, що фактичне споживання енергії на одиницю площі є нижчим за нормативне значення, що відповідає класу С, підтверджуючи цим хороший рівень енергоефективності.

РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА СИСТЕМИ ЕНЕРГОМОНІТОРИНГУ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

3.1 Концепція та принципи побудови системи енергомоніторингу

Запропонована система енергомоніторингу розробляється для житлового комплексу ОСББ «Ю124», який включає дев'ятиповерхову житлову будівлю з двома під'їздами та загальною опалювальною площею 10 689 м². Будівля експлуатується в умовах дії ринкових тарифів на енергоресурси, що зумовлює необхідність постійного контролю, аналізу та оптимізації енергоспоживання. У зв'язку з цим впровадження сучасної системи енергомоніторингу розглядається як інструмент підвищення енергетичної та економічної ефективності управління житловим фондом.

Основною метою створення системи є формування достовірної, структурованої та актуальної інформаційної бази щодо фактичного споживання електроенергії, природного газу та води як у цілому по будівлі, так і на рівні окремих функціональних зон та груп споживачів. Отримані дані мають забезпечити можливість виявлення нераціональних режимів використання енергоресурсів, оцінки динаміки споживання у часі, а також обґрунтування управлінських рішень, спрямованих на зниження експлуатаційних витрат ОСББ.

Концепція системи енергомоніторингу ґрунтується на принципі поетапного та безперервного збору даних з приладів обліку з подальшою централізованою обробкою, зберіганням і аналізом інформації. Такий підхід дозволяє перейти від епізодичного контролю показників лічильників до постійного автоматизованого моніторингу, що є ключовою умовою ефективного управління енергоспоживанням у сучасних житлових будинках.

Особливістю розглянутого житлового комплексу є наявність індивідуальних газових котлів у квартирах, які забезпечують опалення та гаряче водопостачання. Це обумовлює суттєву частку споживання природного газу в загальному енергетичному балансі будівлі та визначає необхідність його

пріоритетного контролю. Водночас значні витрати формуються за рахунок електроспоживання місць загального користування, зокрема роботи ліфтів, освітлення сходових клітин, підвалів, зовнішнього освітлення та допоміжного обладнання. У зв'язку з цим система енергомоніторингу проєктується як комплексна, орієнтована на одночасний облік декількох видів енергоресурсів.

Одним із базових принципів побудови системи є ієрархічність структури моніторингу (див. рис.3.1), яка передбачає розподіл об'єктів контролю за рівнями. На рівні будівлі здійснюється облік загального споживання електроенергії, природного газу та води, що дозволяє формувати інтегральні показники енергоспоживання та оцінювати загальну ефективність експлуатації будинку. Рівень під'їздів забезпечує деталізацію електроспоживання місць загального користування, що є необхідним для аналізу роботи інженерних систем і виявлення надлишкових витрат. Передбачається інтеграція індивідуальних лічильників квартирний рівня, насамперед газових, що дозволяє формувати більш точну картину споживання.

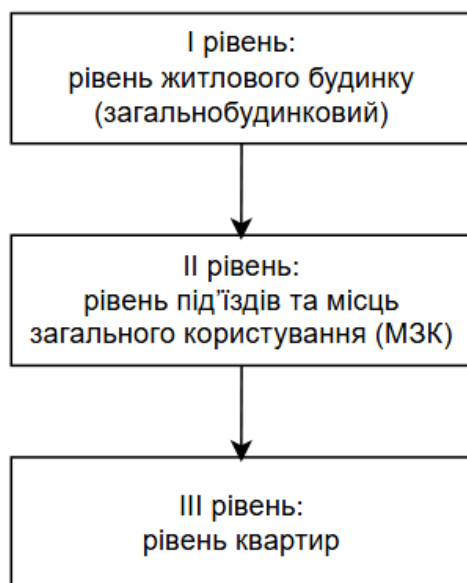


Рисунок 3.1 – Ієрархічна структура енергомоніторингу

Важливим принципом концепції є масштабованість системи, тобто можливість її поступового розширення без необхідності повної реконструкції. Це

дозволяє впроваджувати енергомоніторинг поетапно, починаючи з основних вузлів обліку, та в подальшому доповнювати систему новими датчиками, приладами або аналітичними модулями залежно від потреб ОСББ та фінансових можливостей.

Система енергомоніторингу орієнтована не лише на технічний, але й на економічний аналіз споживання енергоресурсів. При проєктуванні враховуються діючі тарифи на електроенергію та природний газ, що дозволяє в автоматизованому режимі переводити фізичні показники споживання у вартісні. Такий підхід забезпечує прозорість витрат, полегшує планування бюджету ОСББ та дозволяє оперативно оцінювати економічний ефект від реалізації заходів з енергоефективності.

Ще одним ключовим принципом є надійність та безперервність роботи системи. Проєктні рішення передбачають збереження даних у разі короточасних збоїв зв'язку, використання буферизації інформації та можливість відновлення повного масиву даних після нормалізації роботи каналів передачі. Це особливо важливо для житлових будівель, де стабільність інтернет-з'єднання може бути змінною.

Крім того, система енергомоніторингу має бути орієнтованою на користувача та забезпечувати зручний доступ до результатів аналізу. Для цього передбачається візуалізація даних у вигляді графіків, діаграм та зведених звітів, що дозволяє членам правління ОСББ та відповідальним особам швидко оцінювати поточний стан енергоспоживання та приймати обґрунтовані управлінські рішення.

Додатково слід зазначити, що впровадження системи енергомоніторингу для ОСББ «Ю124» розглядається як елемент переходу до системного енергоменеджменту житлової будівлі. На відміну від традиційного підходу, який обмежується зняттям показників лічильників у кінці розрахункового періоду, запропонована система дозволяє здійснювати постійний контроль енергоспоживання з високою часовою роздільною здатністю. Це створює передумови для оперативного реагування на відхилення від нормальних режимів роботи інженерних систем та запобігання необґрунтованим втратам енергоресурсів.

Важливою складовою концепції є орієнтація системи на реальні умови експлуатації багатоквартирного житлового будинку. Проектні рішення враховують обмежений доступ до квартирних приміщень, необхідність мінімального втручання у внутрішньобудинкові мережі, а також вимоги до безперервності обліку без створення додаткових незручностей для мешканців. У зв'язку з цим система енергомоніторингу передбачає пріоритетне використання існуючих приладів обліку з можливістю їх інтеграції в автоматизовану систему збору даних.

Окрему увагу в межах концепції приділено аналізу сезонних та добових коливань енергоспоживання. Для житлового комплексу з індивідуальними газовими котлами характерні значні зміни навантаження в опалювальний період, а також залежність споживання від температури зовнішнього повітря. Використання системи енергомоніторингу дозволяє встановлювати кореляційні зв'язки між параметрами мікроклімату та обсягами споживання газу й електроенергії, що є основою для подальшої оптимізації режимів експлуатації будівлі.

Принцип відкритості та сумісності також є важливим для побудови системи. Запропонована концепція передбачає використання стандартних інтерфейсів і протоколів передачі даних, що забезпечує можливість інтеграції обладнання різних виробників та знижує ризики технологічної залежності від одного постачальника. Це особливо актуально для ОСББ, де рішення щодо модернізації інженерних систем часто реалізуються поступово протягом декількох років.

Крім того, система енергомоніторингу розглядається як інформаційна основа для подальшого впровадження заходів з енергоефективності. Наявність детальних даних про фактичне споживання енергоресурсів дозволяє обґрунтовано оцінювати ефективність таких заходів, як модернізація освітлення місць загального користування, оптимізація роботи насосного та ліфтового обладнання, утеплення огорожувальних конструкцій або впровадження автоматизованих систем керування. Таким чином, система не лише фіксує споживання, але й виконує роль інструменту контролю досягнення енергозберігаючого ефекту.

В межах запропонованої концепції система енергомоніторингу доповнюється кластерним аналізом, який використовується для групування об'єктів споживання за характером та інтенсивністю використання енергоресурсів. На основі часових рядів споживання електроенергії, природного газу та води формуються кластери споживачів із подібними режимами навантаження, що дозволяє ідентифікувати зони підвищеного енергоспоживання та потенційні джерела нерациональних витрат.

3.2 Архітектура системи енергомоніторингу житлового комплексу

Структура системи енергомоніторингу, орієнтовану на потреби ОСББ та управління енергоефективністю житлового комплексу сформована з урахуванням конструктивних особливостей будівлі, наявної інженерної інфраструктури та реальних умов експлуатації багатоквартирного житлового комплексу, що перебуває в управлінні ОСББ. Основним завданням такої архітектури є не лише забезпечення надійного збору та передачі даних про споживання енергоресурсів, але й створення інформаційної основи для управління енергоефективністю будинку на рівні правління ОСББ.

Система побудована за такою архітектурою:

- рівень первинного збору даних;
- рівень передачі та агрегації інформації;
- рівень серверної обробки та візуалізації.

Така структурна організація дозволяє адаптувати систему до існуючих інженерних мереж житлового будинку, забезпечує її масштабованість та поетапне розширення функціональних можливостей без суттєвих змін апаратної частини. Орієнтація архітектури на потреби ОСББ забезпечує можливість формування аналітичних звітів, контролю витрат енергоресурсів і прийняття управлінських рішень, спрямованих на підвищення енергоефективності житлового комплексу. Загальна схема системи енергомоніторингу наведена на рис. 3.2.



Рисунок 3.2 – Структура системи енергомоніторингу

1. Рівень збору даних: є базовим елементом системи та охоплює всі первинні вимірювальні пристрої, встановлені на інженерних мережах будівлі. Вибір конкретних приладів обумовлений необхідністю забезпечення достатньої точності обліку, сумісності з системами дистанційного зчитування та мінімального втручання у вже існуючі мережі.

Облік електричної енергії

Для контролю електроспоживання в будівлі застосовуються багатотарифні електролічильники для фіксації загального електроспоживання ОСББ та для обліку електроенергії, що споживається місцями загального користування. Використання таких лічильників дозволяє аналізувати структуру споживання залежно від часу доби та оцінювати потенціал оптимізації витрат з урахуванням тарифу.

Облік природного газу

Особливістю житлового комплексу є наявність індивідуальних газових котлів у квартирах, які використовуються для опалення. У зв'язку з цим ключовим завданням системи є оцінка сумарного споживання природного газу будинком та

аналіз його сезонної динаміки. Для цього використовуються квартирні газові лічильники: з інтегрованими LoRaWAN-модулями.

Облік холодної води

для контролю споживання холодної води використовуються водоміри з імпульсними модулями, які забезпечують сумісність із системою автоматизованого збору даних.

Контроль параметрів мікроклімату

Також для коректного аналізу енергоспоживання та впливу зовнішніх факторів у системі передбачено встановлення датчиків температури та відносної вологості:

- у підвальних приміщеннях;
- у місцях загального користування.

Отримані дані використовуються для аналізу умов експлуатації будівлі, а також для пояснення коливань споживання енергоресурсів у різні періоди року.

2. Канали передачі даних: у нашій системі енергомоніторингу реалізується за комбінованою схемою, що поєднує дротові та бездротові технології залежно від типу приладів та умов їх розміщення.

Для стаціонарних вузлів обліку, розташованих у технічних приміщеннях, застосовуються дротові канали зв'язку:

- Modbus RTU (RS-485) - для електрولیчильників;
- M-Bus - для водолічильників.

Для квартирних приладів обліку та датчиків, де прокладання кабелів є технічно або економічно недоцільним, використовується бездротова технологія LoRaWAN. Вона забезпечує:

- передачу даних на великі відстані;
- низьке енергоспоживання кінцевих пристроїв;
- можливість роботи автономних вузлів протягом тривалого часу.

У підвальному приміщенні будинку встановлюється локальний контролер збору даних, який виконує функції агрегації інформації з усіх джерел. Контролер

оснащений внутрішньою пам'яттю для буферизації даних та забезпечує їх збереження у разі тимчасової втрати зв'язку із сервером.

3. Обробка та візуалізація: розміщується у хмарному середовищі, що дозволяє забезпечити цілодобовий доступ до даних та не потребує встановлення складного обладнання на об'єкті.

Програмна платформа включає:

- базу даних для зберігання первинних і агрегованих показників;
- модуль обробки даних;
- веб-інтерфейс доступу для правління ОСББ.
- застосування кластерного аналізу, для виявлення типових і нерациональних режимів енергоспоживання.

Програмне забезпечення забезпечує автоматичний розрахунок погодинних, добових, місячних та річних обсягів споживання електроенергії, газу та води. На основі цих даних формуються енергетичні баланси будівлі та окремих груп споживачів.

Окремо реалізовано модуль економічного аналізу, який виконує перерахунок спожитих обсягів у грошові витрати з урахуванням чинних тарифів. Це дозволяє оперативно оцінювати структуру витрат та приймати рішення щодо впровадження заходів з підвищення енергоефективності.

Отже, у відповідних блоках встановлюються різноманітні вимірювальні пристрої та сенсори (рис. 3.3), які забезпечують комплексний моніторинг споживання енергоресурсів і параметрів навколишнього середовища. Сукупність цих елементів забезпечує достовірність і повноту первинних даних, необхідних для подальшої централізованої обробки, аналізу та прийняття управлінських рішень. Зібрана інформація передається до вищих рівнів системи з використанням дротових та бездротових каналів зв'язку, де здійснюється її агрегування, попередня перевірка та серверна обробка даних із застосуванням методів кластерного аналізу. Надійність роботи цього рівня є критично важливою, оскільки саме якість первинних вимірювань і результати кластерного аналізу визначають точність подальшого аналізу, коректність оцінки енергоспоживання та обґрунтованість

управлінських рішень щодо підвищення енергоефективності житлового комплексу.

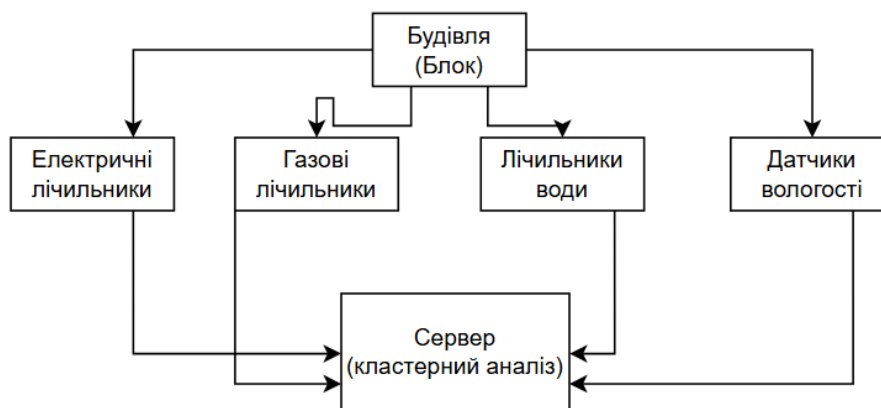


Рисунок 3.3 – Процес збору даних

Запропонована архітектура системи енергомоніторингу є адаптованою до умов конкретного житлового комплексу, забезпечує повноту збору даних, надійність передачі інформації та практичну цінність результатів для управління енергоспоживанням будівлі: у нашій системі енергомоніторингу реалізується за комбінованою схемою, що поєднує дротові та бездротові технології залежно від типу приладів та умов їх розміщення.

3.3 Вибір технічних рішень і платформ

Вибір технічних рішень для системи енергомоніторингу житлового комплексу здійснювався з урахуванням конструктивних особливостей будівлі, наявних інженерних мереж, режимів експлуатації та фінансових можливостей об'єднання співвласників.

Для обліку електричної енергії у будівлі прийнято рішення використовувати багатотарифні електролічильники типу МТХ, які широко застосовуються в житловому секторі України та відповідають вимогам операторів системи розподілу. Лічильники встановлюються:

- на вводі будинку;

– у щитових під'їзду для обліку споживання місць загального користування.

Обрані лічильники підтримують сучасні протоколи, що дозволяє здійснювати дистанційне зчитування показників та інтеграцію з локальним контролером. Використання багатотарифного обліку створює передумови для аналізу добових графіків навантаження та оцінки ефективності споживання електроенергії з урахуванням діючого тарифу.

Облік споживання природного газу в квартирах здійснюється за допомогою індивідуальних газових лічильників з інтегрованими LoRaWAN-модулями. Вибір саме такого рішення дозволяє автоматизувати збір даних без прокладання додаткових кабельних ліній та забезпечує стабільну передачу інформації з квартир до центрального вузла збору даних.

Для обліку холодної води застосовуються водолічильники з імпульсним виходом, які підключаються до модулів збору імпульсних сигналів. Така схема дозволяє забезпечити сумісність із централізованою системою моніторингу та уніфікувати підхід до збору даних з різних типів приладів.

Контроль параметрів мікроклімату реалізується за допомогою цифрових датчиків температури та відносної вологості з бездротовою передачею даних за технологією LoRaWAN, встановлених у підвальних приміщеннях та місцях загального користування.

Як центральний елемент локального рівня системи обрано контролер збору даних, встановлений у підвальному технічному приміщенні будівлі. Контролер забезпечує опитування електролічильників по дротових інтерфейсах RS-485 з протоколом Modbus RTU та водомірів по M-Bus, а також прийом даних від бездротових пристроїв LoRaWAN, зокрема квартирних газових лічильників та датчиків мікроклімату. Для передачі даних на сервер обрано комунікаційні канали Ethernet та GSM резервний канал. Основним каналом є дротовий Ethernet, що забезпечує високу пропускну здатність та надійність передавання даних у режимі реального часу. GSM-канал використовується як резервний, що гарантує безперервний збір інформації навіть у випадку відсутності локальної мережі.

Технологія LoRaWAN застосовується для квартирних вузлів обліку завдяки великому радіусу дії (до 1 км у міських умовах) та низькому енергоспоживанню пристроїв, що дозволяє безперервно контролювати споживання газу та параметри мікроклімату без необхідності прокладання додаткових кабелів.

Таке технічне рішення забезпечує надійну інтеграцію усіх вимірювальних приладів у єдину систему, гарантує стійкість до збоїв та дає змогу масштабувати систему у майбутньому, підключаючи нові вузли обліку або додаткові сенсори. У таблиці 3.1 наведене основне обладнання.

Таблиця 3.1 – Вибране обладнання для системи енергомоніторингу

Параметр	Тип приладу	Місце встановлення
Електроенергія	Багатотарифний електролічильник	Ввід будинку, електрощитові під'їздів
Холодна вода	Ультразвуковий водолічильник Apator з імпульсним виходом	Ввід будинку, вузли розподілу
Природний газ	Газовий лічильник Elster з імпульсним виходом	Квартирні вузли, газовий ввід
Температура, вологість	ІоТ-датчик мікроклімату промислового виконання	Підвал, місця загального користування
Збір даних	Локальний контролер збору даних	Підвальне технічне приміщення

Для реалізації функцій обробки та візуалізації даних у межах даної роботи обрано ExpertPower як центральний програмний компонент системи енергомоніторингу будівлі. Вибір даного програмного рішення обумовлений особливостями експлуатації нашої будівлі: дев'ятиповерхового житлового будинку з двома під'їздами, індивідуальними газовими котлами в квартирах та значною часткою споживання електроенергії. Це програмна платформа, призначена для дистанційного обліку, аналізу та візуалізації споживання паливно-енергетичних ресурсів (див. рис. 3.4).

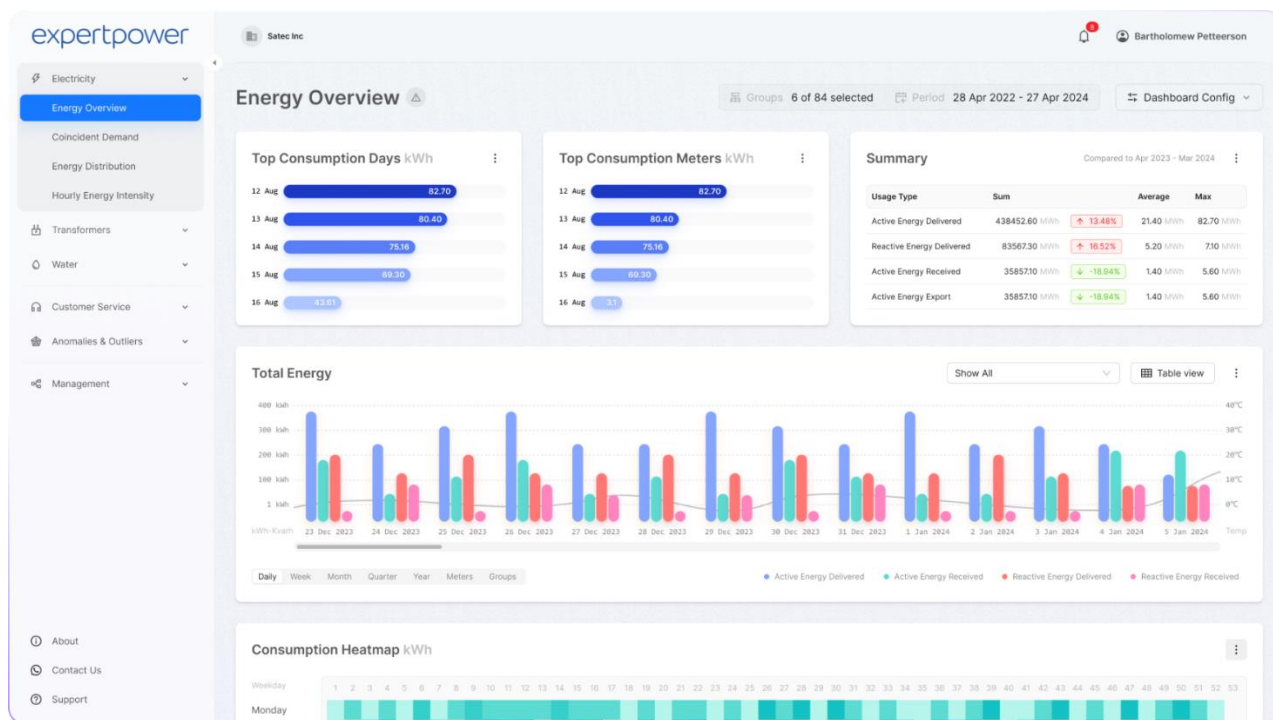


Рисунок 3.4 –Робота системи в режимі реального часу

Ключовим завданням є не лише фіксація показників лічильників, а формування цілісної картини енергоспоживання будинку з можливістю аналізу динаміки, структури витрат і впливу зовнішніх факторів. Саме ці вимоги визначили доцільність використання платформи ExpertPower, яка орієнтована на роботу з багатоквартирними житловими об'єктами та підтримує облік кількох видів енергоресурсів у межах одного інформаційного середовища.

Платформа ExpertPower забезпечує централізований прийом даних від вузлів обліку електричної енергії, природного газу та холодної води, які встановлені на вводі будинку, у під'їздах та квартирних вузлах. Передавання даних здійснюється через локальний контролер збору інформації, що відповідає ієрархічній структурі системи енергомоніторингу. Така схема дозволяє зберігати цілісність даних, мінімізувати втрати інформації та забезпечити стабільну роботу системи в умовах житлової забудови.

ExpertPower є спеціалізованим програмним продуктом для моніторингу та аналізу споживання різних видів енергетичних ресурсів, зокрема електричної

енергії, природного газу та води. Платформа забезпечує автоматизований прийом даних від приладів обліку та систем збору інформації, що дозволяє організувати безперервний контроль енергоспоживання у режимі реального часу та накопичення історичних даних.

Програмна платформа реалізована у вигляді хмарного сервісу з цілодобовою доступністю, що забезпечує віддалений доступ до результатів моніторингу з будь-яких пристроїв, підключених до мережі Інтернет. Такий підхід є доцільним для використання в ОСББ, оскільки спрощує адміністрування системи та не потребує розгортання власної серверної інфраструктури в будівлі (див. рис. 3.5).

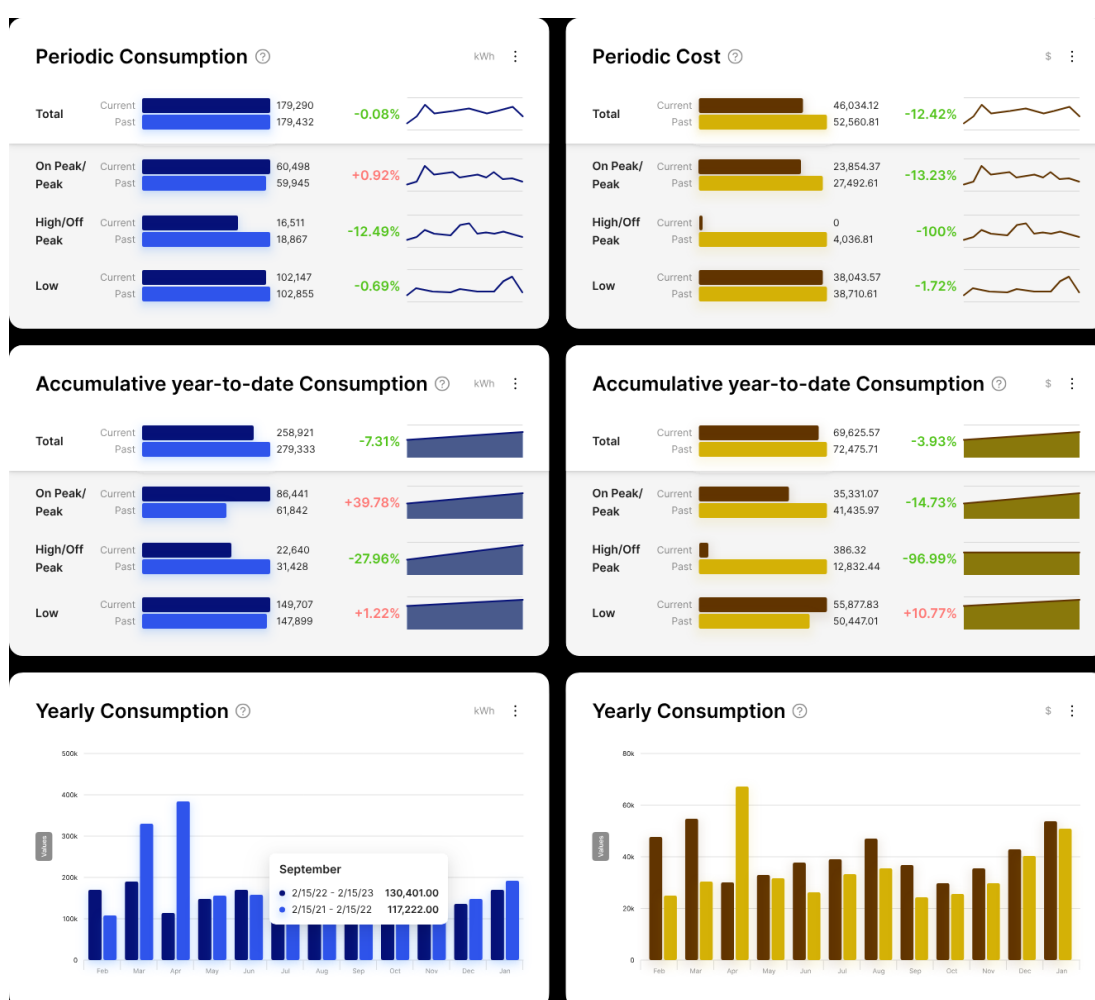


Рисунок 3.5 – Аналіз та візуалізація зібраних даних

Функціональні можливості ExpertPower є критично важливими саме для даного об'єкта, оскільки платформа дозволяє:

- формувати погодинні, добові та місячні графіки споживання електроенергії місцями загального користування;
- аналізувати сезонну динаміку споживання природного газу, що є визначальним фактором для будинку з індивідуальними газовими котлами;
- виконувати порівняльний аналіз споживання між під'їздами та окремими періодами експлуатації;
- автоматично переводити фізичні показники споживання у вартісні з урахуванням чинних тарифів.

Застосування платформи ExpertPower у межах житлового комплексу дозволить здійснювати оперативний контроль динаміки споживання енергоресурсів у розрізі окремих зон будівлі, інженерних систем та часових інтервалів. Наявність детальної аналітики сприятиме своєчасному виявленню відхилень від нормативних режимів роботи, зокрема пікових навантажень, прихованих втрат або нераціонального використання ресурсів у місцях загального користування. Отримані дані можуть використовуватися правлінням ОСББ для планування енергоощадних заходів, обґрунтування інвестицій у модернізацію інженерних систем та оцінки ефективності впроваджених технічних рішень у середньо- та довгостроковій перспективі.

3.4 Інтеграція системи з існуючими інженерними мережами ЖК

Інтеграція системи енергомоніторингу з існуючими інженерними мережами житлового комплексу ОСББ «Ю124» є ключовим етапом впровадження, оскільки забезпечує можливість отримання достовірних даних без суттєвого втручання у роботу інженерних систем будівлі. Основним завданням інтеграції є підключення приладів обліку та датчиків до системи збору даних з урахуванням технічного стану мереж, вимог безпеки та умов експлуатації житлового будинку.

Інтеграція з електричними мережами будівлі здійснюється на рівні головного вводу та розподільчих щитів під'їздів. Встановлення та підключення багатотарифних електролічильників виконується у існуючих електрощитових без зміни схем електропостачання. Інтеграція не потребує знеструмлення будівлі на тривалий час та не порушує вимоги чинних норм з електробезпеки.

З урахуванням використання у квартирах індивідуальних газових котлів інтеграція системи енергомоніторингу з газовими мережами реалізується шляхом підключення до квартирних газових лічильників без втручання у газопроводи. Для цього використовуються лічильники, оснащені імпульсними або цифровими виходами, до яких підключаються бездротові модулі передачі даних. Передача інформації про обсяги спожитого газу здійснюється у фоновому режимі з використанням технології LoRaWAN, що не впливає на роботу газового обладнання та не створює додаткових ризиків для системи газопостачання. Такий підхід забезпечує дотримання вимог безпеки та дозволяє отримувати агреговані дані без необхідності регулярного ручного зняття показників..

Інтеграція з системою холодного водопостачання здійснюється шляхом використання водолічильників з імпульсними виходами, встановлених на вводі будинку та у вузлах внутрішнього розподілу. Імпульсні сигнали з лічильників надходять до пристроїв збору даних, що дозволяє фіксувати фактичне водоспоживання з високою часовою роздільною здатністю. Це створює умови для аналізу добових графіків споживання води, виявлення витоків та оцінки ефективності водокористування в місцях загального користування.

Процес інтеграції системи енергомоніторингу виконується поетапно з мінімальним впливом на мешканців будинку. Основні монтажні роботи проводяться у технічних приміщеннях, доступ до квартир необхідний лише у разі встановлення або модернізації індивідуальних лічильників.

3.5 Застосування кластерного аналізу в системі енергетичного моніторингу будинку

Ефективне впровадження системи енергетичного моніторингу в багатоквартирних житлових будівлях потребує чіткого визначення пріоритетних об'єктів, на яких моніторинг повинен бути реалізований у першу чергу, а також обґрунтованого вибору методів встановлення приладів обліку залежно від специфіки споживання. Енергоспоживання квартир та технічних приміщень істотно відрізняється не лише за абсолютними величинами, але й за структурою, режимами використання, варіативністю, наявністю пікових навантажень, а також поведінковими особливостями мешканців. Ці фактори створюють необхідність застосування математичних та аналітичних методів обробки даних, зокрема кластерного аналізу, який дозволяє виділити групи споживачів із подібними характеристиками енергоспоживання. Використання такого підходу забезпечує об'єктивне визначення пріоритетів для встановлення систем моніторингу та дозволяє ефективно розподіляти ресурси для контролю і оптимізації енергоспоживання в будівлі.

Метою кластеризації є виділення класів споживачів енергії для моніторингу. Формування таких класів забезпечує можливість раціонального розподілу обладнання, зменшення фінансових витрат на впровадження системи та підвищення аналітичної цінності.

Кластерний аналіз - це метод статистичного групування, метою якого є поділ вибірки на однорідні групи таким чином, щоб об'єкти в середині кластера були максимально подібними один до одного, а між кластерами максимально відмінними. Можуть застосовуватися різні методи кластеризації: ієрархічні, мережеві, модельні, методи на основі щільності. Приклад показаний на рисунку 3.6.

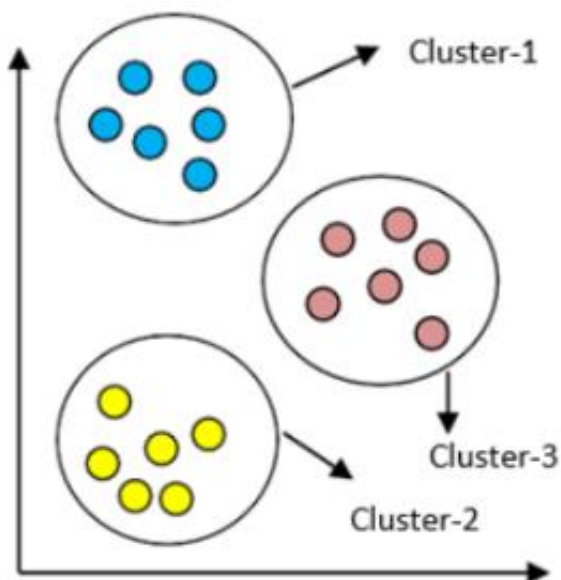


Рисунок 3.6 – Застосування кластерного аналізу

Нехай житловий комплекс містить n об'єктів (квартир, технічних приміщень, МЗК). У межах енергомоніторингу житлового комплексу критерії до набору класифікаційних параметрів можуть входити:

- Середньодобове споживання електроенергії (кВт·год).
- Максимальне пікове навантаження (кВт).
- Коефіцієнт нерівномірності енергоспоживання.
- Сезонні коливання (зима/літо).
- Рівень нічного навантаження.
- Тип опалення.
- Інтенсивність використання енергоємних приладів.
- Тип забудови та рік будівництва.
- Призначення об'єкта (житлове, технічне).

Такі параметри забезпечують коректне групування об'єктів за реальними характеристиками їхнього енергоспоживання і дозволяють приймати рішення щодо необхідності моніторингу. Набір спостережень представляються у вигляді множини $X = \{x_1, x_2, x_3, \dots, x_n\}$. Завдання кластеризації полягає у знаходженні множини кластерів $C = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_k\}$ так, щоб об'єкти з подібними характеристиками опинилися в одному кластері.

Для проведення кластерного аналізу необхідно попередньо визначити систему інформативних показників, які комплексно характеризують енергетичну поведінку споживачів. У межах даного дослідження для житлового будинку був сформований набір з чотирьох основних показників, що дозволяють оцінити як обсяг споживання, так і режим використання електроенергії. До них відносяться:

x_1 – середньодобове споживання електричної енергії (кВт·год);

x_2 – максимальне пікове навантаження (кВт);

x_3 – коефіцієнт нерівномірності добового навантаження;

x_4 – частка нічного споживання електроенергії (%).

Застосування цих показників дозволяє врахувати як абсолютні величини споживання, так і часові коливання, що є принципово важливим для коректного формування кластерів та визначення груп споживачів із схожими енергетичними характеристиками. В таблиці 3.2 використано узагальнені дані щодо окремих квартир і технічного приміщення житлового будинку.

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для кластеризації

Об'єкт	x_1 , кВт·год	x_2 , кВт	x_3	x_4 , %
Квартира 1	6,2	4,1	0,66	28
Квартира 2	8,5	5,3	0,62	31
Квартира 3	12,3	9,8	0,8	18
Квартира 4	14,1	11,2	0,79	20
Квартира 5	5,4	3,5	0,65	27
Технічне приміщення	18,2	15,6	0,86	12

Середнє значення для вибірки визначається за формулою:

$$\bar{x}_k = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (3.1)$$

де x_i – окреме значення у наборі даних;

n – кількість значень у наборі даних.

Підставляючи вихідні дані у формулу (3.1), отримаємо:

$$\bar{x}_k = \frac{6,2 + 8,5 + 12,3 + \dots + 18,2}{6} = 10,78.$$

Повторимо це для інших показників.

Стандартне відхилення визначається за формулою:

$$S_{\bar{x}_k} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\bar{x}_{ik} - \bar{x}_k)^2}{n-1}} \quad (3.2)$$

Підставляючи вихідні дані у формулу (3.2), отримаємо:

$$S_{\bar{x}_k} = \sqrt{\frac{(6,2 - 10,42)^2 + (8,5 - 10,42)^2 + \dots + (18,2 - 10,42)^2}{6 - 1}} = 4,97.$$

Стандартизація даних визначається за формулою:

$$x_{ik}^{(new)} = \frac{(x_i - \bar{x}_k)}{S_{\bar{x}_k}} \quad (3.3)$$

Підставляючи вихідні дані у формулу (3.3), отримаємо для x_{11} :

$$x_{11k}^{(new)} = \frac{6,2 - 10,78}{4,97} = -0,922.$$

Перерахуємо це для інших показників та отримаємо матрицю із стандартизованих даних (див. табл. 3.3).

Таблиця 3.3 – Стандартизовані дані

	x₁, кВт·год	x₂, кВт	x₃	x₄, %
Квартира 1	-0,922	-0,871	-0,709	0,741
Квартира 2	-0,459	-0,619	-1,113	1,157
Квартира 3	0,305	0,325	0,709	-0,648
Квартира 4	0,667	0,619	0,607	-0,370
Квартира 5	-1,083	-0,996	-0,810	0,602
Технічне приміщення	1,492	1,542	1,316	-1,481

Відстань між об'єктами обчислюється за евклідовою відстанню:

$$d_{ij} = \sqrt{\sum_{k=1}^m (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (3.4)$$

де d_{ij} – відстань між об'єктами i та j ;

x_{ik} – значення k -ї змінної для i -го об'єкта;

x_{jk} – значення k -ї змінної для j -го об'єкта.

Знайдемо відстань підставляючи у формулу (3.4):

$$d_{12} = \sqrt{(-0,922 - (-0,459))^2 + \dots + (0,741 - 1,157)^2} = 0,784.$$

Зобразимо результати прорахованих відстаней в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Матриця відстаней

	N ₁	N ₂	N ₃	N ₄	N ₅	N ₆
N ₁	0	0,784	2,622	2,777	0,267	4,548
N ₂	0,784	0	2,838	2,845	0,966	4,619
N ₃	2,622	2,838	0	0,552	2,746	1,988
N ₄	2,777	2,845	0,552	0	2,937	1,808
N ₅	0,267	0,966	2,746	2,937	0	4,683
N ₆	4,548	4,619	1,988	1,808	4,683	0

Критерій ближнього сусіда (одиничного зв'язку)

На кожному кроці об'єднуються кластери C_p , та C_s , відстань між найближчими об'єктами p та s яких мінімальна:

$$d(C_p, C_s) = \min[\min d(z_p, z_s)] \quad (3.5)$$

При його використанні на першому кроці об'єднуються два найближчих між собою об'єкта, далі об'єднання відбуваються по мінімальній відстані між двома найближчими сусідами.

На першому кроці алгоритму одиничного зв'язку відбувається об'єднання двох об'єктів, відстань між якими є мінімальною серед усіх можливих пар у всій множині об'єктів. Це дозволяє сформувати перший кластер із двох найближчих об'єктів. На наступних кроках об'єднання відбувається не просто за мінімальною відстанню між центрами мас кластерів або середньою відстанню, як у інших методах, а саме за мінімальною відстанню між будь-якими двома об'єктами з різних кластерів, що залишилися. Таким чином, метод одиничного зв'язку

гарантує, що на кожному етапі формування кластерів об'єднуються ті кластери, які мають хоча б один найближчий до іншого кластеру об'єкт.

На першому етапі ієрархічної кластеризації визначається найменша відстань у вихідній матриці, яка становить 0,267 та відповідає парі об'єктів N_1 та N_5 . Це свідчить про високу подібність даних квартир за обраними показниками енергоспоживання.

Таблиця 3.5 – Матриця після проведення ітерації №1

	$N_1 + N_5$	N_2	N_3	N_4	N_6
$N_1 + N_5$	0	0,784	2,622	2,777	4,548
N_2	0,784	0	2,838	2,845	4,619
N_3	2,622	2,838	0	0,552	1,988
N_4	2,777	2,845	0,552	0	1,808
N_6	4,548	4,619	1,988	1,808	0

На другому етапі аналізу найменша відстань у матриці становить 0,552 і спостерігається між об'єктами N_3 та N_4 . Це дозволяє зробити висновок про схожість їхніх профілів енергоспоживання, зокрема щодо пікових навантажень та нерівномірності використання електроенергії. Сформований кластер характеризує групу споживачів із подібною енергетичною поведінкою (див. табл 3.6).

Таблиця 3.6 – Матриця після проведення ітерації №2

	$N_1 + N_5$	N_2	$N_3 + N_4$	N_6
$N_1 + N_5$	0	0,784	2,622	4,548
N_2	0,784	0	2,838	4,619
$N_3 + N_4$	2,622	2,838	0	1,808
N_6	4,548	4,619	1,808	0

На третьому етапі мінімальна відстань у матриці дорівнює 0,784 та фіксується між кластером $N_1 + N_5$ і N_2 . Це свідчить про близькість квартири N_2 до вже сформованого кластера за рівнем та режимами споживання електроенергії. У результаті відбувається об'єднання цих елементів у новий кластер. (див. табл 3.7).

Таблиця 3.7 – Матриця після проведення ітерації №3

	$N_1 + N_5 + N_2$	$N_3 + N_4$	N_6
$N_1 + N_5 + N_2$	0	2,622	4,548
$N_3 + N_4$	2,622	0	1,808
N_6	4,548	1,808	0

У результаті проведення ієрархічної кластеризації методом мінімальної відстані та обмеження процесу трьома ітераціями було сформовано три кластери споживачів електричної енергії. Перший кластер ($N_1 + N_5 + N_2$) об'єднує квартири з низьким рівнем енергоспоживання та близькими режимами використання електроенергії, що характеризуються відсутністю виражених пікових навантажень. Другий кластер ($N_3 + N_4$) включає квартири із середнім рівнем споживання, для яких характерна підвищена варіативність добових графіків та наявність пікових навантажень. Третій кластер (N_6) представлений окремими об'єктами або технічними приміщеннями, які мають високий рівень споживання або специфічні режими роботи, що суттєво відрізняються від типових квартир.

Висновки до розділу 3

У третьому розділі здійснено системний аналіз структури, принципів побудови та функціональних можливостей системи енергомоніторингу, орієнтованої на застосування у багатоквартирному житловому будинку. Розглянуто основні складові системи, зокрема вимірювальні прилади обліку енергоресурсів, засоби збору та передавання даних, локальні контролери, серверну інфраструктуру та програмну платформу, що забезпечує централізовану обробку й візуалізацію інформації.

У розділі проаналізовано особливості інтеграції системи енергомоніторингу з існуючими інженерними мережами житлового комплексу, зокрема електропостачання, газопостачання та холодного водопостачання. Показано, що застосування сучасних каналів зв'язку та стандартних інтерфейсів дозволяє

здійснювати збір даних без суттєвого втручання у роботу інженерних систем і з дотриманням вимог експлуатаційної та технічної безпеки.

Окрему увагу приділено процесам обробки даних енергомоніторингу, зокрема їх агрегації, формуванню часових рядів та побудові аналітичних показників споживання. Підкреслено, що достовірність і повнота первинних вимірювань є визначальними чинниками ефективності подальшого аналізу.

На основі зібраних даних обґрунтовано доцільність застосування методів кластерного аналізу для групування споживачів та приміщень за характером і рівнем енергоспоживання. Показано, що кластеризація дозволяє виявляти типові режими використання енергоресурсів, ідентифікувати групи з підвищеним споживанням та створює аналітичну основу для подальшої оптимізації витрат і впровадження енергоощадних заходів.

Загалом результати третього розділу підтверджують, що впровадження комплексної системи енергомоніторингу з використанням спеціалізованої програмної платформи та сучасних методів аналізу даних є ефективним інструментом підвищення прозорості енергоспоживання, удосконалення управління енергоресурсами та підвищення енергоефективності багатоквартирних житлових будівель.

РОЗДІЛ 4 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЄКТУ

4.1 Загальний опис ідеї стартапу

Стартап-проект пропонує створення інтегрованої цифрової системи енергомоніторингу житлових комплексів, що включає IoT-датчики, інтелектуальне аналітичне ядро та платформу для візуалізації ключових показників споживання енергоресурсів. Основною цінністю запропонованого рішення є підвищення енергоефективності житлових будівель, зниженні експлуатаційних витрат шляхом контролю споживання, виявлення аномалій та підготовки рекомендацій для мешканців і керуючих компаній.

Система має виконувати низку функціональних завдань, які забезпечують практичну цінність для мешканців будівлі. Основні завдання системи включають:

1. Індивідуальний енергетичний облік

- здійснення автоматичного зчитування показників електроенергії, теплової енергії, води чи інших ресурсів у межах окремих приміщень;
- забезпечення користувачів персональним доступом до актуальних даних.

2. Груповий контроль споживання

- моніторинг споживання енергії у спільних зонах (коридори, освітлення, технічні приміщення);
- підтримка управлінців у розробці заходів зі зниження енергоспоживання та оптимізації режимів роботи обладнання.

3. Виявлення аномалій

- автоматичне розпізнавання відхилень у характері споживання, що можуть свідчити про витoki, поломки або нераціональне використання;
- оперативні попередження для користувача.

4. Оптимізація енергоспоживання

- використання вбудованих аналітичних алгоритмів для визначення зон потенційної економії;

– рекомендації щодо адаптації режимів споживання відповідно до завантаження будівлі;

5. Інформаційна взаємодія та звітність

– автоматизоване формування звітів різної деталізації для користувачів, адміністрації та керівних органів;

– забезпечення доступу до інтерфейсу через вебплатформу та мобільний застосунок.

В таблиці 4.1 наведемо опис ідеї проєкту.

Таблиця 4.1 – Опис ідеї стартап-проєкту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Створення платформи енергомоніторингу для житлових комплексів	Наукова чи муніципальна діяльність	Скорочення операційних витрат
		Підвищення оперативності та контрольованості
		Покращений користувацький досвід
		Підвищення рівня безпеки
		Гнучкість і масштабованість

Наступним етапом є аналіз техніко-економічних переваг стартап-проєкту шляхом порівняння його характеристик із пропозиціями конкурентів та існуючими товарами-замінниками. Для цього було визначено перелік ключових техніко-економічних властивостей, які є значущими з точки зору споживачів систем енергомоніторингу, зокрема: рівень інтеграції з інженерними системами будівель, вартість впровадження та експлуатації, функціональні можливості аналітики, зручність користувацького інтерфейсу та адаптивність рішення.

За результатами порівняння для кожної характеристики визначено її позицію як слабку (W), нейтральну (N) або сильну (S) сторону. Результати наведено в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проєкту

Техніко-економічні характеристики	Мій проєкт	Конкурент: 1	Конкурент: 2	Конкурент: 3	W (слабка)	N (нейтральна)	S (сильна)
Інтеграція існуючими системами будівель	Висока гнучкість адаптації	Обмежена	Середня	Обмежена	–	–	S
Вартість впровадження та обслуговування	Середня	Низька	Висока	Середня	W	–	–
Аналітика й прогнозування	Розширена	Базова	Обмежена	Відсутня	–	–	S
Простота використання для кінцевого користувача	Висока	Висока	Середня	Висока	–	N	–

4.2 Технологічний аудит ідеї проєкту

Технологічний аудит ідеї стартап-проєкту спрямований на оцінку можливості практичної реалізації запропонованої системи енергомоніторингу з використанням сучасних апаратних і програмних засобів. Основною метою даного підрозділу є визначення технологічної здійсненності ідеї, рівня готовності наявних технологій, а також їх доступності для авторів проєкту. Проведення такого аналізу дозволяє мінімізувати технологічні ризики та обґрунтувати вибір оптимального шляху реалізації стартапу.

Запропонована система енергомоніторингу базується на модульній архітектурі, що охоплює всі ключові етапи: від вимірювання та передавання до зберігання, обробки, аналізу та візуалізації. Такий підхід забезпечує гнучкість

рішення, його масштабованість та можливість поетапного впровадження в житлових комплексах різного типу.

Структура системи енергомоніторингу

Архітектура системи охоплює всі ключові компоненти, необхідні для точного та безперебійного контролю енергоспоживання, а також для забезпечення інтегрованого управління.

1. Вимірювальне обладнання та датчики

- цифрові електролічильники та лічильники теплової енергії, сумісні з протоколами дистанційної передачі даних;
- IoT-датчики для збирання допоміжних параметрів (напруга, температура, вологості, наявність навантаження);

2. Інтерфейс користувача

- мобільний застосунок для мешканців із доступом до індивідуальних статистичних даних;
- веб-панель адміністратора для перегляду агрегованої інформації, керування параметрами та перегляду статистики в реальному часі.

3. Центральна обчислювальна платформа

- хмарний сервер або локальний шлюз для зберігання даних;
- модулі обробки та візуалізації, що забезпечують побудову графіків;
- інтелектуальні інструменти для прогнозування навантаження і визначення енергетичних ризиків.

4. Механізми сповіщення та дистанційного управління

- система автоматичних повідомлень про критичні події, відхилення та перевантаження;
- функції віддаленого керування обладнанням.

5. Методи кібербезпеки

- шифрування каналів зв'язку між датчиками та сервером;
- система управління правами доступу для різних категорій користувачів;
- захист від спроб підміни або втручання у вимірювальні дані.

6. Модулі оптимізації

- автоматичне регулювання режимів роботи інженерних систем;
- інтеграція з «розумними» пристроями;
- формування рекомендацій на основі машинного аналізу даних.

В таблиці 4.3 наведено доступність технологій та можливість їх використання в проєкті. Оцінка технологічної здійсненності показує, що всі складові рішення можуть бути реалізовані на основі доступних апаратних і програмних платформ.

Таблиця 4.3 – Технологічна здійсненність ідеї проєкту

Ідея проєкту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність
Збір даних	IoT-датчики, smart-metering	Є на ринку (Elster, Kamstrup)	Висока
Передача даних	LoRaWAN, NB-IoT, Wi-Fi/Ethernet,	Мережі доступні в Україні	Висока
Зберігання даних	InfluxDB, TimescaleDB,	Open-source / комерційні	Висока
Обробка даних	Python, R, ML-моделі, Big Data-програми	Наявні	Висока
Інтеграція з ЖК	API-протоколи, шлюзи, конвертери	Наявні	Доступні
Кібербезпека	TLS/SSL шифрування	Широко використовуються	Доступні

Таким чином, технологічні ризики реалізації мінімальні. Проєкт покладається на сучасні, перевірені технології, що дозволяють забезпечити масштабованість та гнучкість використання.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проєкту

Ринок систем енергетичного моніторингу в Україні демонструє стале зростання, що обумовлено зростанням тарифів на енергоресурси, підвищенням

уваги до енергоефективності житлового фонду та необхідністю модернізації інфраструктури ОСББ. Попит формують як приватні домогосподарства, так і колективні управлінські структури (ОСББ, управляючі компанії, державні та муніципальні установи).

Цільовим ринком стартап-проєкту є сегмент цифрових рішень для енергоменеджменту та енергоефективності житлових будівель. До нього належать продукти та послуги, що забезпечують спостереження, аналіз та оптимізацію енергоспоживання, включаючи системи моніторингу, програмні платформи, мобільні застосунки, рішення на основі IoT та автоматизовані алгоритми керування.

Ринок демонструє стійку тенденцію до зростання, що зумовлено:

- підвищенням цін на енергоресурси;
- потребою зменшення операційних витрат у домогосподарствах;
- впровадженням державних стандартів та політик у сфері енергоефективності;
- поступовою цифровізацією житлового сектору;
- зростанням попиту на персоналізовані, доступні та прості у використанні цифрові сервіси.

В табл. 4.4 наведено характеристику потенційного ринку стартап-проєкту.

Таблиця 4.4 – Попередня характеристика потенційного ринку проєкту

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Кількість головних гравців, од.	7–10 основних компаній
Загальний обсяг продаж, грн/ум. од.	Ринок має значний потенціал зростання через активний попит на енергоощадні цифрові рішення.
Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає, оскільки тарифи на енергію збільшуються, а державна політика стимулює енергоефективність

Продовження таблиці 4.4

Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
Наявність обмежень для входу (характер обмежень)	Необхідність інтеграції з лічильниками та обладнанням, забезпечення кіберзахисту, відповідність технічним вимогам.
Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Необхідність відповідності нормам обліку електроенергії, вимогам щодо інтерфейсів передачі даних, стандартам інформаційної безпеки та технічним регламентам.
Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	10–20 %, залежно від масштабу реалізації та частки сервісної моделі (підписка, супровід, аналітичні модулі).

Потреба, яку покриває продукт стартапу, полягає у забезпеченні контролю, прозорості та оптимізації енергоспоживання у житлових будівлях, що дозволяє зменшити витрати, уникати аварійних ситуацій та підвищувати енергоефективність показана в табл. 4.5.

Таблиця 4.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Прозорий контроль споживання ресурсів	ОСББ, управляючі компанії	Прагнення до зниження витрат, необхідність точного обліку, вимога звітності	Точність вимірювання, надійність системи, доступ до графіків і звітів
Можливість оперативно реагувати на аварії та витрати	Житлові будинки (мешканці)	Чутливість до аварійних ситуацій, мінімальний час реакції	Сповіщення у реальному часі, зручний мобільний додаток, простота використання

Продовження таблиці 4.5

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Потреба в оптимізації витрат на енергію	Бюджетні установи та підприємства	Орієнтація на регламентовані бюджети, вимога аналітики для планування витрат	Аналітичні модулі, прогнозування, формування звітів
Зменшення технічних ризиків та втрат	Промислові об'єкти малої та середньої потужності	Критичність до збоїв, необхідність контролю навантажень	Інтеграція з IoT, можливість масштабування, кіберзахист

У таблиці 4.6 наведено головні ризики, які можуть завадити успішному запуску стартапу, а також причини їх виникнення та шляхи зменшення негативних наслідків. В табл. 4.7 наведемо фактори, які сприяють успішному впровадженню проєкту.

Таблиця 4.6 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проєкту

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Конкуренція з боку великих гравців	Великі компанії пропонують комплексні рішення, мають більші ресурси	Формування вузької спеціалізації на ОСББ;
Нестабільність законодавства	Зміни у ДСТУ, вимогах до лічильників чи передавання даних можуть ускладнити діяльність	Постійний моніторинг регуляторної бази; адаптація ПЗ під нові стандарти
Низька цифрова грамотність частини користувачів	Складність упровадження у старих будинках, бар'єр до прийняття рішень	Створення простого інтерфейсу, навчальні матеріали, техпідтримка
Кіберзагрози та ризики доступу до даних	Можливість атак або втрати інформації	Впровадження шифрування, аудит безпеки, резервне копіювання

Продовження таблиці 4.6

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Економічна нестабільність	Коливання курсу, зниження платоспроможності користувачів	Розробка гнучких тарифних планів, підписки, поетапне впровадження

Таблиця 4.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Державні програми енергоефективності	Доступ до грантів, підтримка модернізації житлового фонду	Участь у програмах, сертифікація рішення як енергоефективного
Зростання тарифів на енергоресурси	Створює попит на інструменти контролю та економії	Позиціонування рішення як інструмент зменшення витрат
Розвиток ринку IoT в Україні	Поширення датчиків та доступність рішень для інтеграції	Масштабування, використання відкритих протоколів
Підтримка цифровізації ОСББ	Збільшення попиту на цифрові інструменти управління	Партнерство з управляючими компаніями та ОСББ
Інтерес іноземних інвесторів до «зеленої» економіки	Доступ до фінансування, можливість експорту рішень	Розробка масштабованої архітектури, вихід на нові ринки

Надалі проводиться аналіз пропозиції, який передбачає визначення загальних рис конкуренції на ринку цифрових систем енергомоніторингу житлових комплексів. Метою даного етапу є ідентифікація типу конкурентного середовища, рівня та інтенсивності конкурентної боротьби, а також визначення можливих дій підприємства для забезпечення конкурентоспроможності стартап-проєкту (див. табл. 4.8).

Таблиця 4.8 – Аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії)
1. Тип конкуренції	Монополістична конкуренція: на ринку присутні кілька компаній, що пропонують подібні, але диференційовані цифрові рішення з енергомоніторингу	Необхідність формування унікальної ціннісної пропозиції, розвиток функціоналу аналітики та інтеграції
2. За рівнем конкурентної боротьби	Національний з елементами локального (адаптація під ОСББ та житлові комплекси конкретних регіонів)	Орієнтація на регіональні особливості, локальні пілотні проекти
3. За галузевою ознакою	Внутрішньогалузева конкуренція у сфері енергоменеджменту та smart-рішень	Поглиблення спеціалізації саме на житлових комплексах
4. Конкуренція за видами товарів	Товарно-видова: конкуренція між програмно-апаратними комплексами енергомоніторингу; між бажаннями – між автоматизованим і ручним обліком	Акцент на перевагах автоматизації та аналітики
5. За характером конкурентних переваг	Переважно нецінова (функціональність, надійність, аналітика, зручність користування)	Інвестиції в UX/UI, аналітичні модулі, ІІІ
6. За інтенсивністю	Марочна конкуренція між брендами та платформами	Формування власного бренду та репутації

Після загального аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкурентної боротьби в галузі за моделлю п'яти сил М. Портера, що дозволяє оцінити привабливість ринку та бар'єри входження (див. табл. 4.9).

Таблиця 4.9 – Аналіз конкуренції на ринку

	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Вітчизняні та міжнародні компанії, що пропонують системи енергомоніторингу, BMS-платформи, smart-metering рішення	ІТ-компанії та стартапи у сфері smart-building, що можуть вийти на ринок	Виробники датчиків, лічильників, серверного обладнання, хмарних сервісів	ОСББ, управляючі компанії, девелопери житлових комплексів	Ручний облік, базові лічильники без аналітики
Висновки	Інтенсивність конкуренції – помірна; існують можливості входу за рахунок диференціації	Бар'єри входу – середні; можливий вихід нових гравців протягом 1–2 років	Постачальники не диктують жорсткі умови завдяки широкому вибору	Клієнти мають високу переговорну силу, висувають вимоги до ціни та функціоналу	Обмежують ринок частково, але поступаються за ефективністю

Визначимо перелік факторів конкурентоспроможності, які важливі для нашого стартапу. Нижче в табл. 4.10 наведемо ці фактори.

Таблиця 4.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Інтегрованість системи	Попит ринку зміщується до комплексних рішень, що зменшують витрати на обслуговування, спрощують управління й підвищують прозорість обліку.

Продовження таблиці 4.10

Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування
Можливість інтеграції з існуючими системами (BMS, Smart Metering,)	ОСББ прагнуть уникати дорогого переобладнання. Ринок вимагає рішень, сумісних з уже встановленою інфраструктурою. Це критичний фактор при виборі системи.
Доступність ціни та низькі операційні витрати	У сегменті житлових комплексів ціна й витрати на технічне обслуговування є визначальними. Система, яка потребує мінімальних витрат на експлуатацію, матиме конкурентні переваги.
Аналітичні можливості (AI-прогнозування, аналіз аномалій, автоматичні звіти)	Потреба в цифровій оптимізації енергоресурсів зростає. Наявність інтелектуальних алгоритмів є ключовим диференціатором порівняно зі стандартними IoT-рішеннями.
Зручність для кінцевих користувачів	Зручні інтерфейси визначають рівень прийняття технології та формують перевагу над технічно складними конкурентними продуктами.
Надійність і безперервність моніторингу	Будь-які збої в системах енергомоніторингу призводять до втрат або помилок в обліку. Надійність є базовим фактором конкурентоспроможності в комунальному секторі.

Останнім етапом оцінювання ринкових можливостей проєкту є проведення SWOT-аналізу, який є універсальним інструментом стратегічного планування та дозволяє здійснити комплексну оцінку внутрішніх і зовнішніх факторів розвитку проєкту. Дана методика забезпечує системне порівняння сильних і слабких сторін проєкту з можливостями та загрозами ринкового середовища, що, у свою чергу, формує аналітичне підґрунтя для прийняття обґрунтованих управлінських рішень,

визначення стратегічних пріоритетів і мінімізації ризиків на етапі виходу продукту на ринок.

Сильні сторони проєкту пов'язані насамперед із його комплексністю та інноваційністю. Запропоноване рішення поєднує апаратні засоби збору даних і програмні інструменти аналітики, що дозволяє здійснювати повний цикл енергомоніторингу: фіксації споживання до формування рекомендацій з оптимізації. Використання сучасних ІТ-рішень, хмарних сервісів і методів інтелектуальної обробки даних забезпечує високу точність аналізу та гнучкість системи. Додатковою перевагою є зручний та інтуїтивно зрозумілий інтерфейс для мешканців і адміністраторів, що підвищує рівень залученості користувачів та сприяє зміні їхньої поведінки щодо споживання енергоресурсів. Важливою сильною стороною також є можливість масштабування рішення — система може бути адаптована як для окремих будинків, так і для великих житлових комплексів, що розширює потенційний ринок збуту. У підсумку це дозволяє досягти зниження витрат на енергоресурси для кінцевих користувачів.

Водночас проєкт має низку слабких сторін, які необхідно враховувати під час його реалізації. Однією з ключових проблем є відносно висока початкова собівартість впровадження, що може стримувати прийняття рішення про інвестування з боку ОСББ або управляючих компаній. Також суттєвим фактором є залежність ефективності системи від надійності вимірювального обладнання та каналів зв'язку. Додаткові труднощі можуть виникати через необхідність інтеграції з різними моделями лічильників та інженерних систем, що потребує індивідуального налаштування. Реалізація та підтримка проєкту також вимагає залучення кваліфікованого технічного персоналу, що збільшує операційні витрати.

Серед можливостей зовнішнього середовища ключовою є стале зростання попиту на енергоефективні рішення, зумовлене підвищенням тарифів на енергоресурси та посиленням уваги до питань енергетичної безпеки. Паралельно спостерігається активний розвиток ринку цифрових сервісів для житлових будинків у межах концепції Smart Building, що створює сприятливі умови для впровадження інноваційних платформ енергомоніторингу.

До основних загроз належать посилення конкуренції з боку великих ІТ-компаній і міжнародних постачальників розумних систем, які мають значні фінансові та технологічні ресурси. Додатковими ризиками є коливання цін на обладнання, високі вимоги до кібербезпеки та можливі зміни у законодавстві, що регулює сферу енергетики та захисту даних. Сукупність зазначених факторів вимагає гнучкої стратегії розвитку проєкту та постійного моніторингу зовнішнього середовища. Нижче в табл. 4.11 наведемо аналіз проєкту.

Таблиця 4.11 – SWOT-аналіз проєкту

Сильні сторони (S):	Слабкі сторони (W):
Комплексність рішення Використання сучасних ІТ-рішень Зручний інтерфейс для мешканців Можливість масштабування Зниження витрат для користувачів	Висока початкова собівартість впровадження Залежність від надійності обладнання Необхідність інтеграції з різними моделями лічильників Потреба у кваліфікованому технічному сервісі
Можливості (O):	Загрози (T):
Зростання попиту на енергоефективні рішення через високі тарифи на енергоресурси. Швидке зростання ринку цифрових сервісів для будинків Smart Building).	Посилення конкуренції з боку великих ІТ-компаній та міжнародних провайдерів розумних систем. Коливання цін на обладнання Високі вимоги до кібербезпеки, ризики витоків даних або хакерських атак. Можливі зміни у законодавстві

На основі результатів SWOT-аналізу сформовано декілька альтернатив ринкової поведінки стартап-проєкту, які відрізняються за масштабом впровадження, джерелами ресурсного забезпечення та часовими горизонтами реалізації. Основною метою є вибір такого сценарію виходу на ринок, який забезпечить мінімальні ризики, високу ймовірність залучення ресурсів і максимально швидке досягнення комерційного ефекту з урахуванням потенційних дій конкурентів.

Ключовими факторами, що враховувалися під час формування альтернатив, є: рівень конкуренції на ринку цифрових сервісів енергомоніторингу, наявність

великих міжнародних гравців, обмежені фінансові ресурси на початковому етапі та зростаючий попит на енергоефективні рішення в житловому секторі України (див. табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Пілотне впровадження в окремих житлових комплексах: співпраця з ОСББ та управляючими компаніями; встановлення системи в 1–2 будинках; демонстрація економічного ефекту; збір реальних даних для кейсів	Висока	Короткострокові (6–9 місяців)
2	Партнерська модель з сервісними компаніями: інтеграція системи на етапі будівництва або модернізації будинків; спільні маркетингові програми	Середня	Середньострокові (9–15 місяців)
3	Масовий вихід на ринок через SaaS-модель: розробка універсальної платформи; активне онлайн-просування; масштабування на національний рівень	Низька–середня	Довгострокові (15–24 місяці)
4	Інтеграція з муніципальними програмами енергоефективності: участь у державних та місцевих проєктах; співпраця з органами місцевого самоврядування	Середня	Довгострокові (18–30 місяців)

Для визначення найбільш перспективних сегментів проведено аналіз основних груп клієнтів, що можуть бути зацікавлені у впровадженні системи енергомоніторингу, включно з домогосподарствами, ОСББ, муніципальними структурами та малими підприємствами. Нижче в табл. 4.13 наведено результати сегментів.

Таблиця 4.13 – Цільові групи потенційних споживачів

Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит у межах сегменту	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
ОСББ та керуючі компанії житлових комплексів	Висока. Потребують інструментів контролю	Високий. Охоплює великі житлові масиви	Середня	Середньо-висока
Освітні установи (університети, школи)	Висока	Середній	Низька	Висока
Державні/муніципальні установи, що впроваджують інноваційні технології	Низька	Висока	Низька	Середній
Домогосподарства у багатоквартирних будинках	Середня	Високий у разі колективного впровадження	Середня	Низька при відсутності рішення ОСББ

За результатами визначено такі основні цільові сегменти, робота з якими забезпечує найкраще співвідношення комерційних можливостей та операційної доступності:

- ОСББ та керуючі компанії – ключовий сегмент, що відповідає суті продукту, має високий попит і прямі економічні вигоди від енергомоніторингу.
- Домогосподарства у складі багатоквартирних будинків споживчий сегмент, який стає користувачем системи на рівні квартирних вузлів обліку.

Оптимальним рішенням є формування стратегії інноваційного розвитку з диференційованим охопленням ринку (табл. 4.14).

Таблиця 4.14 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проєкту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Базова стратегія розвитку
Розвиток інноваційної інтегрованої цифрової системи енергомоніторингу з поетапним масштабуванням на ринок житлових комплексів	Диференційований маркетинг із фокусом на ОСББ	Висока точність збору даних, інтеграція з Smart Metering, низькі витрати на обслуговування, енергоефективні алгоритми AI-аналітики, модульність та масштабованість	Стратегія інноваційного розвитку

Для визначення найбільш ефективної конкурентної поведінки здійснюється оцінювання ринкової ситуації. (табл. 4.15).

Таблиця 4.15 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проєкт «першопрохідцем»?	Чи буде компанія шукати нових споживачів чи «забирати» існуючих?	Чи буде копіювати характеристики конкурентів?	Стратегія конкурентної поведінки
Ринок має окремі рішення, однак ніша для житлових комплексів недостатньо освоєна	Основний акцент: залучення нових споживачів, ОСББ, управлінських компаній, енергосервісних компаній	Можливе запозичення базових функцій (Smart Metering), однак ключові модулі (AI-аналітика, прогнозування,) є унікальними	Стратегія інноваційного диференціювання

Позиціонування повинне забезпечити чітке розуміння ключовими сегментами ринку переваг інтегрованої цифрової системи. Для цільових груп

найважливішими є: точність даних, можливість зменшення витрат на енергоресурси, цифрова прозорість та автоматизація обліку.

Позиціонування базується на інноваційності, модульності, цінovій ефективності, простоті інтеграції в існуючу інфраструктуру та орієнтації на зменшення витрат на утримання житлового комплексу. (табл. 4.16).

Таблиця 4.16 – Визначення стратегії позиціонування

Вимоги цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції	Три ключові асоціації
Прозорість обліку, простота використання, зменшення витрат на енергоресурси (ОСББ, мешканці)	Стратегія інноваційного розвитку	Висока точність Smart Metering, автоматизація обліку, персональні дашборди	Прозорість, економія, зручність
Надійність цифрової інфраструктури, можливість інтеграції з наявними системами керування	Стратегія інноваційного розвитку	Інтеграція з BMS, масштабованість, безперервний моніторинг	Надійність, технологічність, адаптивність
Аналітика та прогнозування для підвищення ефективності будинків і ЖК	Стратегія інноваційного розвитку	AI-аналітика, прогнозне енергопланування, автоматичне формування звітів	Ефективність, цифровізація, оптимізація

4.4 Економічна оцінка впровадження системи енергомоніторингу

Для впровадження системи енергомоніторингу у житловому комплексі на 206 квартир із допоміжними приміщеннями передбачається придбання та монтаж відповідного технічного обладнання та програмного забезпечення. Основу рішення становлять цифрові лічильники електроенергії, холодної води, газу з можливістю

дистанційної передачі даних. Такі прилади активно використовуються для автоматизованого моніторингу споживання та є обов'язковою частиною сучасних енергетичних систем житлових будинків.

Витрати на обладнання та впровадження системи енергомоніторингу формуються з вартості вимірювальних приладів, комунікаційного та серверного обладнання, ліцензійного програмного забезпечення й монтажних робіт. Так, для житлового комплексу на 206 квартир розраховано: вимірювальні прилади 2 600 000 грн, комунікаційне та серверне обладнання: 150 000 грн, програмне забезпечення: 100 000 грн, монтажні та пусконаладжувальні роботи: 150 000 грн, що у сукупності дає приблизно 3 000 000 грн первинних витрат. Зазначені витрати базуються на основі аналізу тендерних закупівлях [45].

Впровадження системи енергомоніторингу в будівлях житлово-комунального господарства дозволяє досягти економії енергоресурсів на рівні 10-15% за рахунок підвищення прозорості споживання, оперативного контролю та усунення нерациональних режимів роботи [46].

Очікуваний грошовий еквівалент економії енергоресурсів: 650 000 грн з ПДВ.

Простий термін окупності:

$$T = \frac{3\,000\,000}{650\,000} = 4,6 \text{ років.}$$

4.5 Вплив на зменшення викидів CO₂ та екологічний ефект

Загальна оцінка зменшення викидів CO₂ у результаті впровадження системи енергетичного моніторингу полягає у фіксації позитивного екологічного ефекту завдяки раціональнішому використанню енергоресурсів. Можлива економія електроенергії становить 150000 кВт на рік. За таблицею яка наведена в [47] коефіцієнт викидів парникових газів становить 420 г/кВт·год.

Скорочення викидів визначається за формулою CO₂ визначається за формулою:

$$\Delta CO_2 = E \cdot K_{del.i}, \quad (4.1)$$

де E — обсяг зекономленої електричної енергії внаслідок впровадження системи енергомоніторингу;

$K_{del.i}$ — коефіцієнт питомих викидів діоксиду вуглецю для відповідного енергоносія.

Підставляючи дані у формулу (4.1), отримаємо:

$$\Delta CO_2 = 150\,000 \cdot 420 = 63\,000 \text{ кг } CO_2$$

Загальне скорочення викидів CO_2 внаслідок впровадження системи енергомоніторингу становить приблизно 63000 кг CO_2 на рік.

Першим етапом формування ринкової стратегії є визначення цільових груп споживачів, що відповідають характеристикам проблеми, яку вирішує продукт. Для цього здійснюється аналіз кожного сегменту за критеріями сприйняття продукту, рівня конкуренції, попиту та простоти входу.

Висновки до розділу 4

В 4 розділі було детально описано ідею проєкту, визначено основні напрями застосування та вигоди для користувачів, а також виділили сильні сторони продукту, його конкурентні переваги та потенційні слабкі моменти.

Було проведено оцінку ринкових можливостей та загроз, визначено попит на продукт, обсяг і динаміку ринку, а також специфічні вимоги до стандартизації і сертифікації. На основі цього сформовано профіль потенційних клієнтів, враховано їхні потреби та особливості поведінки, а також визначено ключові фактори конкурентоспроможності, що дозволяють системі виділитися на тлі існуючих аналогів.

SWOT-аналіз та фактори конкурентоспроможності показали, що проєкт має значні сильні сторони: високий рівень технологічності, модульність, адаптивність під потреби мешканців та можливість інтеграції з різними інженерними системами будинку. Слабкі сторони пов'язані з високими витратами на первісне впровадження та потребою у спеціалізованому навчанні персоналу. При цьому на

ринку існують сприятливі можливості для впровадження, включаючи зростання попиту на енергоефективні рішення та підтримку державних програм щодо енергозбереження.

Розроблено ринкову стратегію стартапу: визначено цільові групи споживачів, обрано стратегію диференційованого маркетингу та інноваційного розвитку, а також сформовано стратегію конкурентної поведінки з акцентом на пошук нових клієнтів і впровадження інноваційних функцій, що відрізняють продукт від конкурентів. Стратегія позиціонування передбачає виділення ключових асоціацій продукту: доступність та зручність для користувачів.

Загалом, цей проєкт має високий потенціал для стійкого розвитку на ринку, забезпечуючи зниження витрат на енергоспоживання, підвищення енергоефективності будинків та зменшення негативного екологічного впливу.

ВИСНОВКИ

1. Проведено аналіз теоретичних основ енергомоніторингу в житлових комплексах, визначено його мету, завдання, принципи функціонування та роль у підвищенні енергоефективності багатоквартирних будівель.

2. Здійснено дослідження фактичного енергоспоживання житлового комплексу як об'єкта дослідження, проаналізовано стан огорожувальних конструкцій, інженерних систем, енергетичний баланс та поточний рівень енергоефективності.

3. Розроблено концепцію та архітектуру системи енергомоніторингу житлового комплексу, обґрунтовано вибір технічних рішень і програмних платформ, а також запропоновано використання кластерного аналізу для класифікації споживачів енергії.

4. Виконано розроблення стартап-проєкту інтегрованої цифрової системи енергомоніторингу, проведено аналіз ринкових можливостей, економічну та екологічну оцінку впровадження, а також визначено потенційний ефект від зменшення споживання енергоресурсів і викидів CO₂.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Покроковий план енергоефективної відбудови в Україні. Київ, 2025. URL: <https://dixigroup.org/analytic/pokrokovyj-plan-energoefektyvnoyi-vidbudovy-v-ukrayini>.
2. Kozyk V. V., Marko O. Y. State Policy of Energy Efficiency Improvement in Residential Construction in Eu Countries. SMEU. 2025; Volume 7, Number 1: pp. 316 – 325 URL: <https://doi.org/10.23939/smeu2025.01.316>
3. PEREGINETS I. (2024). Monitoring of indicators and criteria for assessing energy consumption by residential buildings. Ways to Improve Construction Efficiency, 1(54), 105–114. URL: [https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54\(1\).105-114](https://doi.org/10.32347/2707-501x.2024.54(1).105-114).
4. Savytskyi, M., Shekhorkina, S., Bordun, M., Babenko, M., Tsyhankova, S., Spyrydonenkov, V., Savytskyi, O., & Rabenseifer, R. (2024). Design of proactive management system for residential buildings by using smart equipment. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2(8 (128), 16–25. URL: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2024.301882>
5. A Smart Home Energy Monitoring System Based on Internet of Things and Inter Planetary File System for Secure Data Sharing / A. Onay et al. Journal of Computer and Communications. 2023. Vol. 11, no. 10. P. 64–81. URL: <https://doi.org/10.4236/jcc.2023.1110005>
6. Посібник з муніципального енергетичного менеджменту /Є.М.Іншеков, Є.Є.Нікітін, М.В.Тарновський, А.В.Чернявський. – К.: Поліграф плюс, 2014. – 238с.
7. Smart home energy management systems: Concept, configurations, and scheduling strategies / B. Zhou et al. Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2016. Vol. 61. P. 30–40. URL: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.03.047>
8. Sekhar D. C., Rao P. V. V. R., Kiranmayi R. Conceptual Review on Demand Side Management, Optimization Techniques for the Improvement of Power Quality in Smart Grids. 2022 Second International Conference on Artificial Intelligence and Smart Energy (ICAIS), Coimbatore, India, 23–25 February 2022. 2022. URL: <https://doi.org/10.1109/icaais53314.2022.9742779>.

9. Sayed K., Gabbar H. A. Building Energy Management Systems (BEMS). Energy Conservation in Residential, Commercial, and Industrial Facilities. Hoboken, NJ, USA, 2018. P. 15–81. URL: <https://doi.org/10.1002/9781119422099.ch2>.

10. Aman S., Simmhan Y., Prasanna V. K. Energy management systems: state of the art and emerging trends. IEEE Communications Magazine. 2013. Vol. 51, no. 1. P. 114–119. URL: <https://doi.org/10.1109/mcom.2013.6400447>.

11. Чернявський А.В., Бориченко О.В., Ільніцька Г.Т. Енергетичний моніторинг багатоквартирних житлових будівель типової забудови // Збірник наук. праць IX міжнар. наук.-техн. та навч.-метод. конф. "Енергетичний менеджмент: стан та перспективи розвитку – PEMS 2023".

12. Офіційний сайт продукту: «Енергоплан» URL: <http://energyplan.com.ua>.

13. Офіційний сайт продукту: «Енергобаланс» URL: <http://www.energobalans.com>.

14. Офіційний сайт продукту: «uMuni» URL: <https://umuni.com>.

15. Офіційний сайт продукту: «АСЕМ» URL: <http://www.asem.com.ua>.

16. Офіційний сайт продукту: «SynergyData» URL: <http://synergydata.com.ua>.

17. Meter Data Management Expertpower URL: <https://www.expertpower.com>.

18. SIMATIC Energy Management software URL: <https://www.siemens.com>.

19. ETAP Schneider Electric URL: <https://www.se.com.ua>.

20. Типізація, класифікація та техніко-економічні характеристики багатоквартирних будинків / П. О. Пантелєєв // Економіка та держава. - 2014. - № 5. - С. 88-92. - Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecde_2014_5_21.

21. Shovkaliuk M., Rabenko Y., Yatsenko O. Modeling of energy consumption indicators of an apartment building using specialized software products. Power engineering: economics, technique, ecology. 2025. No. 1. URL: <https://doi.org/10.20535/1813-5420.1.2025.324191>

22. Smart sensors network for accurate indirect heat accounting in apartment buildings / Y. Stauffer et al. Journal of Building Engineering. 2022. Vol. 46. P. 103534. URL: <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103534>.

23. Аналіз методів виявлення аномалій у даних про споживання електроенергії / М. Bratyshchenko та ін. Системи управління, навігації та зв'язку. Збірник наукових праць. 2024. Т. 1, № 75. С. 45–49. URL: <https://doi.org/10.26906/sunz.2024.1.045>.

24. 3. Zhang J., Zhang H., Ding S., Zhang X. (2021), “Power Consumption Predicting and Anomaly Detection Based on Transformer and K-Means”, College of Mathematics and Inf. Technology, Hebei University. Vol. 9, Article № 779587, P. 3-7.

25. Feng L., Xu S., Zhang L., Wu J., Zhang J. Anomaly detection for electricity consumption in cloud computing: framework, methods, applications, and challenges. Wireless Com Network. 2020;194:2–10.

26. Chen Y., Wang F., Liu J. Smart meter data analytics for anomaly detection in residential energy consumption. Energy. 2021;227:120422.

27. Chandola V., Banerjee A., Kumar V. (2009), “Anomaly detection: A survey”, ACM Computing Surveys, № 41, P. 1-58.

28. Melnyk I., Matthews B., Valizadegan H., Banerjee A., Oza N. (2016), “Vector Autoregressive Model-Based Anomaly Detection in Aviation Systems”, JAIS Aerospace Information Systems., 13, P. 161-173.

29. Artificial intelligence based anomaly detection of energy consumption in buildings: A review, current trends and new perspectives. Applied Energy. 2021;287:116601.

30. Zhe Zhang, Yuhao Chen, Huixue Wang, Qiming Fu, Jianping Chen, You Lu. Anomaly detection method for building energy consumption in multivariate time series based on graph attention mechanism // PLoS ONE. 2023;18(6):e0286770

31. D.V. Furikhata, T.A. Vakaluk. Теоретичні підходи до виявлення аномалій у показах лічильників у науковій літературі // TEN. 2025:1(95):325–331

32. R. Korostensky, I. Olenych. Edge-підхід для виявлення аномалій у споживанні електроенергії // APCSSM Conf.

33. High-Dimensional Energy Consumption Anomaly Detection: Deep learning-based method // Energies. 2022;15(17):6139

34. M. M. Breuning, H. P. Kriegel, R. T. Ng, J. Sander, “LOF: identifying density-based local outliers”, in Proc. Int. Conf. Management of Data (ACM SIGMOD 2000), Dallas, TX, 2000, pp. 93–104. DOI: 10.1145/342009.335388. [7] M. H. Bhuyan, D. K. Bhattacharyya, J. K. Kalita, “Network anomaly detection: Methods, systems and tools”, IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 16, no. 1, pp. 303–336, 2014. DOI: 10.1109/SURV.2013.052213.00046.

35. N. Paulauskas, J. Auskalnis, “Analysis of data pre-processing influence on intrusion detection using NSL-KDD dataset”, in Proc. Open Conf. Electrical, Electronic and Information Sciences (eStream 2017), 2017, p. 1–5. DOI: 10.1109/eStream.2017.7950325.

36. M. Sabhnani, G. Serpen, “Why machine learning algorithms fail in misuse detection on KDD intrusion detection data set”, Intelligent Data Analysis, vol. 8, no. 4, pp. 403–415, 2004.

37. DIRECTIVE (EU) 2023/1791 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955 (recast). Official Journal of the European Union (p p. 1–111). URL: https://eur-lex.europa.eu/legalcontent/EN/TXT/?uri=OJ:JOL_2023_231_R_0001.

38. Directive (EU) 2024/1275 of the European Parliament and of the Council of 24 April 2024 on the energy performance of buildings. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2024/1275/oj/eng>.

39. Про енергетичну ефективність будівель: Закон України від 22.06.2017 № 2118-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2118-19#Text>

40. Наказ від 11.07.2018 № 169 Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель (з останніми змінами, внесеними Наказом від 11.06.2023 № 486). – К.: Міністерство розвитку громад та територій України, 2018. – 128 с.

41. Системи енергетичного менеджменту. Вимоги та настанова щодо використання: ДСТУ ISO 50001:2020 (ISO 50001:2018, IDT). Київ : ДП УкрНДНЦ, 2020. 25 с.

42. ДСТУ EN 15232-1:2017 Енергоефективність будівель. Частина 1. Вплив автоматизованих систем моніторингу та управління будівлями. Модулі М10-4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 (EN 15232-1:2017, IDT).

43. ДБН В.2.6-31:2021 Теплова ізоляція та енергоефективність будівель. – К.: ДП «Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій» (НДІБК), 2021. - 26 с.

44. ДБН В.2.5-23:2010 Інженерне обладнання будинків і споруд. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.

45. Послуга з постачання програмного забезпечення з впровадженням та налаштуванням програмно-телеметричної IoT-платформи. tender.uub.com.ua. URL: <https://tender.uub.com.ua/tender/UA-2025-11-07-009689-a/>.

46. Проєкти з підвищення енергоефективності. Енергетичний Перехід в Україні. URL: <https://energytransition.in.ua/4565-2/>.

47. Про затвердження Методики визначення енергетичної ефективності будівель : Наказ М-ва регіон. розвитку, буд-ва та житлово-комун. госп-ва України від 11.07.2018 № 169 : станом на 12 верес. 2023 р. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0822-18#Text>.