

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІНСТИТУТ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем _____
(назва кафедри)

_____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

„_____” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: **“Інтеграція IoT – сенсорів у систему моніторингу якості електроенергії в локальній мережі”**

Спеціальність 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ

Гарант освітньої програми

к.т.н., доцент

Олександр СИНЯВСЬКИЙ

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

к.ф. –м.н., асистент _____
(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

Остап ЯЦУН

Виконав

Валерій ХМАРА

КИЇВ – 2026

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ
ІННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри

Інженерії енергосистем _____
(назва кафедри)

К.т.н., доц. _____ Євген АНТИПОВ
(підпис)

„_____” _____ 2026р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Хмарі Валерію Павловичу

Спеціальність (напрямок підготовки): 141 "Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка"

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи: Інтеграція IoT – сенсорів у систему моніторингу якості електроенергії в локальній мережі, затверджена наказом ректора НУБіП України від "07" 11. 2025 р. № 2708 «С».

Термін подання завершеної роботи на кафедру "01" червня 2026 р.

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи: ДСТУ EN50160:2023, ДСТУ 4065:2001, ДБН В.2.5- 23:2010, НПАОП 40.1. -1.01 -97 (Правила безпечної експлуатації електроустановок), ПУЕ. Правила улаштування електроустановок.

Перелік питань, які потрібно вирішити: 1. Якість електроенергії та проблеми втручання у електромережу. 2. Аналіз IoT – сенсорів для моніторингу електромережі. 3. Проектування системи моніторингу для житлового комплексу. 4. Техніко – економічне обґрунтування. 5. Заходи з енергозбереження та охорони праці.

Графічні документи: презентація виконана в Microsoft PowerPoint – 8 слайдів.

Дата видачі завдання: 15.01.2026р.

Керівник роботи

_____ к.ф.-м.н., асистент

(науковий ступінь та вчене звання)

(Підпис)

_____ Остап ЯЦУН

(ПІБ)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

_____ Валерій ХМАРА

(ПІБ студента)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	
ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1. ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ПРОБЛЕМИ ВТРУЧАННЯ У ЕЛЕКТРОМЕРЕЖУ.....	
1.1. Показники якості електроенергії в житлових комплексах.....	8
1.2. Типові види втручання у електромережу житлових комплексів.....	9
1.3. Методи виявлення втручання та переваги IoT-моніторингу.....	11
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ IoT-СЕНСОРІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ.....	
2. Огляд ринку IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів.....	14
2.2. Датчики та допоміжне обладнання системи моніторингу.....	17
2.3. Архітектура системи збору даних.....	19
РОЗДІЛ 3. ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ.....	
3.1. Вихідні дані та структурна схема системи.....	24
3.2. Схеми підключення IoT-сенсорів у локальну мережу.....	26
3.3. Програмне забезпечення та алгоритми виявлення аномалій.....	28
3.4. Графіки та візуалізація даних моніторингу.....	32
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ.....	
4.1. Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат.....	37
4.2. Розрахунок економічного ефекту.....	39
4.3. Показники економічної ефективності проекту.....	40

					02.03 – КР. 2708 "С" 07.11.25 4 ПЗ			
Змн	Лист	№ докум.	Підпис	Дат	Інтеграція IoT – сенсорів у системі моніторингу якості електроенергії в локальній мережі	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.		Хмара В.П.					3	
Перевір.								
Реценз.								
Н. Контр.								
Затверд.						ННІ ЕАЕ		

4.4. Порівняння з альтернативними рішеннями.....	42
РОЗДІЛ 5. ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ	46
5.1. Заходи з енергозбереження при впровадженні системи моніторингу	46
5.2. Вимоги охорони праці при монтажі та експлуатації	48
5.3. Електробезпека системи моніторингу.....	50
ВИСНОВКИ	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	55
ДОДАТКИ.....	57

					02.03 – КР. 2708 "С" 07.11.25 4 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата		

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота за спеціальністю 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» виконана у Національному університеті біоресурсів і природокористування України, Київ, 2026р.

Метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є розробка системи моніторингу якості електроенергії у локальній мережі житлового комплексу на основі IoT-сенсорів для виявлення втручань та контролю параметрів електропостачання.

Об'єктом дослідження є локальна електрична мережа житлового комплексу.

Предметом дослідження є методи та засоби моніторингу якості електроенергії на основі IoT-технологій.

У роботі проведено аналіз проблеми якості електроенергії та типові види втручання у електромережу житлових комплексів; досліджено сучасний ринок IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів та проаналізовано характеристики та вартість обладнання різних виробників; розроблено структурну схему системи моніторингу для житлового комплексу на 200 квартир, що включає 93 точки контролю: аналізатор мережі на вводі, трифазні монітори на поверхових щитах, монітори загальнобудинкового обладнання; розроблено схеми підключення IoT-сенсорів у локальну мережу ЖК з використанням інтерфейсів RS-485 та Ethernet; проведено порівняльний аналіз із альтернативними рішеннями; розроблено заходи з енергозбереження на основі даних моніторингу.

До складу кваліфікаційної роботи входять 5 розділів, загальні висновки та список використаних джерел.

Ключові слова: локальна мережа, IoT-сенсори, житловий комплекс, моніторинг електричних параметрів; заходи з енергозбереження.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСКОЕ – автоматизована система комерційного обліку електроенергії

API (Application Programming Interface) – інтерфейс програмування застосунків

ВРП – ввідно-розподільний пристрій

ГРЩ – головний розподільний щит

ДБЖ – джерело безперебійного живлення

ДСТУ – Державний стандарт України

ЖК – житловий комплекс

IoT (Internet of Things) – Інтернет речей

IRR (Internal Rate of Return) – внутрішня норма дохідності

МЗК – місця загального користування

MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) – протокол обміну повідомленнями для IoT-пристроїв

НКРЕКП – Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики і комунальних послуг

NPV (Net Present Value) – чистий приведений дохід

PI (Profitability Index) – індекс прибутковості

ПЗВ – пристрій захисного відключення

PoE (Power over Ethernet) – технологія передачі електроживлення через кабель Ethernet

RS-485 – стандарт послідовного інтерфейсу для промислових мереж передачі даних

THD (Total Harmonic Distortion) – коефіцієнт гармонічних спотворень

VLAN (Virtual Local Area Network) – віртуальна локальна обчислювальна мережа

Wi-Fi – стандарт бездротового зв'язку IEEE 802.11

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Сучасні житлові комплекси характеризуються складною інфраструктурою електропостачання, яка забезпечує енергією сотні квартир, комерційні приміщення, паркінги та інженерні системи. В умовах зростання тарифів на електроенергію та поширення випадків незаконного втручання в електромережу питання контролю якості електроенергії та виявлення розкрадань набуває особливої актуальності.

За даними НКРЕКП, втрати електроенергії в розподільчих мережах України становлять 10-12% від загального обсягу передачі, при цьому значна частина припадає на комерційні втрати, пов'язані з несанкціонованим споживанням. У житлових комплексах ця проблема посилюється складністю контролю великої кількості точок споживання та можливістю прихованого підключення до загальнобудинкових мереж.

Традиційні методи контролю, засновані на періодичних обходах та візуальних перевірках, не забезпечують оперативного виявлення порушень. Водночас розвиток технологій Інтернету речей (IoT) відкриває нові можливості для створення автоматизованих систем моніторингу, здатних у режимі реального часу контролювати параметри електромережі та виявляти аномалії, що свідчать про втручання.

IoT-сенсори дозволяють реалізувати розподілену систему моніторингу з високою щільністю вимірювальних точок при відносно невисокій вартості. Застосування таких систем у житлових комплексах забезпечує не лише виявлення розкрадань електроенергії, але й контроль якості електропостачання, що впливає на безпеку та комфорт мешканців.

Мета і завдання дослідження. Метою дипломної роботи є розробка системи моніторингу якості електроенергії у локальній мережі житлового комплексу на основі IoT-сенсорів для виявлення втручань та контролю параметрів електропостачання.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати проблеми якості електроенергії та типові види втручань у електромережу житлових комплексів;
- дослідити сучасний ринок IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів;
- розробити структурну схему системи моніторингу для типового житлового комплексу;
- обґрунтувати вибір обладнання та розробити схеми підключення;
- виконати техніко-економічне обґрунтування прийнятих рішень;
- розробити заходи з енергозбереження та охорони праці.

Об'єкт дослідження — локальна електрична мережа житлового комплексу.

Предмет дослідження — методи та засоби моніторингу якості електроенергії на основі IoT-технологій.

Методи дослідження. У роботі використано методи системного аналізу для вивчення структури електропостачання житлових комплексів, порівняльного аналізу для вибору обладнання, економіко-математичні методи для обґрунтування ефективності рішень.

Практичне значення роботи полягає у можливості впровадження розробленої системи моніторингу в житлових комплексах для зменшення комерційних втрат електроенергії, підвищення якості електропостачання та забезпечення безпеки експлуатації електрообладнання.

Структура роботи. Дипломна робота складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 60 сторінок.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

ЯКІСТЬ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ТА ПРОБЛЕМИ ВТРУЧАННЯ У ЕЛЕКТРОМЕРЕЖУ

1.1. Показники якості електроенергії в житлових комплексах

Якість електричної енергії є комплексною характеристикою, що визначає придатність електроенергії для живлення електроприймачів різних типів. Для житлових комплексів якість електропостачання має особливе значення, оскільки впливає на роботу побутової техніки, систем безпеки, ліфтового обладнання та інженерних систем будівлі.

Основні показники якості електроенергії регламентуються ДСТУ EN 50160:2023 та включають:

1. Відхилення напруги — різниця між фактичним та номінальним значенням напруги. Для мереж 220/380 В допустиме відхилення становить $\pm 10\%$ у нормальному режимі. Тривале відхилення напруги призводить до:

- при зниженій напрузі — перегрів електродвигунів, нестабільна робота електроніки;
- при підвищеній напрузі — скорочення терміну служби ламп, пошкодження чутливого обладнання.

2. Несиметрія напруги — нерівність фазних напруг у трифазній мережі. Коефіцієнт несиметрії не повинен перевищувати 2%. Несиметрія виникає при нерівномірному розподілі однофазних навантажень між фазами, що характерно для житлових будинків.

3. Несинусоїдальність напруги характеризується коефіцієнтом гармонічних спотворень THD. Допустиме значення THD для мереж низької напруги — 8%. Джерелами гармонік у житлових комплексах є:

- імпульсні блоки живлення комп'ютерів та телевізорів;
- енергозберігаючі та світлодіодні лампи;
- частотно-регульовані приводи ліфтів та насосів;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– зарядні пристрої електромобілів.

4. Провали напруги — короточасні зниження напруги нижче 90% від номінального значення. Провали можуть спричинити перезавантаження комп'ютерів, збої в роботі охоронних систем, зупинку ліфтів.

5. Імпульсні перенапруги — короточасні підвищення напруги, викликані комутаційними процесами або атмосферними явищами. Можуть пошкоджувати електронне обладнання.

Особливості електропостачання житлових комплексів:

Сучасний житловий комплекс має складну структуру електропостачання, що включає:

- ввідно-розподільчий пристрій (ВРП) на межі балансової належності;
- головний розподільчий щит (ГРЩ) будинку;
- поверхові розподільчі щити;
- квартирні лічильники та автомати;
- мережі загальнобудинкового обладнання (ліфти, насоси, освітлення).

Типова споживана потужність житлового комплексу на 200 квартир:

- квартири (середнє навантаження 5 кВт на квартиру): 1000 кВт;
- ліфтове обладнання: 50-100 кВт;
- насосне обладнання: 30-50 кВт;
- освітлення місць загального користування: 20-30 кВт;
- паркінг та комерційні приміщення: 100-200 кВт.

Загальна встановлена потужність може сягати 1500 кВт, що вимагає надійної системи контролю та моніторингу.

1.2. Типові види втручань у електромережу житлових комплексів

Втручання в електромережу житлового комплексу — це несанкціоновані дії, спрямовані на безоблікове споживання електроенергії або зміну показів приладів обліку. Такі дії завдають значних збитків керуючим компаніям та сумлінним споживачам.

Типові види втручань у електромережу:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

1. Підключення повз лічильник (накид) — найпоширеніший спосіб розкрадання, при якому споживач підключається безпосередньо до вводу до лічильника. Ознаки:

- невідповідність струму на вході та на виході лічильника;
- наявність додаткових відгалужень від ввідного кабелю;
- сліди несанкціонованого доступу до ввідного щита.

2. Втручання в роботу лічильника:

- зупинка диску індукційного лічильника магнітом;
- модифікація електронного лічильника;
- зміна передаточного числа трансформаторів струму;
- порушення схеми підключення (реверс фази).

3. Підключення до загальнобудинкових мереж:

- несанкціоноване живлення квартири від мереж освітлення;
- підключення до ліфтових або насосних мереж;
- використання розеток у місцях загального користування.

4. Заниження договірної потужності:

- використання потужності понад договірну;
- підключення додаткових споживачів без повідомлення.

Ознаки несанкціонованого споживання:

Для виявлення втручань система моніторингу повинна фіксувати такі аномалії:

Таблиця 1.1 — Ознаки втручання та методи їх виявлення

Тип втручання	Ознака	Метод виявлення
Підключення повз лічильник	Різниця струмів на вході та виході	Порівняння показів датчиків
Зупинка лічильника	Споживання є, облік відсутній	Аналіз балансу потужності
Реверс фази	Від'ємна потужність	Контроль напрямку потоку
Підключення до загальних мереж	Аномальне споживання в нічні години	Аналіз профілю навантаження
Магнітний вплив	Наявність магнітного поля	Датчик магнітного поля

Масштаби проблеми:

За оцінками експертів, комерційні втрати електроенергії в житловому секторі України становлять 3-7% від загального споживання. Для житлового комплексу на 200 квартир із середньомісячним споживанням 150000 кВт·год це означає:

- втрати: 4500-10500 кВт·год на місяць;
- у грошовому еквіваленті (при тарифі 4,32 грн/кВт·год): 19440-45 360 грн на місяць;
- річні збитки: 233 тис. 280 грн. - 544 тис. 320 грн.

Ці кошти розподіляються між сумлінними споживачами у вигляді оплати за місця загального користування, що викликає соціальну напругу та конфлікти.

1.3. Методи виявлення втручань та переваги IoT-моніторингу

Виявлення втручань у електромережу традиційними методами має значні обмеження, що обумовлює необхідність впровадження автоматизованих систем моніторингу.

Традиційні методи контролю:

1. Візуальні обходи та перевірки:

- періодичний огляд лічильників та щитового обладнання;
- перевірка цілісності пломб;
- виявлення несанкціонованих підключень.

Недоліки: низька періодичність (1-2 рази на рік), можливість приховування порушень під час перевірки, суб'єктивність оцінки.

2. Контрольні заміри:

- порівняння показів групового та індивідуальних лічильників;
- вимірювання струмів у контрольних точках.

Недоліки: трудомісткість, потреба у кваліфікованому персоналі, неможливість постійного контролю.

3. Аналіз балансу електроенергії:

- порівняння обсягу електроенергії на вводі з сумою показів квартирних лічильників;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– виявлення небалансу.

Недоліки: виявляє лише факт втрат без локалізації джерела, низька оперативність (місячний цикл).

Переваги IoT-систем моніторингу:

Застосування IoT-сенсорів дозволяє реалізувати принципово новий підхід до контролю електромережі:

1. Безперервний моніторинг — контроль параметрів 24/7 з фіксацією усіх відхилень.

2. Висока щільність вимірювань — можливість встановлення датчиків у кожній контрольній точці:

- на вводі в будинок;
- на кожному поверховому щиті;
- на групових лініях;
- на загальнобудинковому обладнанні.

3. Автоматичне виявлення аномалій — алгоритми аналізу даних дозволяють:

- виявляти небаланс потужності в реальному часі;
- фіксувати нетипові профілі споживання;
- реєструвати спроби магнітного впливу.

4. Віддалений доступ — можливість контролю з будь-якого місця через веб-інтерфейс або мобільний додаток.

5. Документування подій — автоматична реєстрація усіх порушень з фіксацією часу, місця та параметрів.

6. Інтеграція з іншими системами — можливість передачі даних у білінгові системи, системи диспетчеризації, аварійного оповіщення.

Порівняння методів контролю:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Таблиця 1.2 — Порівняння традиційних та IoT методів контролю

Критерій	Традиційні методи	IoT-моніторинг
Періодичність контролю	1-12 разів на рік	Безперервно
Час виявлення порушення	Тижні-місяці	Хвилини-години
Точність локалізації	Низька	Висока
Документування	Ручне	Автоматичне
Потреба в персоналі	Висока	Низька
Вартість експлуатації	Висока	Низька
Початкові інвестиції	Низькі	Середні

Висновок: впровадження IoT-системи моніторингу дозволяє суттєво підвищити ефективність контролю електромережі житлового комплексу та забезпечити оперативне виявлення втручань.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

АНАЛІЗ ІОТ-СЕНСОРІВ ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ЕЛЕКТРОМЕРЕЖІ

2.1. Огляд ринку IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів

Ринок IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів активно розвивається, пропонуючи широкий вибір рішень різного цінового діапазону та функціональності. Розглянемо основні категорії пристроїв та конкретні моделі, доступні на українському ринку.

Класифікація IoT-сенсорів для моніторингу електромережі:

1. За функціональністю:

- базові датчики (вимірювання напруги, струму, потужності);
- розширені аналізатори (гармоніки, якість електроенергії);
- комплексні рішення (облік + моніторинг + керування).

2. За способом підключення:

- трансформаторні (безконтактне вимірювання струму);
- шунтові (вимірювання за падінням напруги);
- комбіновані.

3. За комунікаційним інтерфейсом:

- Wi-Fi;
- Ethernet;
- RS-485 (Modbus);
- LoRaWAN;
- NB-IoT / LTE-M.

Огляд конкретних моделей IoT-сенсорів:

1. Eastron SDM630-Modbus — трифазний лічильник з функцією моніторингу. Виробник: Eastron (Китай) Характеристики:

- вимірювання: напруга, струм, потужність (активна, реактивна, повна), енергія, частота, коефіцієнт потужності;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- точність: клас 1 для активної енергії;
- інтерфейс: RS-485 (Modbus RTU);
- діапазон струму: до 100 А (прямого включення);
- ціна: 2500-3000 грн.

2. PZEM-004T — модуль вимірювання для інтеграції. Виробник: Peasefair (Китай) Характеристики:

- вимірювання: напруга, струм, потужність, енергія, частота, коефіцієнт потужності;
- точність: 0,5% для напруги, 0,5% для струму;
- інтерфейс: UART (TTL);
- діапазон струму: до 100 А (з трансформатором струму);
- ціна: 350-450 грн.

3. Shelly 3EM — розумний лічильник з Wi-Fi. Виробник: Shelly (Болгарія) Характеристики:

- вимірювання: напруга, струм, потужність, енергія по кожній фазі;
- точність: клас 1;
- інтерфейс: Wi-Fi, MQTT, HTTP REST API;
- діапазон струму: до 120 А на фазу (з трансформаторами струму);
- особливості: хмарний сервіс, мобільний додаток;
- ціна: 3500-4000 грн.

4. Sonoff POW Elite — однофазний монітор потужності. Виробник: Sonoff (Китай) Характеристики:

- вимірювання: напруга, струм, потужність, енергія;
- точність: $\pm 1\%$;
- інтерфейс: Wi-Fi, eWeLink хмара;
- максимальний струм: 20 А;
- особливості: вбудоване реле для керування;
- ціна: 800-1000 грн.

5. Новатек-Електро ЕМ-481 — український аналізатор мережі. Виробник: Новатек-Електро (Україна) Характеристики:

- вимірювання: напруга, струм, потужність, енергія, THD, гармоніки до 31-ї;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- точність: клас 0,5S;
- інтерфейс: RS-485 (Modbus), Ethernet (опція);
- особливості: сертифікований в Україні, підтримка вітчизняного виробника;
- ціна: 8000-12000 грн.

Таблиця 2.1 — Порівняння IoT-сенсорів для моніторингу електромережі

Модель	Фази	Точність	Інтерфейс	Ціна, грн
Eastron SDM630	3	1%	RS-485	2800
PZEM-004T	1	0,5%	UART	400
Shelly 3EM	3	1%	Wi-Fi	3800
Sonoff POW Elite	1	1%	Wi-Fi	900
Новатек EM-481	3	0,5%	RS-485/Eth	10000

Критерії вибору сенсорів для житлового комплексу:

При виборі IoT-сенсорів для системи моніторингу житлового комплексу необхідно враховувати:

1. Кількість фаз — для магістральних ліній потрібні трифазні сенсори, для квартирних груп — однофазні.
2. Діапазон вимірюваного струму — повинен відповідати номінальному струму контрольованої лінії з запасом 20-30%.
3. Комунікаційний інтерфейс:
 - RS-485 — надійний, завадостійкий, потребує прокладання кабелю;
 - Wi-Fi — простий монтаж, але може бути ненадійним у приміщеннях з металевими конструкціями;
 - Ethernet — надійний, швидкий, потребує мережевої інфраструктури.
4. Функціональність — для базового моніторингу достатньо вимірювання напруги, струму та потужності; для аналізу якості електроенергії потрібні функції вимірювання гармонік.
5. Вартість — оптимальне співвідношення ціни та функціональності для масового застосування.

2.2. Датчики та допоміжне обладнання системи моніторингу

Для побудови ефективної системи моніторингу необхідно використовувати різні типи сенсорів залежно від точки встановлення та задач контролю.

Датчики струму (трансформатори струму):

Трансформатори струму забезпечують безконтактне вимірювання та гальванічну ізоляцію вимірювального кола від силової мережі.

1. SCT-013-000 — трансформатор струму з розмиканням. Характеристики:

- діапазон: 0-100 А;
- вихід: 0-50 мА;
- точність: $\pm 1\%$;
- внутрішній діаметр: 13 мм;
- ціна: 150-200 грн.

2. YHDC SCT-016 — компактний трансформатор струму. Характеристики:

- діапазон: 0-60 А;
- вихід: 0-1 В (з вбудованим резистором);
- точність: $\pm 1\%$;
- ціна: 180-250 грн.

3. Eastron ESCT-T24 — трансформатор струму для DIN-рейки.

Характеристики:

- діапазон: 100/5 А, 150/5 А, 200/5 А;
- клас точності: 0,5;
- монтаж: на DIN-рейку;
- ціна: 400-600 грн.

Датчики напруги:

Для вимірювання напруги використовуються резистивні дільники або трансформатори напруги.

1. ZMPT101B — модуль вимірювання напруги. Характеристики:

- діапазон: 0-250 В змінного струму;
- вихід: аналоговий сигнал 0-5 В;
- ізоляція: трансформаторна;
- ціна: 80-120 грн.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Датчики виявлення магнітного впливу:

Для виявлення спроб зупинки лічильників магнітом використовуються спеціальні датчики.

1. Герконовий датчик магнітного поля:

- спрацювання при напруженості поля > 3 мТл;
- цифровий вихід;
- ціна: 20-50 грн.

2. Датчик Холла А3144:

- виявлення магнітного поля;
- цифровий вихід з порогом спрацювання;
- ціна: 15-30 грн.

Комунікаційне обладнання:

1. Перетворювач RS-485 / Ethernet — USR-TCP232-410S:

- підтримка Modbus RTU/TCP;
- швидкість до 921600 bps;
- ціна: 800-1200 грн.

2. IoT-шлюз для LoRaWAN — Dragino LG308:

- 8 каналів LoRa;
- Ethernet підключення;
- підтримка MQTT;
- ціна: 4500-5500 грн.

3. Промисловий Wi-Fi роутер — Teltonika RUT240:

- 4G LTE резервування;
- VPN підтримка;
- ціна: 5000-6000 грн.

Мікроконтролери для створення власних рішень:

1. ESP32-WROOM-32:

- двоядерний процесор 240 МГц;
- Wi-Fi + Bluetooth;
- 18 каналів АЦП;
- ціна: 200-300 грн.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

2. Arduino Mega 2560:

- 54 цифрових входи/виходи;
- 16 аналогових входів;
- ціна: 400-600 грн.

Таблиця 2.2 — Специфікація обладнання для системи моніторингу

Компонент	Модель	Кількість	Ціна за од., грн	Сума, грн
Трифазний монітор	Eastron SDM630	5	2800	14000
Однофазний монітор	Shelly 1PM	20	600	12000
Трансформатор струму	SCT-013-000	15	180	2700
Перетворювач RS-485/Eth	USR-TCP232	2	1000	2000
Комутатор Ethernet	TP-Link TL-SG108	2	800	1600
Сервер (міні-ПК)	Intel NUC	1	12000	12000
Джерело безперебійного живлення	APC BX650	1	3500	3500
Разом			—	47800

2.3. Архітектура системи збору даних

Структура системи моніторингу електромережі житлового комплексу повинна забезпечувати контроль усіх критичних точок з мінімальними витратами на інфраструктуру.

Рівні моніторингу:

1. Верхній рівень (ввід у будинок):

- контроль загального споживання будинку;
- фіксація параметрів якості електроенергії від постачальника;
- порівняння з показами комерційного лічильника.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Обладнання: трифазний аналізатор мережі з функцією вимірювання гармонік (Новатек ЕМ-481 або аналог).

2. Середній рівень (поверхові щити):

- контроль споживання по секціях/під'їздах;
- виявлення небалансу між сумою квартирних лічильників та поверховим;
- моніторинг напруги на поверхах (виявлення перекосу фаз).

Обладнання: трифазні монітори (Eastron SDM630) на кожному поверховому щиті.

3. Нижній рівень (групові лінії):

- контроль ліній живлення загальнобудинкового обладнання;
- моніторинг освітлення місць загального користування;
- контроль навантаження ліфтів, насосів, вентиляції.

Обладнання: однофазні монітори (Shelly 1PM, Sonoff POW) на критичних лініях.

Архітектура системи збору даних:

Система будується за ієрархічним принципом:

Рівень 1 (польовий): IoT-сенсори → RS-485/Wi-Fi → Локальний концентратор

Рівень 2 (комунікаційний): Концентратори → Ethernet → Центральний сервер

Рівень 3 (серверний): Сервер → База даних → Веб-інтерфейс

Вибір топології мережі:

Для житлового комплексу оптимальною є комбінована топологія:

1. Магістральна лінія RS-485 — для сенсорів у щитових приміщеннях:

- максимальна довжина до 1200 м;
- до 32 пристроїв на одній лінії;
- завадостійкість;
- не потребує додаткової мережевої інфраструктури.

2. Wi-Fi — для окремих точок моніторингу:

- простота монтажу;
- гнучкість розташування;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– використання існуючої інфраструктури.

3. Ethernet — для з'єднання концентраторів з сервером:

– висока швидкість передачі;

– надійність;

– можливість використання PoE для живлення обладнання.

Розрахунок кількості обладнання для типового Житлового комплексу:

Вихідні дані:

– кількість квартир: 200;

– кількість секцій: 4;

– кількість поверхів: 16;

– кількість поверхових щитів: 64 (16×4);

– ліфтів: 8 (2 на секцію);

– насосних груп: 2.

Таблиця 2.3 — Розрахунок обладнання для ЖК на 200 квартир

Точка встановлення	Тип сенсора	Кількість
Ввід будинку	Аналізатор мережі	1
Поверхові щити	Трифазний монітор	64
Лінії освітлення МЗК	Однофазний монітор	8
Ліфтове обладнання	Трифазний монітор	8
Насосне обладнання	Трифазний монітор	2
Резерв	Різні	5
Разом	—	88

Програмне забезпечення:

Для збору та обробки даних використовується стек відкритого програмного забезпечення:

– Mosquitto — MQTT брокер для прийому даних від сенсорів;

– InfluxDB — база даних часових рядів;

– Grafana — система візуалізації та дашбордів;

– Node-RED — платформа для автоматизації та обробки подій.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Всі компоненти є безкоштовними та мають відкритий вихідний код, що забезпечує незалежність від постачальників та можливість налаштування під конкретні потреби.

Висновки

У другому розділі проведено детальний аналіз сучасного ринку IoT-сенсорів та обладнання для побудови системи моніторингу електричних параметрів.

1. Здійснено класифікацію IoT-сенсорів за функціональністю, способом підключення та комунікаційним інтерфейсом. Проаналізовано п'ять конкретних моделей пристроїв — Eastron SDM630-Modbus, PZEM-004T, Shelly 3EM, Sonoff POW Elite та Новатек-Електро ЕМ-481. Для кожного пристрою визначено технічні характеристики, діапазони вимірювань, клас точності та ціновий діапазон для ринку України. Обґрунтовано критерії вибору сенсорів залежно від кількості фаз, діапазону вимірюваного струму та комунікаційного інтерфейсу.

2. Проаналізовано допоміжне обладнання системи: трансформатори струму (SCT-013-000, YHDC SCT-016, Eastron ESCT-T24), модулі вимірювання напруги (ZMPT101B), датчики виявлення магнітного впливу (герконовий датчик та датчик Холла А3144), комунікаційні перетворювачі RS-485/Ethernet та мікроконтролери (ESP32, Arduino Mega). Встановлено, що трансформатори струму з розмиканням забезпечують безконтактне вимірювання та гальванічну ізоляцію вимірювального кола від силової мережі.

3. Розроблено архітектуру трирівневої системи збору даних: польовий рівень (IoT-сенсори з інтерфейсом RS-485/Wi-Fi), комунікаційний рівень (концентратори RS-485/Ethernet) та серверний рівень (база даних, веб-інтерфейс). Обґрунтовано застосування комбінованої топології мережі: магістральна лінія RS-485 для сенсорів у щитових приміщеннях, Wi-Fi для окремих точок моніторингу та Ethernet для з'єднання концентраторів з центральним сервером.

4. Виконано розрахунок кількості обладнання для типового ЖК на 200 квартир: визначено 88 точок моніторингу загальнобудинкового обладнання. Для програмного забезпечення обґрунтовано застосування стеку відкритого коду:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Mosquitto (MQTT-брокер), InfluxDB (база даних часових рядів), Grafana (система візуалізації) та Node-RED (платформа автоматизації). Використання відкритого програмного забезпечення забезпечує незалежність від постачальників та можливість повного налаштування під потреби конкретного об'єкта.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

РОЗДІЛ 3

ПРОЄКТУВАННЯ СИСТЕМИ МОНІТОРИНГУ ДЛЯ ЖИТЛОВОГО КОМПЛЕКСУ

3.1. Вихідні дані та структурна схема системи

Проектування системи моніторингу виконується для типового житлового комплексу з наступними характеристиками:

Вихідні дані для проектування:

Загальні відомості про об'єкт:

- назва: ЖК "Енергія";
- адреса: м. Київ, вул. Електриків, 15;
- кількість секцій: 4;
- кількість поверхів: 16 (+ технічний поверх);
- кількість квартир: 200 (50 на секцію);
- загальна площа: 18000 м².

Характеристики системи електропостачання:

- категорія надійності: II;
- напруга живлення: 0,4 кВ (380/220 В);
- схема електропостачання: радіальна;
- встановлена потужність: 1200 кВт;
- розрахункове навантаження: 650 кВт;
- річне споживання електроенергії: 1800000 кВт·год.

Склад електрообладнання:

- трансформаторна підстанція: ТП-10/0,4 кВ, 2×630 кВА;
- ввідно-розподільчий пристрій: ВРП-0,4 кВ;
- головний розподільчий щит: ГРЩ;
- поверхових щитів: 64 шт.;
- ліфтів: 8 шт. (по 2 на секцію);
- насосних станцій: 2 (водопостачання, опалення);
- системи вентиляції: 4 шт.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Структурна схема системи моніторингу:

Система моніторингу має трирівневу структуру (див. Рис. 3.1 у Додатку):

Перший рівень — збір даних: На цьому рівні розташовані IoT-сенсори, що здійснюють безпосереднє вимірювання електричних параметрів:

- аналізатор мережі на вводі (1 шт.);
- трифазні монітори на поверхових щитах (64 шт.);
- трифазні монітори ліфтового обладнання (8 шт.);
- трифазні монітори насосного обладнання (2 шт.);
- однофазні монітори освітлення МЗК (8 шт.);
- датчики магнітного поля (10 шт.).

Другий рівень — передача даних: Забезпечує збір даних від сенсорів та передачу на сервер:

- концентратори RS-485/Ethernet (4 шт., по одному на секцію);
- комутатори Ethernet (5 шт.);
- кабельна інфраструктура (вита пара Cat.5e, RS-485).

Третій рівень — обробка та візуалізація: Включає серверне обладнання та програмне забезпечення:

- сервер збору даних (1 шт.);
- джерело безперебійного живлення (1 шт.);
- програмне забезпечення моніторингу.

Розіщення обладнання:

Таблиця 3.1 — Розміщення обладнання системи моніторингу

Приміщення	Обладнання	Кількість
Електрощитова (ВРП)	Аналізатор мережі, сервер, ДБЖ, комутатор	4
Поверхові щитові (1-16 пов.)	Трифазні монітори	64
Машинні приміщення ліфтів	Трифазні монітори	8
Насосна станція	Трифазні монітори	2
Щити освітлення	Однофазні монітори	8

Принципи побудови системи:

1. Модульність — можливість поетапного впровадження та розширення системи.
2. Резервування — наявність резервних каналів зв'язку та джерел живлення для критичного обладнання.
3. Масштабованість — архітектура дозволяє збільшувати кількість точок моніторингу без зміни базової інфраструктури.
4. Відкритість — використання стандартних протоколів (Modbus, MQTT) забезпечує сумісність з обладнанням різних виробників.

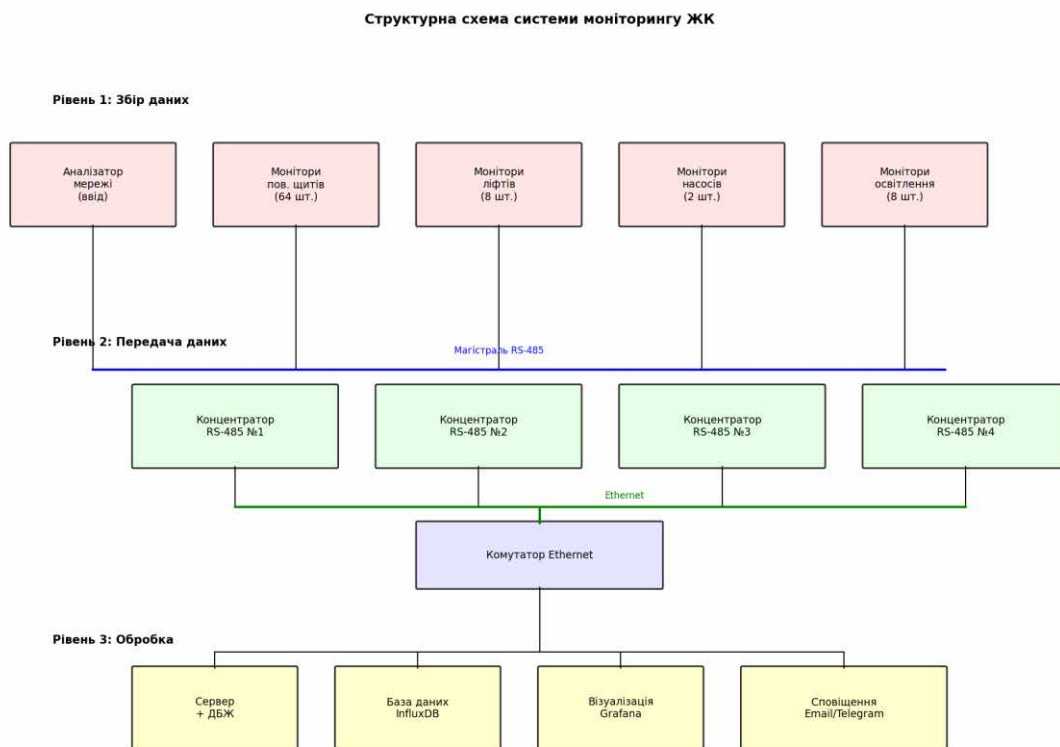


Рис. 3.1. Структурна схема системи моніторингу ЖК

3.2. Схеми підключення IoT-сенсорів у локальну мережу

Схема підключення сенсорів у локальну мережу житлового комплексу розроблена з урахуванням особливостей існуючої електричної інфраструктури та вимог до надійності системи моніторингу.

Схема підключення сенсорів на вводі будинку (див. Рис. 3.2):

На вводі будинку встановлюється аналізатор мережі Новатек ЕМ-481, який підключається:

- до трансформаторів струму, встановлених на шинах ВРП;
- до шин напруги через запобіжники;
- до мережі передачі даних через інтерфейс RS-485.

Параметри підключення:

- трансформатори струму: 400/5 А, клас 0,5S;
- запобіжники напруги: 2 А;
- кабель RS-485: вита пара в екрані, довжина до 100 м.

Схема підключення поверхових моніторів (див. Рис. 3.3):

На кожному поверховому щиті встановлюється трифазний монітор Eastron SDM630:

- трансформатори струму SCT-013-100 на фазних провідниках;
- підключення напруги безпосередньо до шин щита;
- з'єднання з магістраллю RS-485.

Особливості підключення:

- трансформатори струму встановлюються на ввідних провідниках щита;
- напрямок струму повинен відповідати маркуванню на трансформаторі;
- кабель RS-485 прокладається в окремому каналі або трубі.

Схема магістралі RS-485 (див. Рис. 3.4):

Магістраль RS-485 організована за шинною топологією:

- магістральний кабель: вита пара в екрані (КИПЭВ 1×2×0,6);
- відгалуження до сенсорів: довжина не більше 1 м;
- термінуючі резистори 120 Ом на кінцях магістралі;
- максимальна кількість пристроїв на магістралі: 32.

Для кожної секції будинку організована окрема магістраль RS-485:

- довжина магістралі: до 200 м;
- кількість сенсорів: 16-20 шт.;
- швидкість обміну: 9600 bps.

Схема мережі Ethernet (див. Рис. 3.5):

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Мережа Ethernet забезпечує з'єднання концентраторів RS-485 з центральним сервером:

- топологія: зірка;
- кабель: вита пара Cat.5e;
- комутатор: керований, з підтримкою VLAN;
- швидкість: 100 Мбіт/с.

Адресація мережі:

- сервер: 192.168.1.1;
- концентратори: 192.168.1.10 - 192.168.1.19;
- шлюз: 192.168.1.254;
- маска підмережі: 255.255.255.0.

Таблиця 3.2 — Кабельна інфраструктура системи моніторингу

Тип кабелю	Призначення	Довжина, м
КИПЭВ 1×2×0,6	Магістраль RS-485	800
UTP Cat.5e	Мережа Ethernet	300
ПВС 3×1,5	Живлення обладнання	150
Разом	—	1250

Схема живлення обладнання моніторингу:

Обладнання системи моніторингу живиться від мережі 220 В через окремі автоматичні вимикачі:

- сервер та мережеве обладнання — через ДБЖ;
- сенсори — від шин щитів, де вони встановлені.

Потужність, що споживається системою:

- сервер: 100 Вт;
- ДБЖ (у режимі заряду): 30 Вт;
- комутатори: 40 Вт;
- концентратори RS-485: 20 Вт;
- сенсори (93 шт.): 93 Вт;
- загалом: 283 Вт.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

При відключенні мережі ДБЖ забезпечує автономну роботу сервера протягом 30 хвилин, що достатньо для коректного завершення роботи та збереження даних.

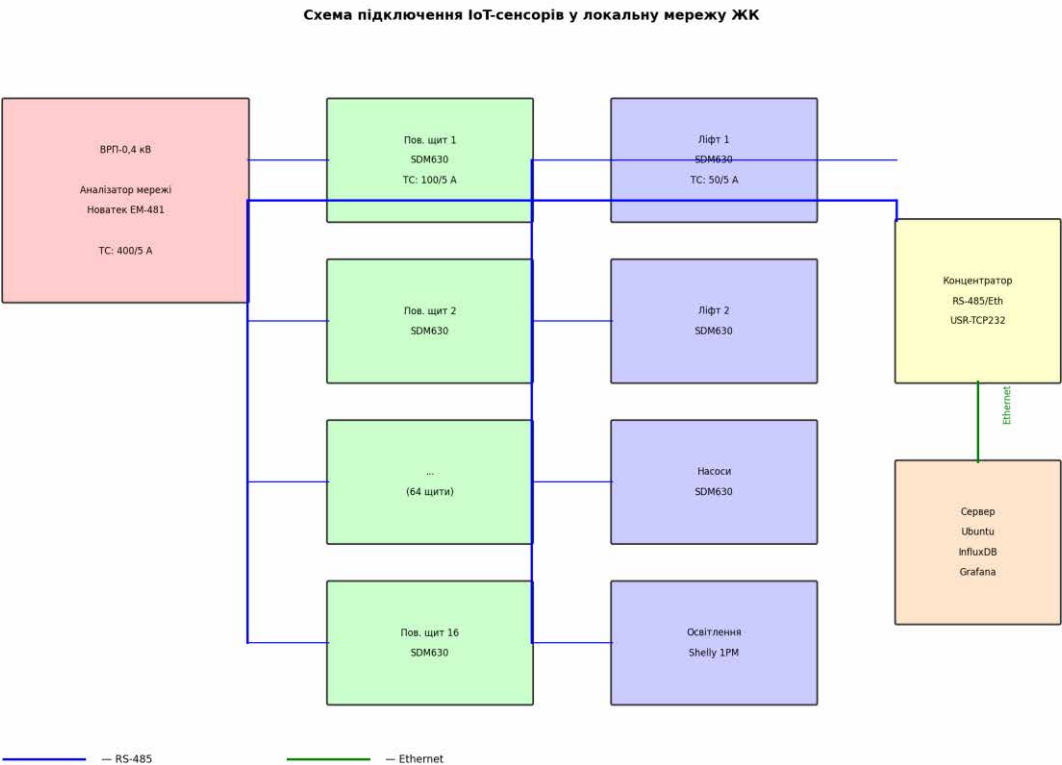


Рис. 3.2. Схема підключення IoT-сенсорів у локальну мережу ЖК

3.3. Програмне забезпечення та алгоритми виявлення аномалій

Програмне забезпечення системи моніторингу складається з серверної частини, бази даних та веб-інтерфейсу користувача.

Серверна частина:

Сервер виконує такі функції:

- збір даних від IoT-сенсорів;
- зберігання вимірювань у базі даних;
- аналіз даних та виявлення аномалій;
- генерація тривог та сповіщень;
- надання даних для візуалізації.

Програмне забезпечення сервера:

- операційна система: Ubuntu Server 22.04 LTS;
- MQTT-брокер: Eclipse Mosquitto;

- база даних: InfluxDB 2.0;
- платформа автоматизації: Node-RED;
- система візуалізації: Grafana.

Алгоритм збору даних:

1. Сенсори передають дані на концентратори по RS-485 (протокол Modbus RTU). 2. Концентратори перетворюють дані та передають на сервер по MQTT. 3. Сервер записує дані в базу InfluxDB. 4. Grafana відображає дані у вигляді графіків та дашбордів.

Структура бази даних:

База даних InfluxDB зберігає вимірювання з такими полями:

- measurement: electricity;
- tags: device_id, location, phase;
- fields: voltage, current, power, energy, frequency, pf, thd;
- time: мітка часу з точністю до секунди.

Обсяг даних:

- кількість сенсорів: 93;
- частота опитування: 1 раз на 10 секунд;
- кількість записів на добу: $93 \times 6 \times 60 \times 24 = 803520$;
- розмір запису: ~100 байт;
- обсяг даних на добу: ~80 МБ;
- обсяг даних на рік: ~29 ГБ.

Алгоритми виявлення аномалій:

1. Виявлення небалансу потужності:

- порівняння суми потужностей квартирних ліній з показами поверхового сенсора;
- допустимий небаланс: 5%;
- при перевищенні — генерація тривоги.

2. Виявлення магнітного впливу:

- спрацювання датчика магнітного поля;
- негайна генерація тривоги з фіксацією часу та місця.

3. Аналіз профілю споживання:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- порівняння поточного споживання з історичним профілем;
- виявлення аномального споживання в нічні години;
- виявлення різкого зростання/падіння споживання.

4. Контроль якості електроенергії:

- моніторинг відхилення напруги;
- контроль несиметрії фаз;
- фіксація провалів напруги.

Веб-інтерфейс користувача:

Grafana забезпечує створення інформаційних панелей (див. Рис. 3.6):

1. Головний дашборд:

- загальне споживання будинку;
- споживання по секціях;
- баланс електроенергії;
- активні тривоги.

2. Дашборд якості електроенергії:

- графіки напруги по фазах;
- графік частоти мережі;
- рівень гармонік THD;
- події (провали, перенапруги).

3. Дашборд аналізу споживання:

- погодинний профіль споживання;
- порівняння з попередніми періодами;
- рейтинг споживання по поверхах.

4. Журнал подій:

- хронологія тривог;
- фільтрація за типом, місцем, часом;
- статистика порушень.

Система сповіщень:

При виявленні аномалій система надсилає сповіщення:

- електронна пошта — диспетчеру та керуючій компанії;
- Telegram — оперативне сповіщення відповідальних осіб;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– журнал подій — для документування та аналізу.

Формат сповіщення: [ТРИВОГА] ЖК Енергія Час: 15.01.2025 14:32:05
Тип: Небаланс потужності Місце: Секція 2, поверх 8 Деталі: Різниця 2.4 кВт
(15%) Рекомендація: Перевірити лічильники кв. 145-152

3.4. Графіки та візуалізація даних моніторингу

Для візуалізації роботи системи моніторингу та аналізу електроспоживання розроблено набір графіків та діаграм.

Графік 3.1. Добовий профіль електроспоживання ЖК (див. Додаток Б):

Графік відображає типовий добовий профіль споживання електроенергії житловим комплексом:

- мінімум споживання: 04:00-06:00 (базове навантаження ~150 кВт);
- ранковий пік: 07:00-09:00 (до 450 кВт);
- денний період: 10:00-17:00 (250-350 кВт);
- вечірній пік: 18:00-22:00 (до 550 кВт);
- нічний спад: 23:00-04:00 (200-150 кВт).

Аналіз профілю дозволяє:

- виявляти аномальне споживання в нічні години;
- планувати роботу обладнання у позапікові години;
- оптимізувати договірну потужність.

Графік 3.2. Баланс електроенергії по секціях (див. Додаток Б):

Стовпчикова діаграма показує співвідношення:

- обліковане споживання (за показами лічильників);
- фактичне споживання (за показами сенсорів);
- різниця (небаланс).

Допустимий небаланс: до 3% (технічні втрати). При перевищенні — ймовірно несанкціоноване споживання.

Графік 3.3. Параметри якості електроенергії (див. Додаток Б):

Тренд-графік відображає зміну параметрів протягом доби:

- напруга по фазах (L1, L2, L3);
- коефіцієнт несиметрії;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– THD напруги.

Нормальні діапазони позначені зеленою зоною, відхилення — жовтою та червоною.

Діаграма 3.1. Структура електроспоживання ЖК (див. Додаток Б):

Кругова діаграма розподілу споживання:

- квартири: 75%;
- ліфти: 8%;
- освітлення МЗК: 5%;
- насосне обладнання: 4%;
- вентиляція: 3%;
- інше: 5%.

Таблиця 3.3 — Контрольні точки моніторингу та їх параметри

Точка контролю	Параметри	Періодичність	Пороги тривоги
Ввід будинку	U, I, P, Q, f, THD	10 с	$U \pm 10\%$, $THD > 8\%$
Поверхові щити	U, I, P, E	10 с	Небаланс $> 5\%$
Ліфти	U, I, P	10 с	$I > I_{ном} \times 1,5$
Насоси	U, I, P	10 с	$I > I_{ном} \times 1,2$
Освітлення МЗК	I, P, E	60 с	$P > P_{розр} \times 1,3$

Інтерфейс оператора:

Робоче місце оператора (диспетчера) включає:

- монітор з відображенням головного дашборду;
- панель активних тривог;
- можливість перегляду деталей по кожній точці;
- інструменти для формування звітів.

Рівні доступу:

- адміністратор — повний доступ до налаштувань;
- диспетчер — перегляд даних, підтвердження тривог;
- керуюча компанія — перегляд звітів та статистики;
- мешканці (опціонально) — перегляд власного споживання.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

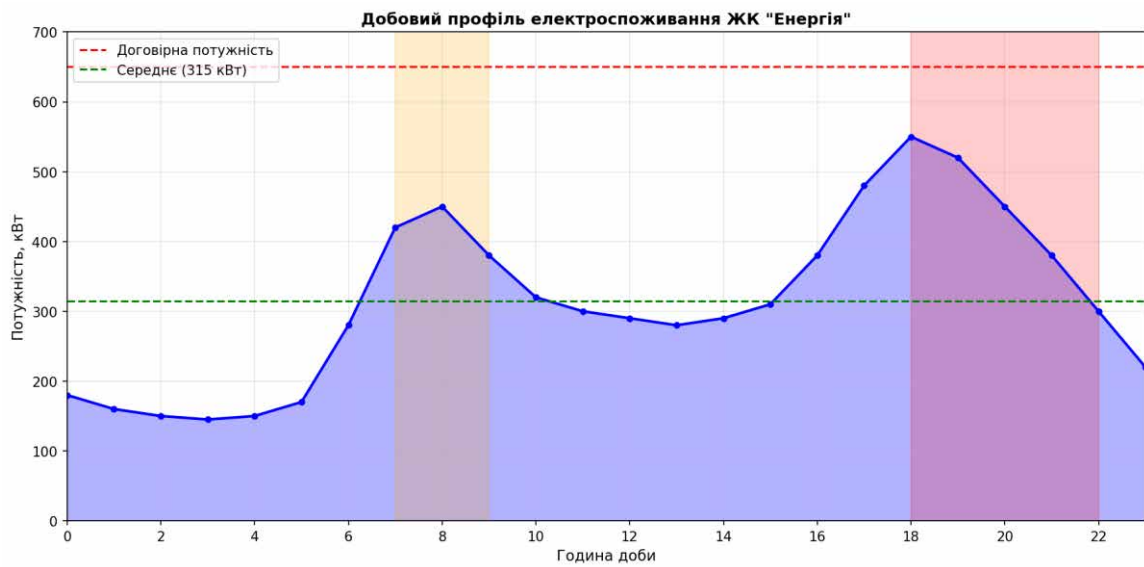


Рис. 3.3. Добовий профіль електроспоживання ЖК "Енергія"

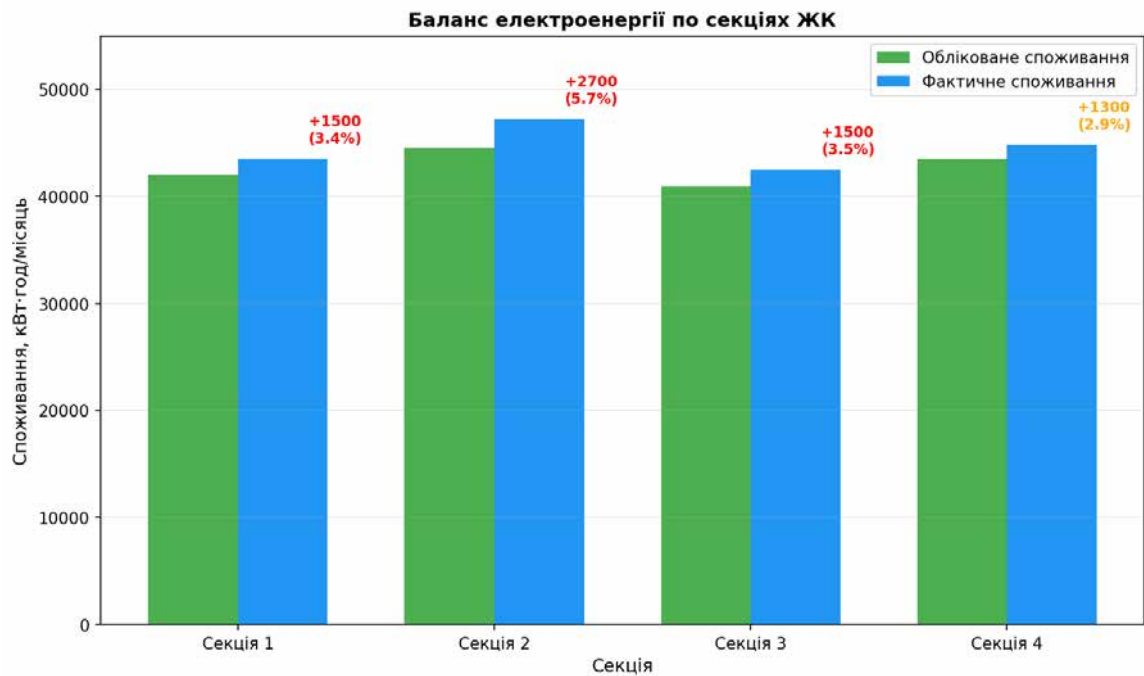


Рис. 3.4. Баланс електроенергії по секціях ЖК

Структура електроспоживання ЖК "Енергія"

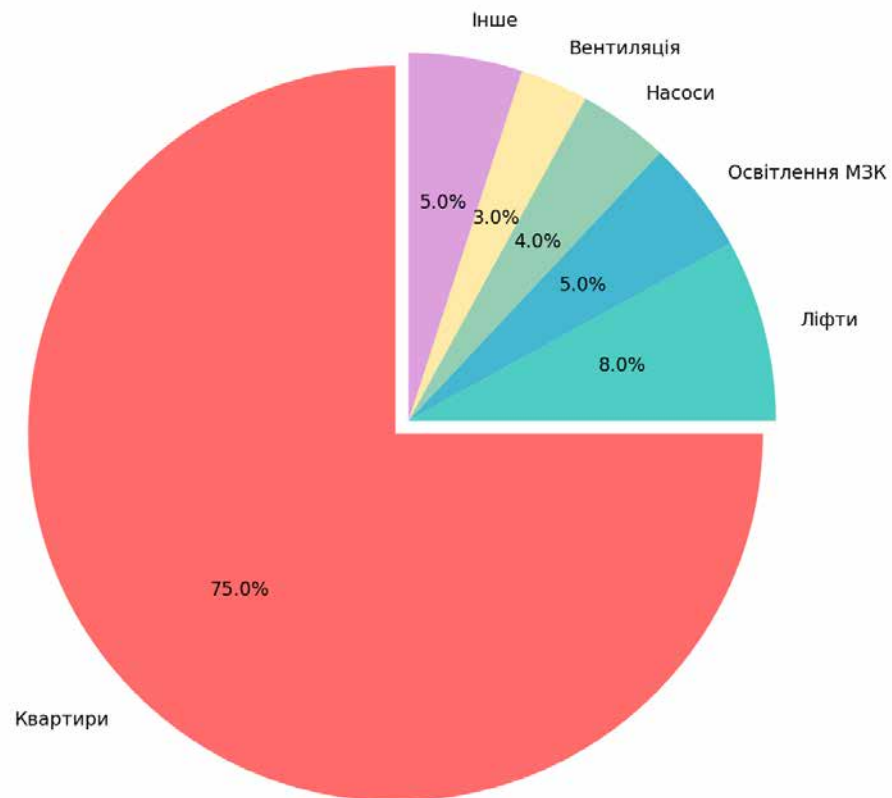


Рис. 3.5. Структура електроспоживання ЖК

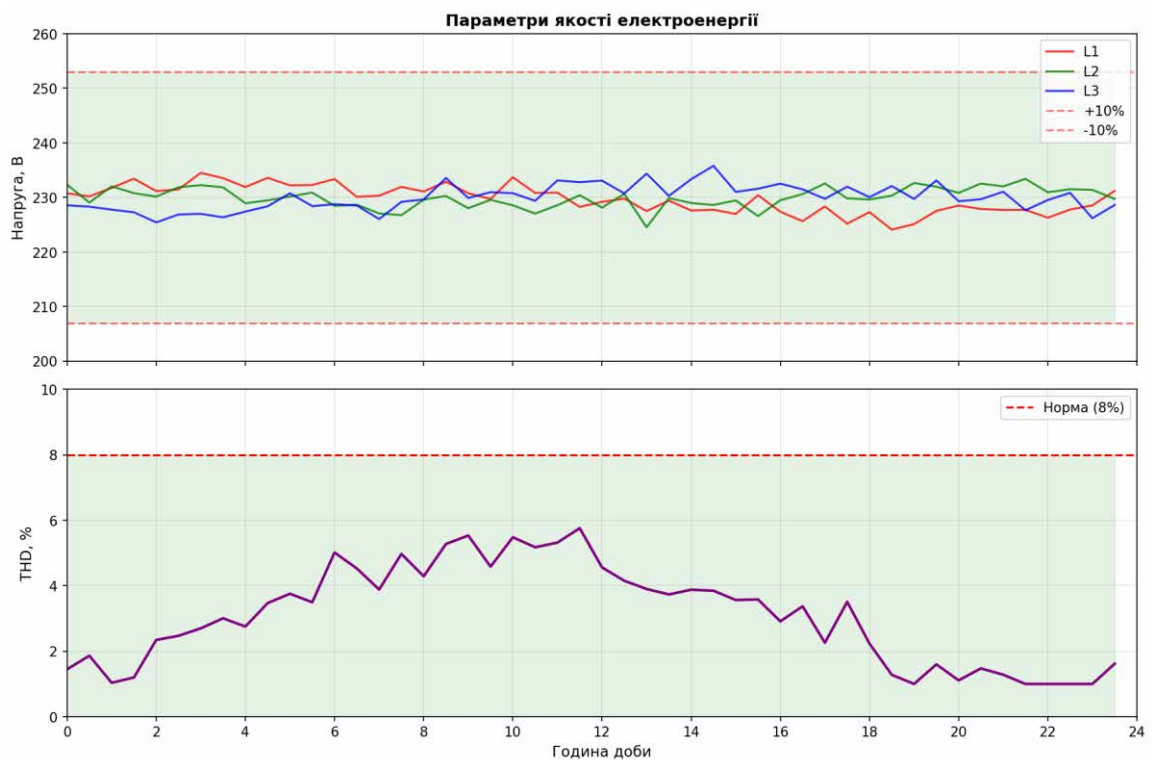


Рис. 3.6. Параметри якості електроенергії

Висновки

У третьому розділі виконано повне проєктування системи моніторингу для конкретного об'єкта — житлового комплексу «Енергія» на 200 квартир (4 секції, 16 поверхів, м. Київ).

1. Розроблено структурну схему трирівневої системи моніторингу, що включає 93 точки контролю: аналізатор мережі на вводі будинку, 64 трифазних монітори на поверхових щитах, 8 трифазних моніторів ліфтового обладнання, 2 трифазних монітори насосних станцій, 8 однофазних моніторів освітлення МЗК та 10 датчиків магнітного поля. Визначено місця розміщення всього обладнання та чотири основних принципи побудови системи: модульність, резервування, масштабованість та відкритість.

2. Розроблено схеми підключення IoT-сенсорів у локальну мережу з урахуванням особливостей існуючої електричної інфраструктури. Організовано чотири окремих сегменти магістралі RS-485 (по одному на секцію будинку, довжина до 200 м, до 20 сенсорів кожна), мережу Ethernet зіркової топології та схему живлення обладнання через ДБЖ. Загальне споживання системи моніторингу становить 283 Вт, що забезпечує 30 хвилин автономної роботи критичного обладнання при відключенні мережі.

3. Визначено програмне забезпечення та чотири алгоритми виявлення аномалій: виявлення небалансу потужності між поверховим сенсором і квартирними лініями (допустимий поріг $\pm 5\%$), миттєва фіксація спрацювання датчика магнітного поля, аналіз профілю споживання на основі порівняння з історичними даними та контроль якості електроенергії (відхилення напруги, несиметрія фаз, провали). Обсяг даних системи — близько 803520 записів на добу (~80 МБ/добу, ~29 ГБ/рік).

4. Розроблено набір інформаційних панелей (дашбордів) у Grafana та систему сповіщень через електронну пошту і Telegram. Визначено чотири рівні доступу користувачів: адміністратор, диспетчер, керуюча компанія та мешканці. Автоматичні сповіщення формуються з точним зазначенням місця, часу та характеру порушення, що суттєво скорочує час реагування персоналу.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ

4.1. Розрахунок капітальних та експлуатаційних витрат

Техніко-економічне обґрунтування впровадження системи моніторингу базується на порівнянні капітальних та експлуатаційних витрат з очікуваним економічним ефектом від зменшення витрат електроенергії та підвищення ефективності управління.

Вихідні дані для розрахунку:

Параметри житлового комплексу:

- кількість квартир: 200;
- річне споживання електроенергії: 1800000 кВт·год;
- середній тариф на електроенергію: 4,32 грн/кВт·год;
- річна вартість спожитої електроенергії: 7776000 грн.

Оцінка поточних витрат:

- технічні втрати (норматив): 3% = 54000 кВт·год/рік;
- комерційні втрати (оцінка): 5% = 90000 кВт·год/рік;
- загальні втрати: 8% = 144000 кВт·год/рік;
- вартість витрат: 622080 грн/рік.

Капітальні витрати на впровадження системи:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Таблиця 4.1 — Кошторис капітальних витрат

Стаття витрат	Кількість	Ціна, грн	Сума, грн
Аналізатор мережі Новатек ЕМ-481	1	10000	10000
Трифазний монітор Eastron SDM630	74	2800	207200
Однофазний монітор Shelly 1PM	8	600	4800
Трансформатори струму SCT-013-100	222	180	39960
Датчики магнітного поля	10	50	500
Концентратор RS- 485/Ethernet	4	1000	4000
Комутатор Ethernet	5	800	4000
Сервер (міні-ПК)	1	12000	12000
ДБЖ APC 650VA	1	3500	3500
Кабельна продукція	—	—	15000
Монтажні матеріали	—	—	8000
Разом обладнання та матеріали	—	—	308960
Проектні роботи (5%)	—	—	15448
Монтажні роботи (15%)	—	—	46344
Пусконаладження (10%)	—	—	30896
Разом капітальні витрати	—	—	401648

Округлено: 402000 грн.

Річні експлуатаційні витрати:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Таблиця 4.2 — Річні експлуатаційні витрати

Стаття витрат	Сума, грн/рік
Електроенергія ($283 \text{ Вт} \times 8760 \text{ год} \times 4,32 \text{ грн}$)	10710
Технічне обслуговування (4 рази на рік)	12000
Заміна несправного обладнання (2%)	6200
Інтернет-з'єднання (опціонально)	3600
Разом	32510

Округлено: 32500 грн/рік.

4.2. Розрахунок економічного ефекту

Очікуваний економічний ефект від впровадження системи моніторингу формується за рахунок кількох складових.

1. Зменшення комерційних втрат електроенергії:

Система моніторингу дозволяє виявляти та припиняти несанкціоноване споживання електроенергії. За експертними оцінками, ефективність виявлення становить 70-80%.

Розрахунок:

- поточні комерційні втрати: 90000 кВт·год/рік;
- виявлення та припинення: 70% = 63000 кВт·год/рік;
- вартість зекономленої енергії: $63000 \times 4,32 = 272160 \text{ грн/рік}$.

2. Оптимізація договірної потужності:

Аналіз профілю споживання дозволяє оптимізувати договірну потужність та уникнути штрафів за перевищення.

Очікувана економія: 15000-25000 грн/рік. Приймаємо: 20000 грн/рік.

3. Підвищення ефективності обслуговування:

Автоматичний моніторинг зменшує потребу в ручних обходах та перевірках:

- економія робочого часу: 20 год/місяць;
- вартість робочого часу електрика: 150 грн/год;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

– річна економія: $20 \times 12 \times 150 = 36000$ грн/рік.

4. Запобігання аваріям:

Раннє виявлення перевантажень та аномалій дозволяє запобігти пошкодженню обладнання:

- ймовірність аварії без моніторингу: 10%/рік;
- середня вартість ліквідації аварії: 50000 грн;
- очікувана економія: $0,1 \times 50000 = 5000$ грн/рік.

5. Покращення якості електропостачання:

Контроль параметрів якості електроенергії дозволяє:

- своєчасно реагувати на проблеми;
- пред'являти обґрунтовані претензії постачальнику;
- зменшити кількість скарг мешканців.

Непрямий ефект: підвищення задоволеності мешканців, зменшення репутаційних ризиків.

Загальний економічний ефект:

Таблиця 4.3 — Річний економічний ефект

Джерело економії	Сума, грн/рік
Зменшення комерційних втрат	272160
Оптимізація договірної потужності	20000
Економія на обслуговуванні	36000
Запобігання аваріям	5000
Разом	333160

Округлено: 333000 грн/рік.

4.3. Показники економічної ефективності проєкту

Розрахунок показників економічної ефективності проєкту виконується з використанням методів дисконтування грошових потоків.

Вихідні дані:

- капітальні витрати (K): 402000 грн;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- річні експлуатаційні витрати (В): 32500 грн;
- річний економічний ефект (Е): 333000 грн;
- чистий річний дохід (Д): $333000 - 32500 = 300500$ грн;
- ставка дисконту (r): 15%;
- розрахунковий період (Т): 5 років.

1. Простий термін окупності:

$$\text{Ток} = K / Д = 402000 / 300500 = 1,34 \text{ року} \approx 16 \text{ місяців}$$

2. Чистий приведений дохід (NPV):

$$NPV = -K + \sum (D_t / (1+r)^t), \text{ де } t = 1 \dots T$$

Розрахунок:

Таблиця 4.4 — Розрахунок NPV проекту

Рік	Грошовий потік, грн	Коефіцієнт дисконтування	Приведений потік, грн
0	-402000	1,000	-402000
1	300500	0,870	261435
2	300500	0,756	227178
3	300500	0,658	197729
4	300500	0,572	171886
5	300500	0,497	149349
Разом	—	—	605577

$$NPV = 605577 \text{ грн} > 0$$

Оскільки $NPV > 0$, проект є економічно ефективним.

3. Індекс прибутковості (PI):

$$PI = (NPV + K) / K = (605577 + 402000) / 402000 = 2,51$$

$PI > 1$, що підтверджує ефективність інвестицій.

4. Внутрішня норма дохідності (IRR):

IRR визначається з рівняння $NPV = 0$.

Методом підбору: $IRR \approx 70\%$

Оскільки $IRR > r$ ($70\% > 15\%$), проект є прийнятним.

5. Дисконтований термін окупності:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Визначається як період, за який накопичений дисконтований грошовий потік стає додатним.

З таблиці 4.4:

– після 1 року: $-402000 + 261435 = -140565$ грн;

– після 2 року: $-140565 + 227178 = +86613$ грн.

Точний термін: $1 + 140565/227178 = 1,62$ року ≈ 19 місяців

Аналіз чутливості:

Таблиця 4.5 — Аналіз чутливості NPV до зміни параметрів

Параметр	Зміна	NPV, грн	Зміна NPV
Базовий варіант	—	605577	—
Капітальні витрати	+20%	525177	-13%
Економічний ефект	-20%	404261	-33%
Ставка дисконту	+5 п.п.	496495	-18%
Термін експлуатації	3 роки	284342	-53%

Проект найбільш чутливий до зміни економічного ефекту. При зменшенні ефекту на 60% NPV стає від'ємним.

Висновок: впровадження системи моніторингу є економічно обґрунтованим. Термін окупності становить 1,3-1,6 роки, що є відмінним показником для проєктів автоматизації.

4.4. Порівняння з альтернативними рішеннями

Порівняння запропонованого рішення з альтернативними варіантами дозволяє обґрунтувати оптимальність прийнятих технічних рішень.

Альтернатива 1: Традиційний контроль без автоматизації

Характеристика:

- періодичні обходи та перевірки (2 рази на рік);
- контрольні заміри при підозрі на порушення;
- ручний аналіз балансу електроенергії.

Витрати:

- заробітна плата контролера: $15000 \text{ грн/місяць} \times 0,5 \text{ ставки} = 90000 \text{ грн/рік}$;
- транспортні витрати: 5000 грн/рік ;
- обладнання для замірів: 15000 грн (одноразово).

Ефективність виявлення: 20-30% порушень. Очікувана економія: $90000 \times 0,25 \times 4,32 = 97200 \text{ грн/рік}$.

Альтернатива 2: АСКОЕ промислового класу

Характеристика:

- сертифіковані лічильники з дистанційним зчитуванням;
- централізована система обліку;
- інтеграція з білінговими системами.

Витрати:

- лічильники з модемом (200 шт.): $200 \times 4500 = 900000 \text{ грн}$;
- сервер та ПЗ: 150000 грн ;
- монтаж та налагодження: 200000 грн ;
- разом: 1250000 грн .

Ефективність: висока для обліку, обмежена для виявлення втручань.

Альтернатива 3: Запропоноване рішення на базі IoT

Характеристика:

- IoT-сенсори для моніторингу параметрів;
- відкрите програмне забезпечення;
- гнучкість налаштування під конкретні потреби.

Витрати: 402000 грн . Ефективність виявлення: 70-80% порушень.

Порівняльний аналіз:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Таблиця 4.6 — Порівняння альтернативних рішень

Критерій	Традиційний	АСКОЕ	IoT-система
Капітальні витрати, грн	15000	1250000	402000
Експлуатаційні витрати, грн/рік	95000	80000	32500
Ефективність виявлення	25%	60%	75%
Річна економія, грн	97200	233280	272160
Термін окупності, років	—	8,2	1,3
Гнучкість	Низька	Середня	Висока
Масштабованість	—	Обмежена	Висока

Обґрунтування вибору:

Запропоноване рішення на базі IoT-сенсорів є оптимальним за критерієм ціна/ефективність:

1. Найкоротший термін окупності (1,3 роки проти 8,2 років для АСКОВЕ).
2. Найвища ефективність виявлення порушень (75% проти 25% для традиційного методу).
3. Найнижчі експлуатаційні витрати завдяки автоматизації.
4. Висока гнучкість — можливість адаптації під конкретні потреби, використання відкритого ПЗ.
5. Масштабованість — легкість розширення системи при потребі.
6. Незалежність від постачальників — використання стандартних протоколів та відкритого ПЗ.

Висновки

У четвертому розділі виконано повне техніко-економічне обґрунтування впровадження розробленої системи моніторингу за тарифом 4,32 грн/кВт·год.

1. Розраховано капітальні витрати на впровадження системи — 402000 грн (з урахуванням вартості обладнання та матеріалів 308960 грн, а також проектних, монтажних і пусконаладжувальних робіт). Річні експлуатаційні витрати становлять 32500 грн/рік, у тому числі витрати на електроенергію 10710 грн/рік.

2. Визначено загальний річний економічний ефект від впровадження системи — 333000 грн/рік, що формується за рахунок чотирьох складових: зменшення комерційних втрат електроенергії на 70% (272160 грн/рік), оптимізації договірної потужності (20000 грн/рік), скорочення витрат на обслуговування (36000 грн/рік) та запобігання аваріям (5000 грн/рік). Чистий річний дохід становить 300500 грн/рік.

3. Розраховано показники економічної ефективності проекту: простий термін окупності — 1,34 року (≈ 16 місяців); NPV за 5 років — 605577 грн (NPV > 0 підтверджує економічну доцільність); індекс прибутковості PI = 2,51; внутрішня норма дохідності IRR $\approx 70\%$ (значно перевищує ставку дисконту 15%); дисконтований термін окупності — 1,62 року (≈ 19 місяців). Аналіз чутливості показав стійкість проекту: NPV залишається позитивним навіть при зменшенні економічного ефекту на 60%.

4. Проведено порівняльний аналіз трьох альтернативних варіантів. Встановлено, що запропоноване IoT-рішення є оптимальним за критерієм «ціна — ефективність»: при капітальних витратах 402000 грн забезпечує ефективність виявлення порушень 75% і термін окупності 1,3 роки, тоді як АСКОВЕ промислового класу потребує 1250000 грн при терміні окупності 8,2 роки, а традиційний контроль без автоматизації демонструє ефективність лише 25%.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

РОЗДІЛ 5

ЗАХОДИ З ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ОХОРОНИ ПРАЦІ

5.1. Заходи з енергозбереження при впровадженні системи моніторингу

Впровадження системи моніторингу якості електроенергії у житловому комплексі безпосередньо сприяє енергозбереженню та раціональному використанню електричної енергії.

Напрямки енергозбереження при впровадженні системи моніторингу:

1. Виявлення та усунення втрат електроенергії:

Система дозволяє виявляти:

- несанкціоноване споживання електроенергії;
- технічні втрати в мережах (перегрів з'єднань, витоки);
- неефективну роботу обладнання.

Очікуване зменшення втрат: 5-7% від загального споживання. Для ЖК "Енергія": $1800000 \times 0,06 = 108000$ кВт·год/рік.

2. Оптимізація режимів роботи обладнання:

На основі даних моніторингу можна оптимізувати:

- графіки роботи ліфтів (перехід у черговий режим у години мінімального навантаження);
- режими роботи насосного обладнання;
- графіки освітлення місць загального користування.

Потенціал економії: 3-5% споживання загальнобудинкового обладнання. Для ЖК "Енергія": $450000 \times 0,04 = 18000$ кВт·год/рік.

3. Контроль коефіцієнта потужності:

Моніторинг реактивної потужності дозволяє:

- виявляти низький коефіцієнт потужності;
- обґрунтовувати встановлення компенсуючих пристроїв;
- уникати штрафів за споживання реактивної енергії.

4. Аналіз енергоефективності:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Система надає дані для:

- порівняння споживання однотипних об'єктів (секцій, поверхів);
- виявлення об'єктів з підвищеним споживанням;
- оцінки ефективності енергозберігаючих заходів.

Заходи з підвищення енергоефективності ЖК:

На основі даних моніторингу рекомендуються такі заходи:

Таблиця 5.1 — Заходи з енергозбереження та їх ефективність

Захід	Економія, кВт·год/рік	Витрати, грн	Окупність, років
Заміна ламп на LED в МЗК	25000	45000	0,7
Встановлення датчиків руху	15000	20000	0,5
Частотне регулювання насосів	30000	80000	1,0
Оптимізація роботи ліфтів	10000	15000	0,6
Компенсація реактивної потужності	8000	35000	1,7
Разом	88000	195000	0,8

Впровадження зазначених заходів забезпечить додаткову економію 88000 кВт·год/рік або 232320 грн/рік.

Нормативна база енергозбереження:

При розробці системи моніторингу враховано вимоги:

- Закону України "Про енергозбереження";
- ДСТУ 4065:2001 "Енергозбереження. Системи енергетичного моніторингу";
- ДБН В.2.5-23:2010 "Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення".

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Система моніторингу відповідає концепції Smart Building та забезпечує інформаційну основу для впровадження інтелектуального управління енергоспоживанням будівлі.

5.2. Вимоги охорони праці при монтажі та експлуатації

При проектуванні, монтажі та експлуатації системи моніторингу електромережі необхідно дотримуватися вимог охорони праці та електробезпеки.

Нормативні документи з охорони праці:

Роботи з монтажу та обслуговування системи регламентуються:

- НПАОП 40.1-1.01-97 "Правила безпечної експлуатації електроустановок";
- НПАОП 40.1-1.21-98 "Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів";
- ДСТУ 7237:2011 "Система стандартів безпеки праці. Електробезпека";
- ПУЕ "Правила улаштування електроустановок".

Категорія приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом:

Електроцитові приміщення ЖК належать до приміщень з підвищеною небезпекою за наявністю:

- струмопровідної підлоги (бетон);
- можливості одночасного дотику до металоконструкцій будівлі та корпусів електрообладнання.

Вимоги до персоналу:

Роботи з монтажу та обслуговування системи моніторингу виконуються електротехнічним персоналом з групою електробезпеки не нижче:

- III група — для робіт в електроустановках до 1000 В;
- IV група — для керівника робіт.

Персонал повинен:

- пройти навчання з охорони праці;
- мати посвідчення з електробезпеки;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- знати схему електропостачання об'єкта;
- вміти надавати першу допомогу при ураженні електричним струмом.

Заходи безпеки при монтажі:

1. Організаційні заходи:

- оформлення наряду-допуску або розпорядження;
- проведення цільового інструктажу;
- призначення відповідальних осіб.

2. Технічні заходи:

- відключення напруги на ділянці робіт;
- перевірка відсутності напруги;
- встановлення заземлення (при необхідності);
- огороження робочого місця.

3. Застосування засобів захисту:

- діелектричні рукавички;
- інструмент з ізольованими рукоятками;
- покажчики напруги;
- діелектричні килимки.

Заходи безпеки при експлуатації:

Таблиця 5.2 — Заходи безпеки при експлуатації системи моніторингу

Операція	Небезпека	Заходи безпеки
Огляд обладнання	Дотик до струмоведучих частин	Не відкривати кришки під напругою
Заміна датчика	Ураження струмом	Відключити живлення, перевірити відсутність напруги
Робота з сервером	Електротравма	Заземлення корпусу, ДБЖ
Прокладання кабелів	Падіння з висоти	Використання драбин, страхування

Вимоги пожежної безпеки:

Електрощитові приміщення повинні відповідати вимогам:

- клас зони за ПУЕ: П-Іа;

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- мінімальний ступінь захисту обладнання: IP44;
- наявність вогнегасника (вуглекислотного) біля входу.

Заборонено:

- зберігати в електрощитових сторонні предмети;
- захаращувати проходи до обладнання;
- виконувати роботи з відкритим вогнем.

Система моніторингу повинна бути заземлена:

- сервер та мережеве обладнання — через шину РЕ розподільчого щита;
- екрани кабелів RS-485 — в одній точці (на стороні концентратора).

5.3. Електробезпека системи моніторингу

Електробезпека є пріоритетним аспектом при експлуатації системи моніторингу електромережі житлового комплексу.

Класифікація електрообладнання системи за способом захисту:

1. Обладнання класу I (із захисним заземленням):

- сервер;
- комутатори Ethernet;
- ДБЖ.

2. Обладнання класу II (з подвійною ізоляцією):

- IoT-сенсори;
- концентратори RS-485;
- блоки живлення.

3. Обладнання класу III (з безпечною наднизькою напругою):

- датчики магнітного поля;
- кабелі RS-485 (сигнальні кола).

Захист від ураження електричним струмом:

1. Захист від прямого дотику:

- ізоляція струмоведучих частин;
- розміщення обладнання у закритих щитах;
- блокування, що унеможливорює відкриття під напругою.

2. Захист від непрямого дотику:

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

- захисне заземлення обладнання;
- автоматичне відключення живлення при замиканні на корпус;
- застосування ПЗВ (пристроїв захисного відключення) з уставкою 30 мА.

Ізоляція обладнання:

Таблиця 5.3 — Характеристики ізоляції обладнання системи

Обладнання	Робоча напруга	Ізоляція	Випробувальна напруга
Аналізатор мережі	400 В	Посилена	2,5 кВ
Трифазний монітор	400 В	Основна	1,5 кВ
Трансформатор струму	До 600 В	Посилена	3 кВ
Модуль напруги ZMPT101B	250 В	Трансформаторна	2 кВ
Блок живлення HLK-PM01	250 В	Посилена	3 кВ

Заземлення та занулення:

Система заземлення ЖК — TN-C-S. Обладнання системи моніторингу підключається до шини РЕ відповідного розподільчого щита.

Опір заземлюючого пристрою не повинен перевищувати 4 Ом.

Перевірка стану заземлення проводиться:

- при введенні в експлуатацію;
- періодично — 1 раз на рік;
- після ремонтних робіт.

Захист від перенапруг:

Для захисту обладнання системи моніторингу від імпульсних перенапруг передбачено:

- обмежувачі перенапруг (ОПН) на вводі живлення сервера;
- грозозахист кабельних ліній (при виході за межі будівлі);
- екранування сигнальних кабелів.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

Безпека слабкострумкових кіл:

Кола RS-485 та Ethernet працюють з напругою до 12 В і не становлять небезпеки ураження струмом. Однак необхідно забезпечити:

- надійну ізоляцію від силових кіл;
- заземлення екранів кабелів;
- захист від наведених напруг.

Періодичність перевірок з електробезпеки:

Таблиця 5.4 — Графік перевірок з електробезпеки

Вид перевірки	Періодичність	Відповідальний
Огляд обладнання	Щомісяця	Електрик ЖК
Перевірка ізоляції	1 раз на рік	Електровимірювальна лабораторія
Перевірка заземлення	1 раз на рік	Електровимірювальна лабораторія
Перевірка ПЗВ	1 раз на квартал	Електрик ЖК
Перевірка знань персоналу	1 раз на рік	Комісія підприємства

ВИСНОВКИ

У дипломній роботі виконано комплексне дослідження питань моніторингу якості електроенергії у локальній мережі житлового комплексу із застосуванням IoT-технологій.

Основні результати та висновки:

1. Проаналізовано проблеми якості електроенергії та типові види втручання у електромережу житлових комплексів. Встановлено, що комерційні втрати електроенергії в житловому секторі становлять 3-7% від загального споживання, що для типового ЖК на 200 квартир означає збитки 150000-350000 грн на рік.

2. Досліджено сучасний ринок IoT-сенсорів для моніторингу електричних параметрів. Проаналізовано характеристики та вартість обладнання різних виробників: Eastron, Shelly, Sonoff, Новатек-Електро. Обґрунтовано вибір оптимального обладнання за критерієм ціна/функціональність.

3. Розроблено структурну схему системи моніторингу для житлового комплексу на 200 квартир, що включає 93 точки контролю: аналізатор мережі на вводі, трифазні монітори на поверхових щитах, монітори загальнобудинкового обладнання.

4. Розроблено схеми підключення IoT-сенсорів у локальну мережу ЖК з використанням інтерфейсів RS-485 та Ethernet. Визначено параметри кабельної інфраструктури та мережевого обладнання.

5. Виконано техніко-економічне обґрунтування проєкту. Капітальні витрати на впровадження системи становлять 402000 грн, очікуваний річний економічний ефект — 333000 грн. Термін окупності — 1,3 роки, NPV за 5 років — 605577 грн, IRR — 70%.

6. Проведено порівняльний аналіз із альтернативними рішеннями. Показано, що запропоноване рішення на базі IoT-сенсорів є оптимальним за співвідношенням вартості та ефективності виявлення порушень.

7. Розроблено заходи з енергозбереження на основі даних моніторингу. Потенціал додаткової економії електроенергії становить 88000 кВт·год/рік за рахунок оптимізації режимів роботи обладнання.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

8. Визначено вимоги з охорони праці та електробезпеки при монтажі та експлуатації системи. Розроблено рекомендації щодо організаційних та технічних заходів безпеки.

Практичне значення роботи:

Результати дипломної роботи можуть бути використані:

- керуючими компаніями житлових комплексів для впровадження систем моніторингу електромережі;
- проєктними організаціями при розробці систем автоматизації будівель;
- енергопостачальними компаніями для контролю якості електроенергії.

Впровадження розробленої системи забезпечує:

- зменшення комерційних втрат електроенергії на 70-80%;
- підвищення якості електропостачання мешканців;
- автоматизацію контролю та звітності;
- економічний ефект з терміном окупності до 1,5 року.

Перспективи подальших досліджень:

- інтеграція системи моніторингу з автоматизованими системами комерційного обліку електроенергії (АСКОЕ);
- застосування методів машинного навчання для прогнозування споживання та виявлення аномалій;
- розширення функціоналу системи для моніторингу інших інженерних мереж (водопостачання, тепlopостачання).

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про енергозбереження» від 01.07.1994 № 74/94-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1994. № 30. Ст. 283.
2. ДСТУ EN 50160:2014. Характеристики напруги електропостачання в електричних мережах загального призначення (EN 50160:2010, IDT). Київ: Мінекономрозвитку, 2015. 32 с.
3. ДСТУ 4065:2001. Енергозбереження. Енергетичний аудит. Загальні технічні вимоги. Київ: Держстандарт України, 2002. 12 с.
4. ДБН В.2.5-23:2010. Проектування електрообладнання об'єктів цивільного призначення. Київ: Мінрегіонбуд України, 2010. 104 с.
5. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1998. 112 с.
6. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. Київ: Держнаглядохоронпраці, 1998. 98 с.
7. ПУЕ. Правила улаштування електроустановок. Київ: Мін'енерговугілля, 2017. 760 с.
8. Бурбело М. Й., Мельничук Л. М. Автоматизація обліку та контролю електроенергії: навч. посібник. Вінниця: ВНТУ, 2013. 160 с.
9. Гриб О. Г., Сендерович Г. А. Автоматизовані системи контролю та обліку електроенергії. Харків: ХНУМГ, 2012. 240 с.
10. Денисюк С. П. Аналіз впливу нелінійних навантажень на якість електроенергії в системах електропостачання будівель. Енергетика: економіка, технології, екологія. 2019. № 2. С. 15–24.
11. Казанський С. В. Системи моніторингу та обліку енергоресурсів: навч. посібник. Київ: НТУУ «КПІ», 2018. 150 с.
12. Кириленко О. В., Стогній Б. С. Інтелектуальні електричні мережі: елементи та режими. Київ: Інститут електродинаміки НАН України, 2016. 400 с.
13. Козирський В. В., Білецький О. О. Якість електричної енергії в розподільчих мережах: навч. посібник. Київ: НУБіП України, 2018. 156 с.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

15. Находов В. Ф., Замулко А. І. Методичні засади побудови систем моніторингу та аналізу електроспоживання. Вісник НТУУ «КПІ». Серія: Гірництво. 2012. № 22. С. 178–186.

16. Лежнюк П. Д., Рубаненко О. Є. Аналіз втрат електроенергії в розподільних мережах. Вінниця: ВНТУ, 2015. 128 с.

17. Праховник А. В., Калінчик В. П. Енергозбереження: організаційно-технологічний аспект: монографія. Київ: НТУУ «КПІ», 2010. 200 с.

18. Рогальський Б. С. Експлуатація електрообладнання систем електропостачання. Київ: Освіта України, 2017. 448 с.

19. 10. Сиченко В. Г., Косарев Є. М. Методи та засоби підвищення якості електроенергії в системах електропостачання. Дніпро: ДНУЗТ, 2019. 180 с.

					02.03 – КР. 2708 "С" 2025.11.07 4 ПЗ	Арк
Арк	№ документа	Підпис	Дата			

ДОДАТКИ

Додаток А. Структурна схема системи моніторингу

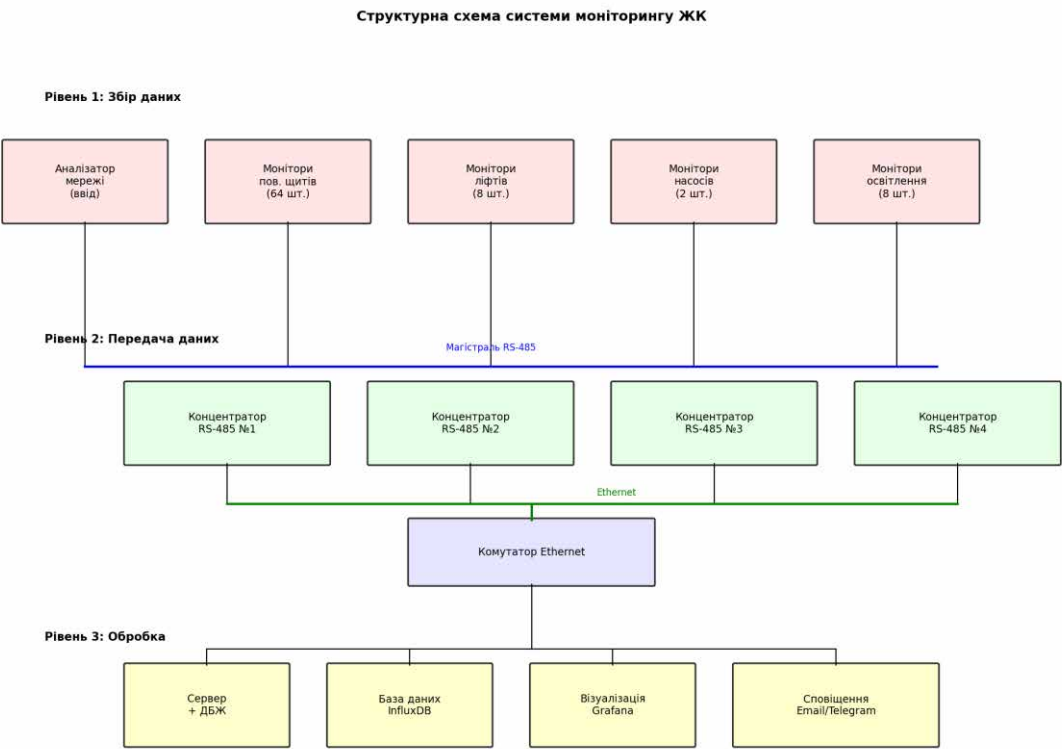


Рис. А.1. Структурна схема системи моніторингу електромережі ЖК

Додаток Б. Схема підключення обладнання

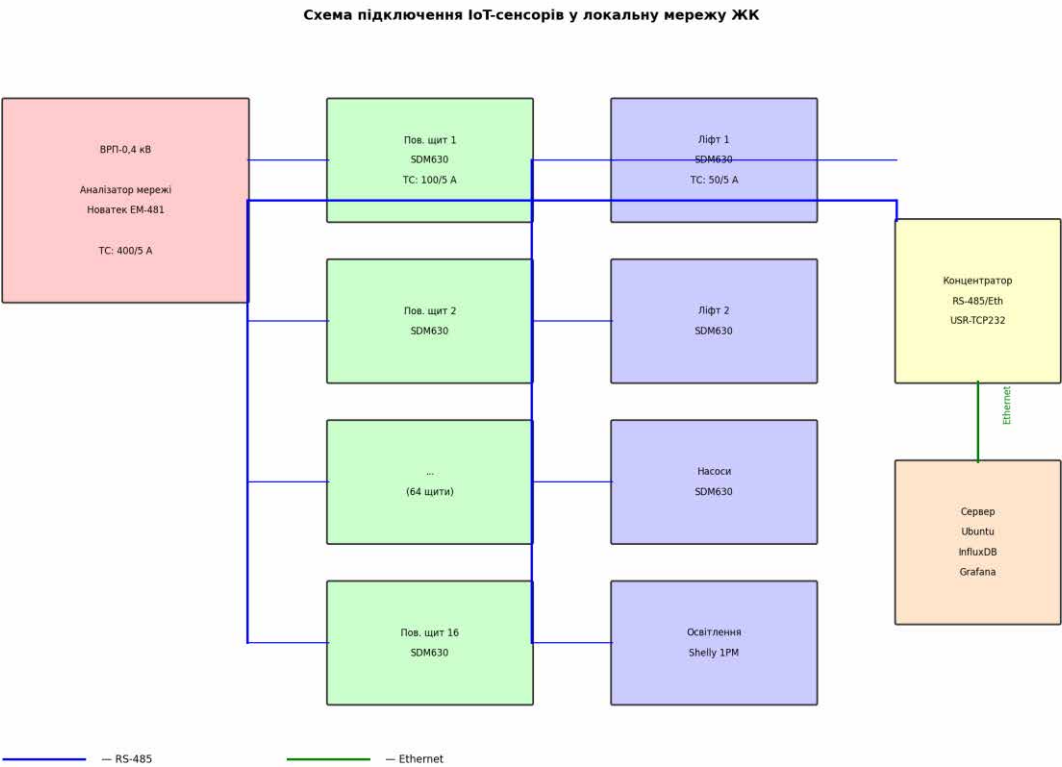


Рис. Б.1. Схема підключення IoT-сенсорів у локальну мережу

Додаток В. Графіки моніторингу

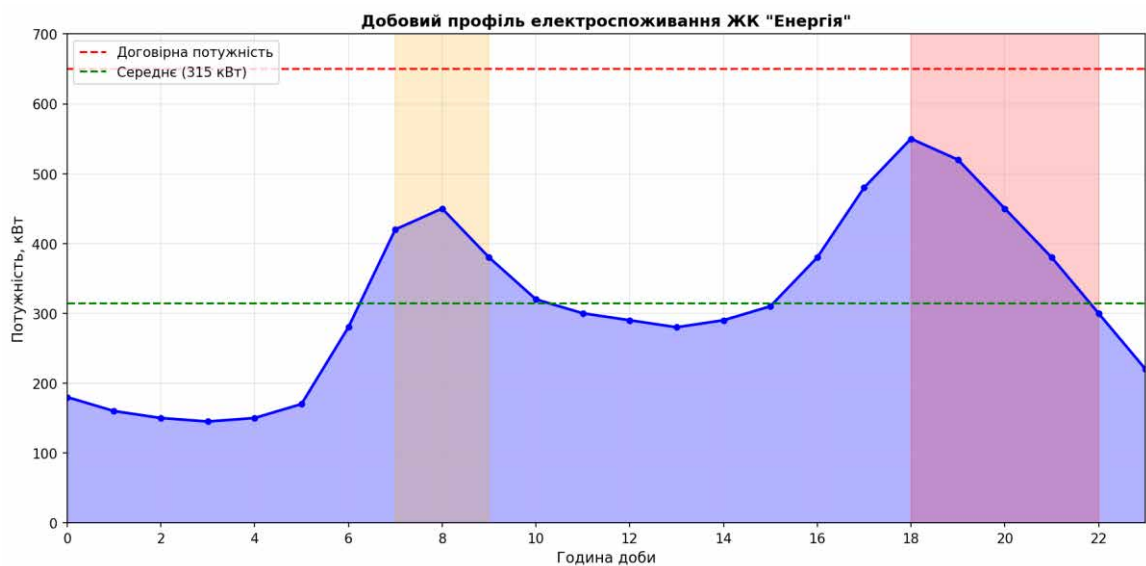


Рис. В.1. Добовий профіль електроспоживання

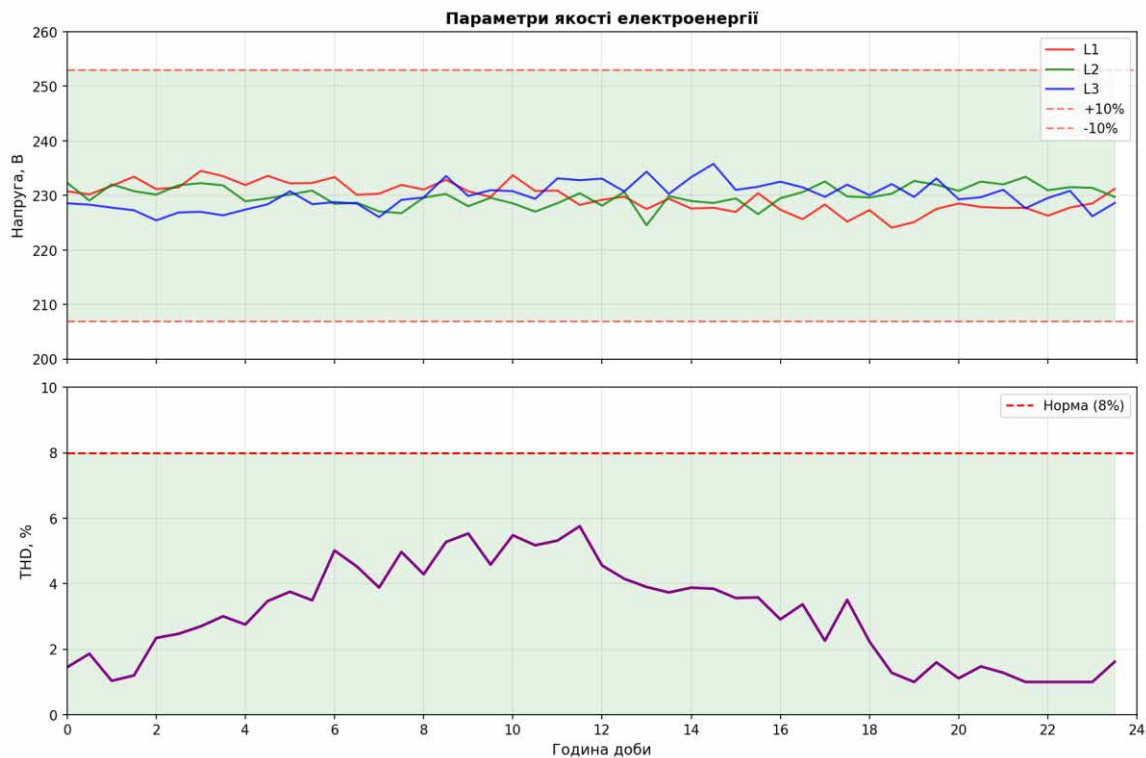


Рис. В.2. Параметри якості електроенергії