

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

ННІ ЕНЕРГЕТИКИ, АВТОМАТИКИ І ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ

УДК 681.536.5:631.445.5

ПОГОДЖЕНО

Директор ННІ енергетики,
автоматики і енергозбереження
(назва ННІ)

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

В.о. завідувача кафедри автоматики
та робототехнічних систем
ім. акад. І.І. Мартиненка
(назва кафедри)

_____ В.В. Каплун
(підпис) (ПІБ)

_____ О.О. Опришко
(підпис) (ПІБ)

«__» _____ 2025 р.

«__» _____ 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

02.06.-КМР.189"С".2025.02.18.001.ПЗ

на тему **«СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО МОНІТОРИНГУ ТА
УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ ЖИТЛОВОГО
КООПЕРАТИВУ»**

Спеціальність:

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
(шифр і назва)

Освітньо-наукова програма:

Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(назва)

Гарант освітньої програми _____
(підпис)

В.В. Іващук, д.т.н., доцент
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

Виконав _____
(підпис)

Є.О. Пономаренко
(П.І.Б студента)

Керівник магістерської роботи _____
(підпис)

С.М. Усенко, к.т.н., доцент
(П.І.Б, науковий ступінь та вчене звання)

КИЇВ-2025

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри
автоматики та робототехнічних
систем ім. акад. І.І. Мартиненка

О.О. Опришко

« ____ » _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ
(бакалаврської, дипломної)

Пономаренку Євгенію Олеговичу

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Спеціальність: 174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

Освітньо-наукова програма: Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Тема магістерської роботи **«СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО
МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯМ
ЖИТЛОВОГО КООПЕРАТИВУ»**,

затверджена наказом ректора НУБіП України від 18.02.2025 року №189«С»

Термін подання студентом магістерської роботи 15.05.2025 року

Вихідні дані до магістерської роботи: завдання кафедри на виконання магістерської роботи; нормативні документи по проектуванню об'єктів автоматизації; матеріали дослідження та аналізу; наукова література з тематики магістерської роботи.

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Загальна характеристика та перспективи розвитку децентралізованого електропостачання.
2. Структури та технічне забезпечення малих систем розподілу.
3. Дослідження режимів функціонування малої системи розподілу.
4. Розробка програмного середовища, для управління та енергообліку енергоострова.

Дата видачі завдання «27» вересня 2024 року

Керівник магістерської роботи _____

(Підпис)

Усенко С.М.

(Прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання _____

(Підпис)

Пономаренко Є.О.

(Прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	4
РОЗДІЛ 1. СТАН РОЗВИТКУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ	6
1.1. Теоретичні основи функціонування мікромереж	6
1.2. Світові тенденції розвитку мікромереж	7
1.3. Нормативно-правове регулювання мікромереж в Україні	8
1.4. Перспективи розвитку Microgrid в Україні	8
1.5. Виклики та проблеми впровадження мікромереж	12
РОЗДІЛ 2. СТРУКТУРА НА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МСР ТА УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ	15
2.1. Характеристика об'єкту дослідження	15
2.2. Однолінійна схема електропостачання та джерела генерації	16
2.3. Приватні сонячні електростанції та їх вплив на навантаження мережі	19
2.4. Теплові насоси та їх вплив на навантаження мережі	19
2.5. Статистичні дані енергоспоживання житлового кооперативу в характерні місяці року	20
РОЗДІЛ 3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЖИТЛОВОГО КООПЕРАТИВУ	29
3.1. Програмні продукти та апаратна платформа для розроблення середовища моніторингу та управління житлового кооперативу	29
3.2. Розробка енергоефективних рішень для мікромереж	32
3.3. Впровадження розробленої системи автоматизованого моніторингу та управління електроспоживанням в ЖК «Затишний»	36
РОЗДІЛ 4. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ. ОХОРОНА ПРАЦІ. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА	47
4.1. Економічна ефективність впровадження системи моніторингу	47
4.2. Екологічні показники	48
4.3. Заходи з охорони праці	49
ВИСНОВКИ	50
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	54

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасні виклики енергетичної безпеки та перехід до сталого розвитку енергетики вимагають впровадження нових підходів до електропостачання та управління енергоспоживанням. Європейський Союз активно розвиває концепцію децентралізованого енергозабезпечення, яка передбачає створення локальних мікромереж (Microgrid) з можливістю автономної роботи та інтелектуального управління [1]. Такі системи забезпечують підвищену надійність, ефективність та гнучкість енергопостачання для своїх споживачів.

Згідно з визначенням Міністерства енергетики США, мікромережа — це "група взаємопов'язаних навантажень і розподілених енергетичних ресурсів у межах чітко визначених електричних кордонів, яка діє як єдиний керований об'єкт по відношенню до мережі. Мікромережа може підключатися та відключатися від мережі, щоб дозволити їй працювати як у режимі підключення до мережі, так і в острівному режимі" [2]. Ключовою особливістю таких систем є можливість самостійного функціонування, а також забезпечення гнучкості енергопостачання за рахунок інтеграції різних джерел енергії.

Україна, в контексті євроінтеграційних процесів, оновила законодавчу базу енергетичного сектору, зокрема прийнявши новий Закон "Про ринок електричної енергії", який створив правові засади для впровадження сучасних форм енергозабезпечення, включаючи енергоострови та мікромережі [3]. Це відкриває нові можливості для розвитку децентралізованих систем електропостачання, які відповідають принципам Четвертого енергетичного пакету ЄС та забезпечують вищу надійність енергопостачання.

Практична реалізація таких законодавчих змін вимагає розробки та впровадження інноваційних технічних рішень, які забезпечують ефективний моніторинг та управління енергоспоживанням у локальних мережах. У цьому контексті особливої актуальності набуває дослідження успішних прикладів впровадження систем моніторингу та керування електроспоживанням

Microgrid в Україні, які можуть слугувати моделями для подальшого поширення таких технологій.

Метою кваліфікаційної магістерської роботи є аналіз практичного досвіду створення та функціонування системи моніторингу та керування електроспоживанням на базі житлового кооперативу як приклад імплементації європейських принципів децентралізованого енергозабезпечення.

Об'єктом дослідження є система автоматизованого моніторингу та управління електроспоживанням житлового кооперативу, що функціонує як енергоострів з інтеграцією різних джерел генерації.

Предметом дослідження є методи та засоби моніторингу, аналізу даних та управління електроспоживанням в умовах мікромережі, а також нормативно-правові аспекти функціонування таких систем.

Для реалізації поставленої мети вирішуються наступні завдання:

1. Провести аналіз стану розвитку сучасних мікромереж та енергетичних островів.
2. Розробити систему автоматизованого моніторингу та управління електроспоживанням житлового кооперативу.
3. Дослідити та проаналізувати існуючі джерела живлення та ефективність їх роботи в системі мікрогрід.
4. Обґрунтувати економічну ефективність та переваги використання системи для управляючої компанії та споживачів.

РОЗДІЛ 1

СТАН РОЗВИТКУ ДЕЦЕНТРАЛІЗОВАНОГО ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

1.1. Теоретичні основи функціонування мікромереж

Мікромережа (Microgrid) — це локальна електрична мережа з визначеними електричними межами, яка діє як єдиний керований об'єкт [4]. Вона здатна працювати в загальній мережі та поза мережею. Острівна мікромережа може переходити між цими двома режимами через планове технічне обслуговування, погіршення якості електроенергії, дефіцит у головній мережі, збої в локальній мережі або з економічних причин [5].

Принципова структура мікромережі включає:

1. Розподілені джерела генерації (дизель-генератори, сонячні панелі, вітрогенератори тощо)
2. Системи акумулювання електроенергії
3. Гнучкі навантаження (споживачі)
4. Інтелектуальну систему керування та захисту
5. Точку приєднання до основної мережі (Point of Common Coupling)

За типом, мікромережі можна класифікувати на:

- Мікромережі кампусу/інституту — зосереджені на об'єднанні існуючої локальної генерації для підтримки кількох навантажень у тісній географічній зоні
- Громадські мікромережі — можуть обслуговувати тисячі клієнтів і сприяти проникненню місцевої енергії (електроенергії, опалення та охолодження)
- Віддалені автономні мікромережі — працюють постійно в острівному режимі через економічні проблеми чи географічне положення
- Мікромережі військових баз — розгортаються з акцентом на фізичну та кібербезпеку військових об'єктів

- Комерційні та промислові мікромережі — впроваджуються для забезпечення надійності електропостачання виробничих процесів [6].

1.2. Світові тенденції розвитку мікромереж

Концепція мікромереж активно розвивається у світі як відповідь на необхідність підвищення надійності енергопостачання, інтеграції відновлюваних джерел енергії та оптимізації енергоспоживання [7]. За даними глобального дослідження, проведеного StartUs Insights, виявлено 215 інноваційних стартапів, що розробляють передові рішення для обліку та керування енергоспоживанням у Microgrid [8].

Провідними напрямками розвитку технологій у цій сфері є:

- Бездротові системи моніторингу енергії (Copper Labs) — забезпечують збір даних з лічильників енергії в режимі реального часу і доставку їх у мобільний додаток клієнта
- Розумні лічильники та рішення для моніторингу (ZenMeter) — надають автоматизовані системи управління споживанням енергії
- Інтернет енергії (IoE) для двостороннього зв'язку (Ubiik) — пропонують рішення для бездротової передачі даних між пристроями енергомережі
- Підвищення енергоефективності (KTS-INTEK) — забезпечують енергозберігаючі рішення для розподілених активів, включаючи розумні лічильники та системи моніторингу [8].

Ключовими перевагами мікромереж є:

1. Здатність забезпечувати надійне електропостачання в умовах відключення зовнішньої мережі
2. Можливість оптимізації використання різних джерел енергії, включаючи відновлювані
3. Зниження пікових навантажень та покращення якості електроенергії

4. Зменшення втрат при передачі електроенергії за рахунок близькості джерел до споживачів

5. Забезпечення гнучкості тарифів та можливості участі в ринках допоміжних послуг [9].

1.3. Нормативно-правове регулювання мікромереж в Україні

Із прийняттям нового Закону України "Про ринок електричної енергії" створено законодавче підґрунтя для розвитку мікромереж в Україні. Закон визначає правові засади функціонування енергоостровів, регулює питання взаємодії суб'єктів ринку електричної енергії в умовах децентралізованого енергозабезпечення, встановлює принципи формування тарифів та обліку електроенергії [3].

Важливим аспектом нормативно-правового регулювання є впровадження понять "prosumer" (споживач-виробник) та визначення правил функціонування мікромереж, що відповідає європейським принципам розвитку енергетичного сектору, зокрема Четвертому енергетичному пакету ЄС [10].

Законодавство України в галузі енергетики поступово адаптується до вимог ЄС, що забезпечує гармонізацію нормативно-правової бази для функціонування мікромереж. Це включає:

- Закон України "Про альтернативні джерела енергії"
- Закон України "Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу"
- Нормативні акти щодо приєднання електроустановок до електричних мереж
- Технічні регламенти та стандарти якості електричної енергії [11].

1.4. Перспективи розвитку Microgrid в Україні

Основними напрямками технологічного розвитку мікромереж в Україні є:

- Інтеграція систем накопичення енергії більшої ємності

- Впровадження алгоритмів прогнозування генерації та споживання з використанням штучного інтелекту
- Розробка механізмів автоматизованого балансування мікромережі
- Розширення функціональності систем моніторингу та керування

Для підвищення ефективності та стабільності роботи мікромережі житлового кооперативу планується впровадження наступних технологічних рішень:

1. Встановлення централізованої системи накопичення енергії потужністю 500 кВт•год для балансування генерації та споживання, особливо в пікові періоди.
2. Впровадження системи прогнозування генерації на основі метеорологічних даних та історичних патернів споживання для оптимізації використання джерел енергії.
3. Розширення можливостей управління попитом через впровадження розумних побутових приладів та їх інтеграцію в систему управління енергоспоживанням.
4. Інтеграція додаткових відновлюваних джерел енергії, включаючи малі вітрогенератори для диверсифікації джерел генерації та підвищення стійкості мікромережі.
5. Впровадження технології Vehicle-to-Grid (V2G) для використання електромобілів як додаткового джерела накопичення та постачання електроенергії в пікові періоди.

Нормативно-правові перспективи.

Для подальшого розвитку Microgrid в Україні необхідне вдосконалення нормативно-правової бази:

- Деталізація правил функціонування енергоостровів
- Врегулювання питань власності та управління спільною інфраструктурою мікромереж
- Створення механізмів стимулювання розвитку мікромереж
- Гармонізація українського законодавства з європейськими директивами в сфері децентралізованого енергозабезпечення

Ключовими нормативно-правовими змінами, необхідними для стимулювання розвитку мікромереж в Україні, є:

1. Розробка спеціалізованих тарифів для мікромереж, які б враховували особливості їх функціонування та заохочували ефективне використання локальних джерел генерації.
2. Спрощення процедур підключення до загальної мережі та отримання дозволів на будівництво та експлуатацію об'єктів розподіленої генерації.
3. Впровадження нормативно-правової бази для P2P-торгівлі електроенергією між споживачами в межах мікромережі.
4. Розробка стандартів якості електроенергії та безпеки для мікромереж, які б враховували європейські норми та вимоги.
5. Створення механізмів державної підтримки для стимулювання впровадження інноваційних технологій в мікромережах.

Економічні моделі функціонування Microgrid

Перспективними економічними моделями функціонування мікромереж є:

- Енергетичні кооперативи з спільним володінням інфраструктурою
- Впровадження локальних енергетичних ринків з можливістю торгівлі надлишками електроенергії між споживачами
- Розвиток моделі просьюмерів (prosumer) з можливістю як споживання, так і генерації електроенергії
- Інтеграція з загальнонаціональним ринком електроенергії

Для житлового кооперативу "Затишний" найбільш перспективною є модель енергетичного кооперативу з елементами локального енергетичного ринку. Ця модель передбачає:

1. Спільне володіння та управління інфраструктурою мікромережі всіма членами кооперативу.
2. Впровадження механізму внутрішніх розрахунків за електроенергію між споживачами та виробниками в межах кооперативу.
3. Створення системи стимулів для збалансування генерації та споживання в різні періоди доби.

4. Формування резервного фонду для розвитку та модернізації інфраструктури мікромережі.
5. Участь на ринку допоміжних послуг для загальної енергосистеми, що дозволить отримувати додатковий дохід.

1.5. Виклики та проблеми впровадження мікромереж

Мікромережі та інтеграція блоків розподілених енергетичних ресурсів (DER) створюють низку операційних проблем, які необхідно вирішити при проектуванні систем керування та захисту:

1. Двонаправлені потоки електроенергії

Наявність блоків розподіленої генерації у мережі на низьких рівнях напруги спричиняє зворотні потоки потужності, що може призвести до:

- Ускладнень у координації захисту
- Небажаних моделей потоків потужності
- Проблем з розподілом струму при пошкодженнях
- Ускладнень у керуванні напругою

У системі моніторингу житлового кооперативу "Затишний" ця проблема вирішується шляхом постійного моніторингу потоків потужності та автоматичного коригування параметрів захисту. Система здатна виявляти зворотні потоки по окремих фазах та коригувати роботу захисних пристроїв.

2. Питання стабільності

Взаємодія між системами керування блоками розподіленої генерації може створювати локальні коливання. Крім того, перехідні процеси між режимом підключення до загальної мережі та автономним режимом роботи можуть створювати перехідну нестабільність.

Для вирішення цих питань в системі використовуються алгоритми прогнозування та плавного перемикання режимів роботи, що мінімізує перехідні процеси.

3. Моделювання

Багато характеристик традиційних схем не справедливі для мікромереж, що вимагає перегляду традиційних моделей. У житловому кооперативі використовуються адаптивні моделі для прогнозування режимів роботи мікромережі з урахуванням статистичних даних про споживання та генерацію.

4. Низька інерція

Мікромережі демонструють характеристику низької інерції, що відрізняє їх від масових енергетичних систем, де велика кількість синхронних генераторів забезпечує відносно велику інерцію. У системі житлового кооперативу ця проблема вирішується за рахунок використання дизель-генератора з синхронним генератором, що забезпечує необхідну інерцію системи.

5. Невизначеність

Робота мікромереж передбачає вирішення значної невизначеності, на якій ґрунтується економічна та надійна робота. У житловому кооперативі для вирішення цієї проблеми впроваджуються алгоритми прогнозування споживання та генерації на основі історичних даних, метеорологічних прогнозів та статистичних моделей.

Окрім технічних аспектів, впровадження мікромереж стикається з рядом економічних та соціальних викликів:

1. Високі початкові інвестиції

Впровадження мікромережі вимагає значних капітальних вкладень. Для житлового кооперативу "Затишний" початкові інвестиції склали понад 1,5 млн грн. Вирішення цієї проблеми було реалізовано через поетапне впровадження компонентів системи.

2. Відсутність стандартизованих бізнес-моделей

Для успішного впровадження мікромереж необхідні нові бізнес-моделі. У житловому кооперативі "Затишний" використовується модель енергетичного кооперативу, де всі учасники є співвласниками інфраструктури та спільно приймають рішення.

3. Регуляторні бар'єри

Існуючі регуляторні рамки часто не передбачають функціонування мікромереж. В Україні все ще існують регуляторні прогалини, і для житлового кооперативу ця проблема вирішувалася шляхом активної взаємодії з регулятором та оператором системи розподілу.

4. Соціальне сприйняття та поведінка споживачів

Успіх мікромережі залежить від активної участі споживачів. У житловому кооперативі ця проблема вирішується шляхом проведення інформаційних кампаній, надання доступу до даних про споживання через мобільний додаток, та впровадження економічних стимулів.

Для успішного впровадження мікромереж необхідно застосовувати комплексний підхід, що включає технічні, економічні та соціальні аспекти:

1. Розробка стандартів та технічних вимог

Створення єдиних стандартів та технічних вимог до компонентів мікромереж забезпечить сумісність обладнання різних виробників та спростить проектування та впровадження таких систем.

2. Вдосконалення нормативно-правової бази

Необхідно вдосконалити нормативно-правову базу, яка б чітко визначала правила функціонування мікромереж, механізми ціноутворення, права та обов'язки учасників.

3. Розробка інноваційних фінансових механізмів

Для подолання бар'єру високих початкових інвестицій необхідно розробити інноваційні фінансові механізми, такі як енергетичні кооперативи, краудфандинг, зелені облігації.

4. Підвищення обізнаності та залучення споживачів

Для забезпечення активної участі споживачів необхідно підвищувати їх обізнаність щодо переваг мікромереж, надавати доступну інформацію про споживання та генерацію, та впроваджувати механізми стимулювання ефективного використання енергії.

РОЗДІЛ 2

СТРУКТУРА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МСР ТА УПРАВЛІННЯ ПОПИТОМ.

2.1. Характеристика об'єкту дослідження

Об'єктом дослідження є система моніторингу та керування електроспоживанням житлового кооперативу "Затишний", який функціонує як енергоострів з можливістю автономної роботи. Система включає близько 300 точок обліку електроенергії, власні джерела генерації (дизель-генератор), приватні сонячні електростанції споживачів та системи накопичення електроенергії. Житловий кооператив розташований за межами міста, що обумовлює потребу в підвищеній надійності електропостачання та збільшує актуальність впровадження концепції мікромережі. Генеральний план кооперативу представлений на рисунку 2.1.



Рис. 2.1. Генеральний план кооперативу «Затишний»

Житловий кооператив "Затишний" представляє собою планову забудову з 300 приватних будинків, об'єднаних спільною інфраструктурою, включаючи електричні мережі. Загальна площа кооперативу становить близько 50 га, а сумарна встановлена потужність приєднаних електроприймачів — понад 3 МВт.

2.2. Однолінійна схема електропостачання та джерела генерації

Електропостачання житлового кооперативу забезпечується за допомогою комбінованої схеми, що включає:

- Основне підключення до оператора системи розподілу (ОСР) з виділеною потужністю 3,5 МВА
- Резервне живлення від дизель-генератора FOGO FDT 820 S потужністю 820 кВА / 656 кВт (номінальний режим)
- Розподілені сонячні електростанції споживачів із сумарною встановленою потужністю близько 500 кВт
- Індивідуальні системи накопичення електроенергії у окремих споживачів

Однолінійна схема електропостачання кооперативу «Затишний» представлена на рис. 2.2.

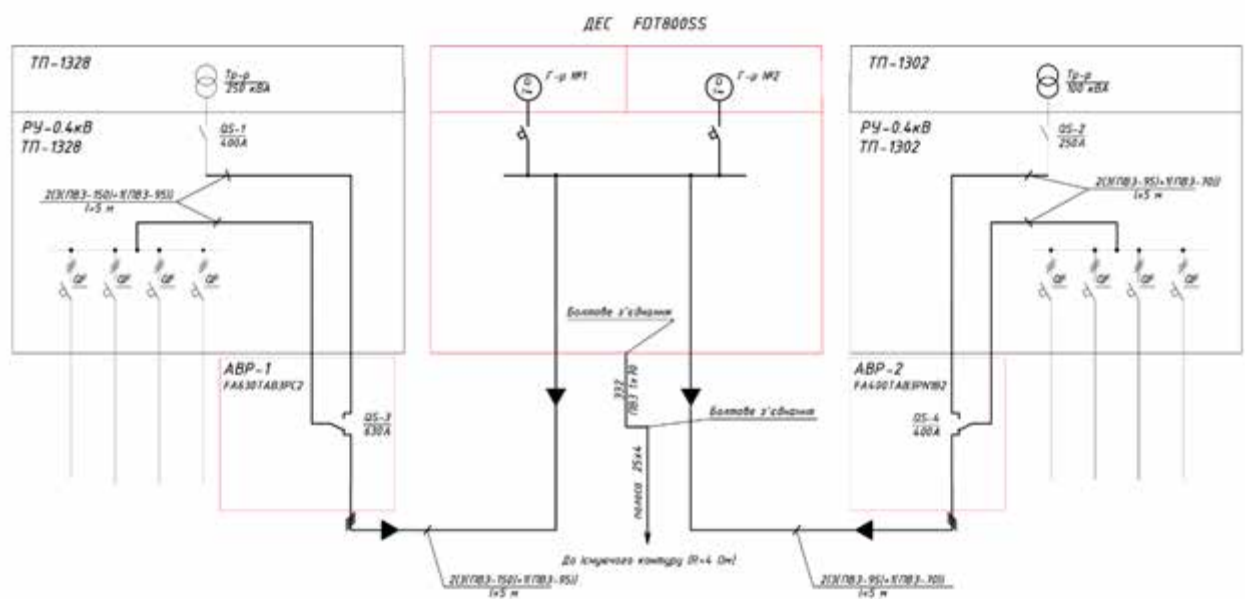


Рис.2.2. Однолінійна схема електропостачання кооперативу «Затишний»

Дизель-генератор є ключовим елементом забезпечення автономної роботи мікромережі. Для забезпечення безперебійного живлення в кооперативі затишний встановлено генератор фірми FOGO у виконання twin. Тобто в одному корпусі розміщується два генератора потужністю 400 кВА. Зовнішній вигляд встановленого генератора представлено на рис. 2.3.



Рис. 2.3. Зовнішній вигляд генератора встановленого в кооперативі затишний.

Технічні характеристики:

- Виробник: Scania
- Модель двигуна: 2x DC13 072A 02-12
- Основна потужність Prime: 355 кВт x 2
- Частота обертання: 1500 об/хв
- Тип охолодження: рідинне
- Тип палива: дизельне
- Витрата палива при 100% навантаженні: 157,5 л/год
- Вихідна напруга: 400/230 В
- Частота вихідної напруги: 50 Гц [12].

Така структура дозволяє забезпечити надійне електропостачання об'єкту навіть в умовах аварійних ситуацій в зовнішній мережі, а також оптимізувати використання генерованої електроенергії з різних джерел, які мають різну собівартість. Перемикання між режимами роботи здійснюється за допомогою автоматичного ввідного реле (АВР), яке контролює стан основного вводу та автоматично вмикає резервне живлення при потребі. Зовнішній вигляд АВР представлено на рис. 2.4.



Рис. 2.4. Зовнішній вигляд АВР

2.3. Приватні сонячні електростанції та їх вплив на навантаження мережі

Важливим компонентом мікромережі є приватні сонячні електростанції споживачів. Аналіз даних моніторингу показує, що в певні періоди (переважно вдень при високій інсоляції) спостерігається від'ємний баланс споживання, коли локальна генерація від СЕС перевищує споживання, що призводить до зворотних потоків енергії [13].

За результатами аналізу даних моніторингу встановлено, що в період з 09:00 до 16:00 у ясні дні спостерігаються від'ємні значення активної потужності по окремих фазах на ввідному АВР трансформаторної підстанції ТП-1157. Наприклад, по фазі 2 зафіксовані зворотні потоки потужності до -15 кВт

Це створює як технічні виклики (необхідність контролю напруги та потужності), так і економічні можливості (зниження вартості електроенергії для споживачів кооперативу). Дані системи моніторингу дозволяють виявляти та аналізувати такі ситуації, що є критично важливим для ефективного управління мікромережею.

Для коректного обліку електроенергії при наявності зворотних потоків енергії обліковий лічильник на межі балансової належності з ОСР повинен мати можливість диференційованого обліку відпуску та споживання електроенергії. В іншому випадку, якщо лічильник обліковує електроенергію по модулю, це може призводити до завищених показників споживання електроенергії та, відповідно, до збільшення витрат на електроенергію кооперативу.

2.4. Теплові насоси та їх вплив на навантаження мережі

Окрім сонячних електростанцій, у житловому кооперативі активно використовуються теплові насоси для опалення та кондиціонування приміщень.

Зовнішній вигляд котельні з встановленими тепловими насосами представлений на рис. 2.5. Аналіз даних моніторингу показує, що в зимовий

період споживання електроенергії тепловими насосами складає значну частку від загального споживання.

Графік річних даних балансу електроенергії демонструє чітку кореляцію між середньодобовою температурою повітря та добовим споживанням електроенергії. При зниженні температури повітря нижче 0°C спостерігається збільшення споживання електроенергії на 30-40% порівняно із середньорічними показниками.

Такі коливання споживання створюють додаткові виклики для балансування мікромережі та потребують урахування при плануванні резервних потужностей та стратегій управління попитом.



Рис.2.5 Зовнішній вигляд котельні з встановленими тепловими насосами

2.5. Статистичні дані енергоспоживання житлового кооперативу в характерні місяці року

Аналіз статистичних даних енергоспоживання житлового кооперативу "Затишний" за річний період демонструє значні сезонні коливання, пов'язані зі

зміною кліматичних умов, режимів використання електроприладів та тривалістю світлового дня. Розглянемо характерні показники споживання в різні місяці року.

Таблиця 2.1.

Середньомісячне споживання електроенергії житлового кооперативу

Місяць	Загальне споживання, МВт·год	Споживання від ОСР, МВт·год	Споживання від дизель-генератора, МВт·год	Генерація від СЕС, МВт·год	Середня те-ра, °С	Середнє навання, кВт
Січень	485,7	452,3	38,2	4,8	-2,5	653
Лютий	463,2	430,5	42,1	9,4	-1,8	689
Березень	410,8	378,6	21,5	10,7	3,2	552
Квітень	372,5	321,4	15,8	35,3	9,8	517
Травень	345,1	280,7	12,3	51,7	16,5	464
Червень	308,2	241,5	8,7	58,4	19,8	428
Липень	320,4	255,3	10,5	65,2	22,3	431
Серпень	338,9	265,7	11,2	61,8	21,5	455
Вересень	312,6	258,2	9,8	45,6	16,2	434
Жовтень	367,3	322,5	18,7	26,1	9,5	494
Листопад	412,7	382,4	24,3	6,0	3,7	573
Грудень	472,9	445,2	34,8	7,1	-0,8	635

Аналіз даних таблиці дозволяє виділити три характерних періоди:

1. Зимовий період (грудень-лютий):

- Найвище загальне споживання (460-485 МВт·год на місяць)
- Максимальне середнє навантаження (635-690 кВт)
- Мінімальна генерація від СЕС (4,8-9,4 МВт·год)
- Найбільше споживання від дизель-генератора через часті відключення електроенергії (35-42 МВт·год)
- Кореляція з низькими температурами повітря (-2,5 до -0,8°С)

2. *Літній період (червень-серпень):*

- Найнижче загальне споживання (308-339 МВт·год на місяць)
- Мінімальне середнє навантаження (428-455 кВт)
- Максимальна генерація від СЕС (58,4-65,2 МВт·год)
- Найменше споживання від дизель-генератора (8,7-11,2 МВт·год)
- Кореляція з високими температурами повітря (19,8-22,3°C)

3. *Перехідні періоди (березень-травень, вересень-листопад):*

- Середні показники споживання та навантаження
- Поступова зміна частки генерації від СЕС
- Кореляція з середніми температурами повітря (3,2-16,5°C)

Виявлено чітку кореляцію між температурою повітря та споживанням електроенергії: при зниженні температури на 1°C споживання зростає в середньому на 12,5 МВт·год на місяць. Це пов'язано з використанням електроопалення (переважно теплових насосів) у холодний період року.

Для більш детального аналізу енергоспоживання розглянемо типові добові графіки навантаження для характерних місяців року.

Таблиця 2.2.

Середньодобові графіки навантаження у характерні місяці року, кВт

Година	Січень	Квітень	Липень	Жовтень
00:00	512	365	332	384
01:00	485	342	318	362
02:00	476	332	310	351
03:00	468	325	302	345
04:00	473	330	298	348
05:00	498	350	305	362
06:00	532	397	328	392
07:00	623	445	348	452
08:00	685	467	362	478

Година	Січень	Квітень	Липень	Жовтень
09:00	675	472	375	465
10:00	652	482	392	438
11:00	635	495	405	422
12:00	625	512	428	435
13:00	618	518	442	442
14:00	622	522	455	458
15:00	635	528	462	470
16:00	655	545	468	487
17:00	695	565	478	518
18:00	752	592	495	562
19:00	798	612	512	598
20:00	825	625	525	615
21:00	782	595	508	585
22:00	685	522	465	512
23:00	562	432	382	425

Аналіз даних таблиці дозволяє виявити характерні особливості добових графіків навантаження:

1. Зимовий період (січень):

- Високе базове навантаження (близько 500 кВт у нічні години)
- Два виражені піки споживання: ранковий (8:00) та вечірній (20:00)
- Максимальне навантаження досягає 825 кВт
- Відношення максимального навантаження до мінімального: 1,76

2. Літний період (липень):

- Низьке базове навантаження (близько 300 кВт у нічні години)
- Більш рівномірний графік з одним вираженим піком у вечірні години (20:00)

- Максимальне навантаження досягає 525 кВт
- Відношення максимального навантаження до мінімального: 1,76

3. *Перехідні періоди (квітень, жовтень):*

- Проміжні значення базового навантаження
- Графік, подібний до зимового, але з меншими абсолютними значеннями
- Максимальне навантаження у квітні: 625 кВт, у жовтні: 615 кВт

Важливо відзначити, що у літній період (липень) спостерігається суттєвий вплив генерації сонячних електростанцій на загальний графік навантаження. В години максимальної сонячної активності (10:00-16:00) відбувається часткова компенсація споживання за рахунок локальної генерації, що призводить до зниження навантаження на загальну мережу. Графіки навантаження в характерні місяці року представлено на рис. 2.6.

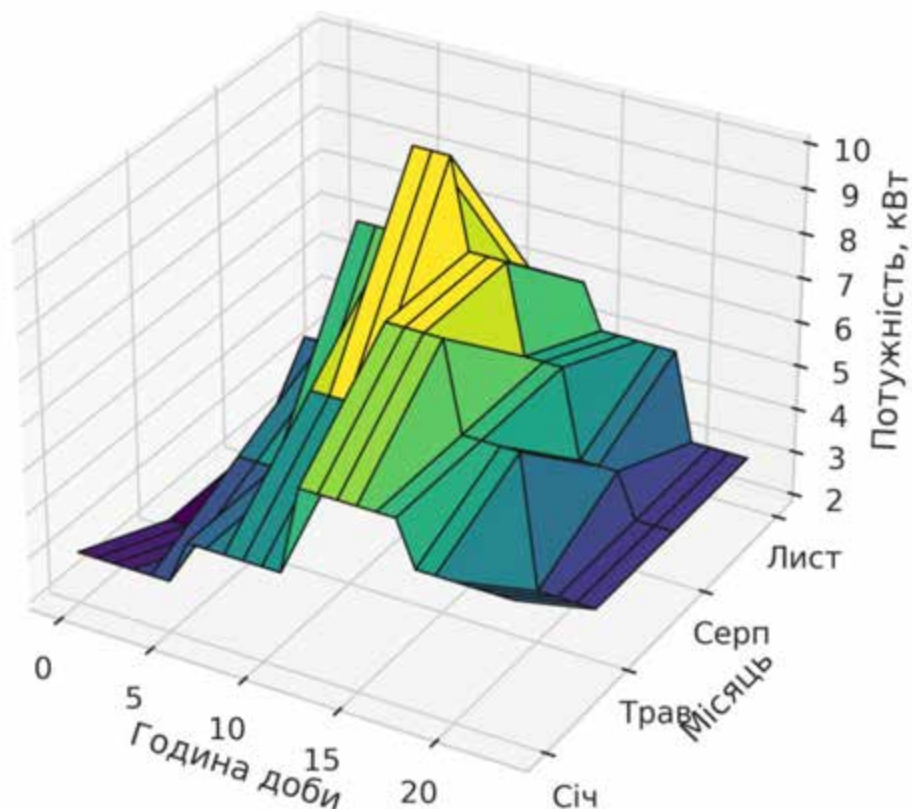


Рис.2.6. Графіки навантаження в характерні місяці року.

Важливим аспектом функціонування мікромережі є структура джерел електроенергії. Аналіз частки різних джерел в загальному балансі електроенергії житлового кооперативу демонструє значну сезонну варіацію

Таблиця 2.3.

Частка різних джерел у загальному балансі електроенергії, %

Місяць	Оператор розподілу	Дизель-генератор системи	Сонячні електростанції
Січень	89,8	9,2	1,0
Лютий	89,3	8,5	2,2
Березень	92,2	5,2	2,6
Квітень	86,3	4,2	9,5
Травень	81,3	3,6	15,1
Червень	78,4	2,8	18,8
Липень	79,7	3,3	17,0
Серпень	78,4	3,3	18,3
Вересень	82,6	3,1	14,3
Жовтень	87,8	5,1	7,1
Листопад	92,6	5,9	1,5
Грудень	90,8	7,7	1,5
Середньорічна	85,6	5,2	9,2

1. Оператор системи розподілу забезпечує основну частку електроенергії протягом усього року (від 78,4% до 92,6%), з мінімумом у літні місяці та максимумом у зимові та перехідні періоди.
2. Дизель-генератор використовується переважно у зимовий період (7,7-9,2% від загального споживання) через часті відключення електроенергії, а його частка мінімальна влітку (2,8-3,3%).

Тобто важливим аспектом роботи мікромережі є забезпечення безперебійного живлення споживачів, але якщо проаналізувати загальне річне споживання електричної енергії від різних джерел (рис. 2.8.) з врахуванням різниці вартості (рис.2.9) то можемо також зробити висновок, що оптимізація роботи такої системи дозволить суттєво заощадити, як керівній компанії, так і споживачам.

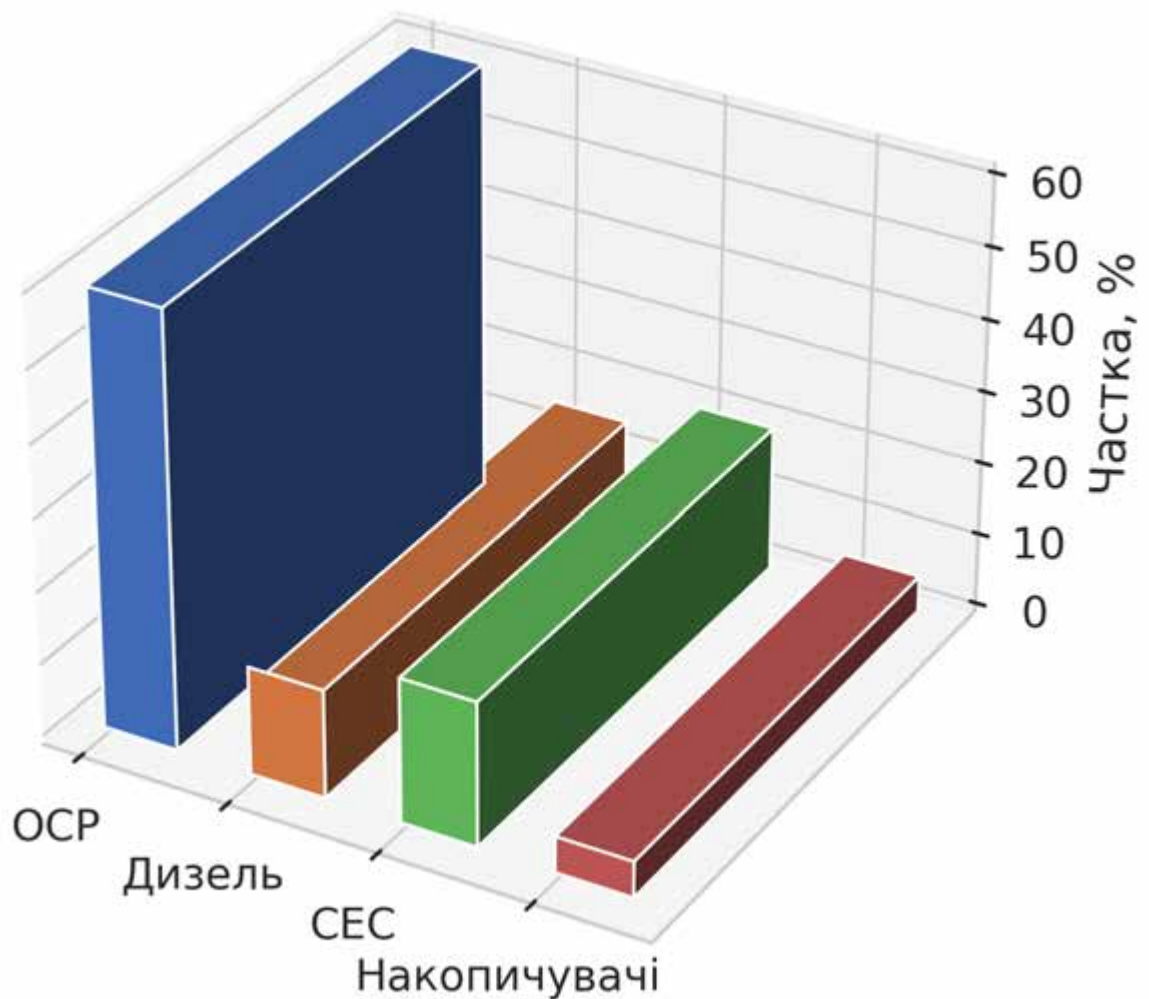


Рис. 2.8. Частка різних джерел у загальному балансі електроенергії

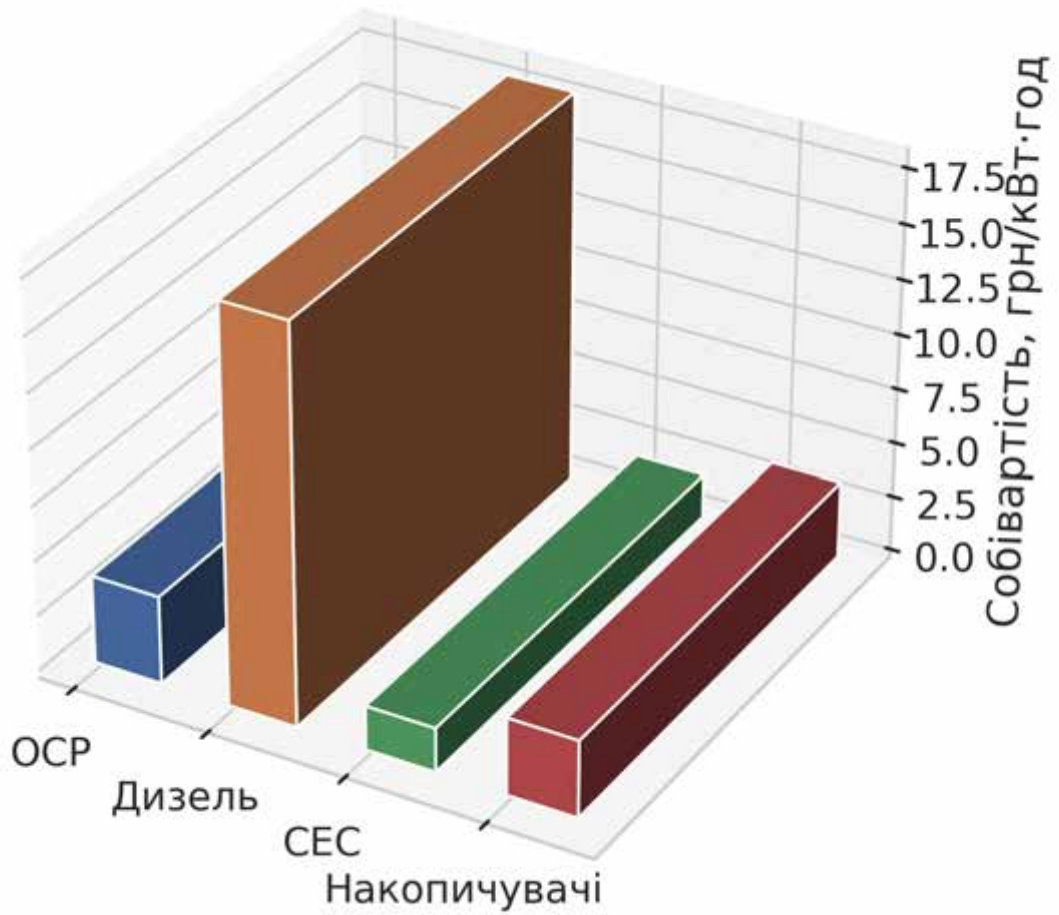


Рис. 2.9. Порівняння собівартості електроенергії з різних джерел

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО СЕРЕДОВИЩА ДЛЯ МОНІТОРИНГУ ТА УПРАВЛІННЯ ЕЛЕКТРОСПОЖИВАННЯ ЖИТЛОВОГО КООПЕРАТИВУ.

3.1. Програмні продукти та апаратна платформа для розроблення середовища моніторингу та управління житлового кооперативу.

В основу роботи системи покладено використання програмного забезпечення «UCON», яке дозволяє контролювати стан лічильників електроенергії, які зчитуються за допомогою шлюзу Zigbee/Ethernet/GSM/GPRS/3G, та отримувати дані з лічильників електроенергії в режимі реального часу, а також переглядати накопичені дані лічильників із глибиною зберігання даних до 5 років.

Список лічильників в одній локальній радіомережі на один шлюз та їх стани представлено на рис. 3.1.

Model	Serial Number	ID	Name	Password	On/Off	Energy	Tariff	Coordinate	Meter Version	Powering
CE303	00927309108529	5329	ул. Восточная 1, д. 12, Третья Т.Б.		-	A+	2	50.356829;30.810091	301v12(37)	
M7X	1206292	8292	ул. Восточная 2, д. 10, Волков О.А.		-	A+	2	50.356896;30.810016	M7X1a 1-01.03.21	
M7X	1158365	8365	ул. Восточная 2, д. 20, Карачин Н.А.		-	A+	2	50.357402;30.810065	M7X1a 1-01.03.17	
CE303	00927309108537	5337	ул. Восточная 3, д. 7, Тарасов А.П.		-	A+	2	50.356794;30.810149	301v12(37)	
M7X	1158331	8331	ул. Восточная, д. 11, Бродов Е.М.		-	A+	2	50.357766;30.812432	M7X1a 1-01.03.17	
M7X	1158680	8680	ул. Восточная, д. 21, Топошилов В.В.		-	A+	2	50.356406;30.810407	M7X1a 1-01.03.17	
CE303	00927309108593	5393	ул. Восточная, д. 47, Курганов В.А.		-	A+	2	50.356896;30.811297	301v12(37)	
CE303	00712110200012	812	Заводка, д. 1, Бондаров С.В.		-	A+	2	50.356006;30.823491	301v12(37)	
M7X	1158521	8521	ул. Луговая 10, д. 29, Родик Н.П.		-	A+	2	50.354506;30.816822	M7X1a 1-01.03.17	
M7X	1158441	8441	ул. Луговая 10, д. 10, Гребенников В.В.		-	A+	2	50.354277;30.816209	M7X1a 1-01.03.17	
M7X	1158554	8554	ул. Луговая 10, д. 12, Кобзарь П.Т.		-	A+	2	50.354410;30.816419	M7X1a 1-01.03.17	
M7X	1158677	8677	ул. Луговая 10, д. 21, Пелева А.В.		-	A+	2	50.353902;30.816629	M7X1a 1-01.03.17	
CE303	00927309127327	7327	ул. Луговая 13, д. 8, Заварухин М.В.		-	A+	2	50.351710;30.815129	301v12(37)	
M7X	1158385	8385	ул. Луговая 2, д. 4, Субботин А.Н.		-	A+	2	50.355447;30.808857	M7X1a 1-01.03.17	
M7X	1206232	8232	ул. Луговая 3, д. 12, Смирнов В.В.		-	A+	2	50.355544;30.810274	M7X1a 1-01.03.21	
M7X	1231812	7472	ул. Луговая 4, д. 14, Цыган Ю.А.		-	A+	2	50.355292;30.811829	M7X1a 108.21.018	
M7X	1158545	8545	ул. Луговая 5, д. 13, Кузнецов Н.В.		-	A+	2	50.355067;30.811402	M7X1a 1-01.03.17	

Рис. 3.1. Вибірка лічильників у програмному забезпеченні Ucon.

У програмному середовищі можна обрати параметри, які необхідно вичитувати з лічильника, наприклад: поточні показання, на кінець доби, на

кінець місяця, напруга, струми, профіль, журнали подій, глибину вибірки даних, тощо.

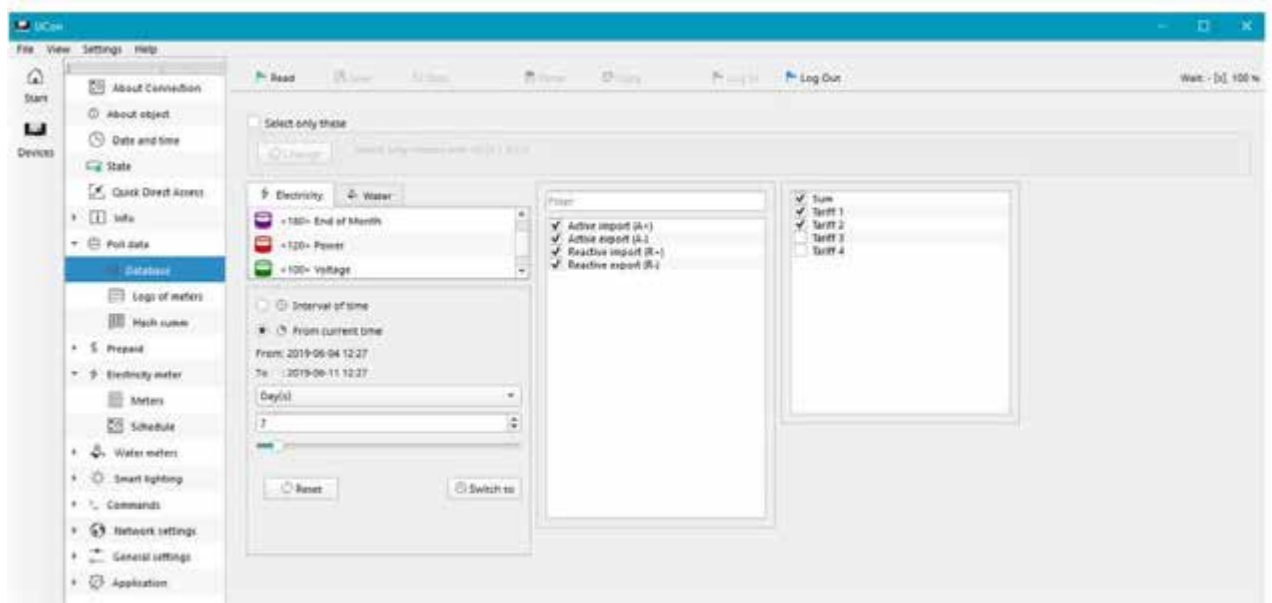


Рис. 3.2. Меню вибору параметрів, що необхідно фіксувати у програмному забезпеченні Uson.

Наприклад обравши профіль навантаження з 30-хвилинних інтервалів споживання можна побачити поведінку абонента, або групи абонентів, та прийняти рішення щодо забезпечення генерацією у потрібній кількості.

Накладення графіків вхідного лічильника та суми всіх погодинних графіків абонентів, покаже небаланс (рис.3.3).

Графічне відображення (рис. 3.4 та рис 3.5), зручне для обслуговування та формування балансових груп. Можливе встановлення даного ПЗ на Android та інші пристрої, що дає можливість контролювати та керувати системою зі смартфона та планшета. Можливе вивантаження показань у форматі .pdf, .xml та інших.

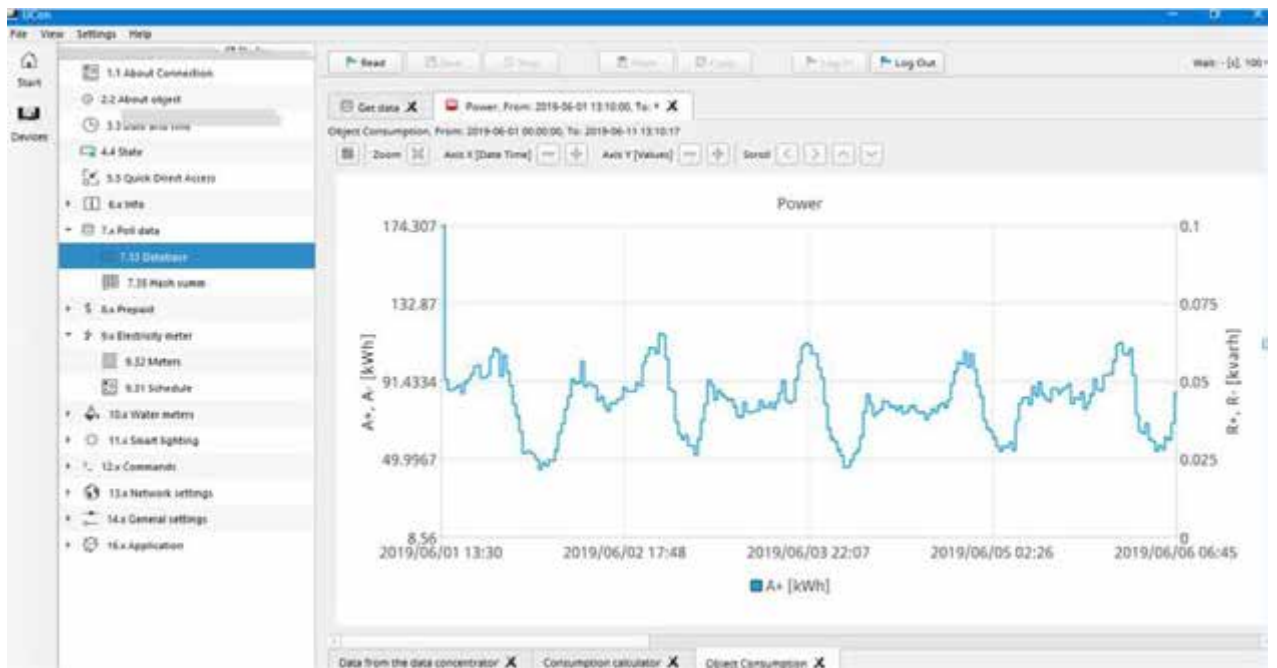


Рис.3.3. Накладення графіків вхідного лічильника та суми всіх погодинних графіків абонентів у програмному середовищі Uson.

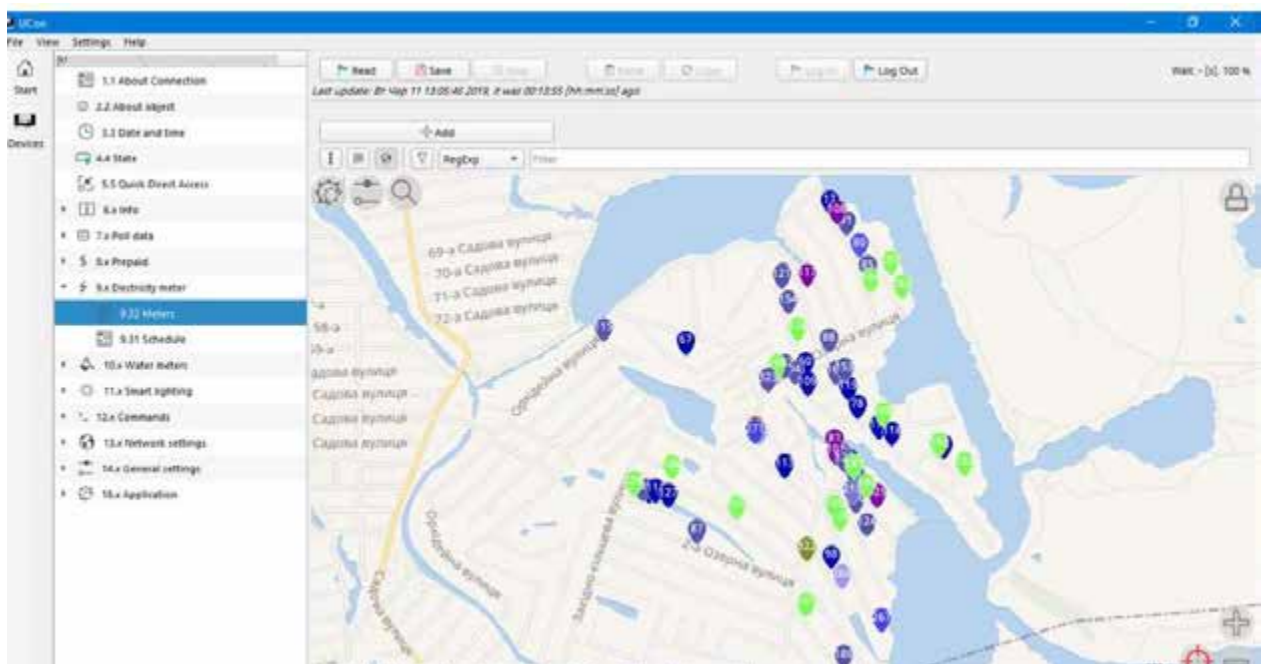


Рис. 3.4. Карта місцевості з відображенням споживачів

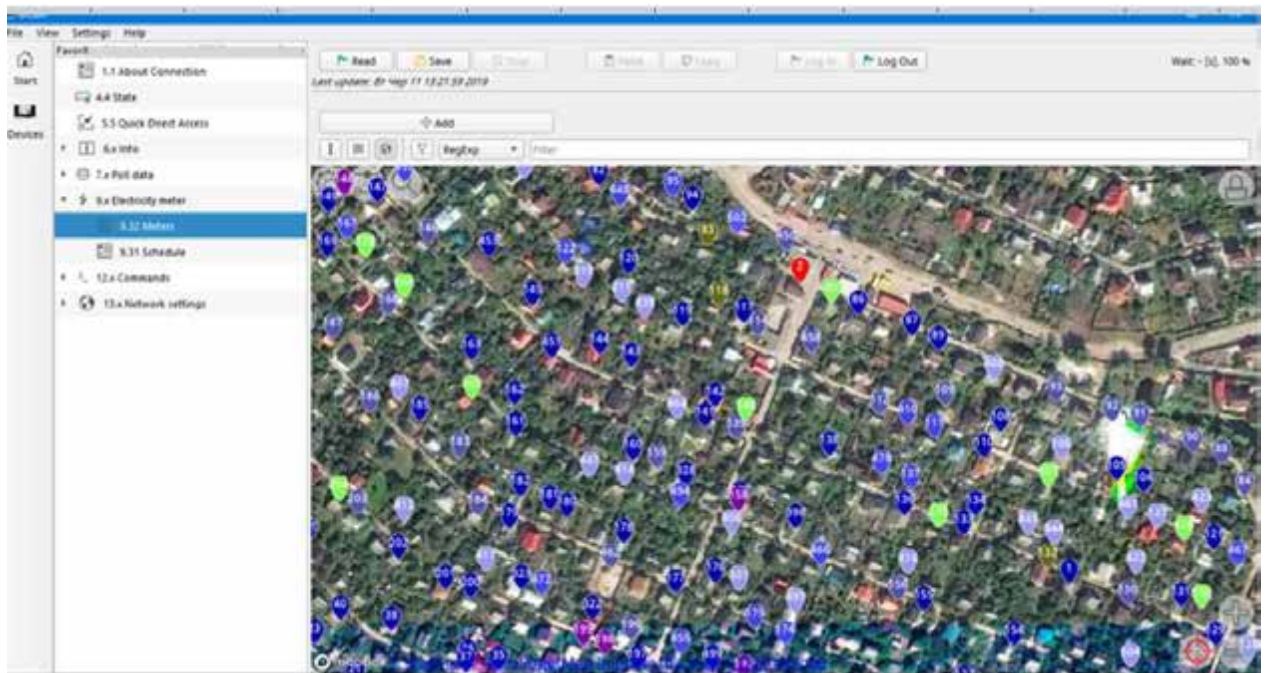


Рис. 3.5. Карта місцевості з відображенням споживачів

3.2. Розробка енергоефективних рішень для мікромереж.

У співпраці з KTS-INTEK було розроблено декілька енергоефективних рішень, які можуть бути застосовані в різних мікромережах.

Запропоновано капіталізацію міських мереж освітлення і стратегію модернізації під нові вимоги децентралізованої моделі енергетики України. Традиційна централізована модель генерації трансформується в децентралізовану модель де джерела генерації в безпосередній близькості до споживача. Адміністрування нової моделі вимагає адміністрування якості «зеленої» енергії. Мікромережі, один з інструментів балансування розподільчої енергомережі. Мережа вуличного освітлення, один з них. Пропонується поетапна модернізація мережі вуличного освітлення, яка виконує не лише соціальну функцію і додає більше енергозбереження, а й є джерелом доходу для муніципалітету міста через впровадження додаткових сервісів які потрібні новому ринку електроенергії та його учасникам.



Рис. 3.6. Концепція впровадження системи мікромереж вуличного освітлення.

Система керування вуличним освітленням передбачає:

- Заміна ліхтарів на LED з контролером керування яскравістю. Енергозберігання до 4-6 разів. Комунікаційна локальна радіомережа міста для датчиків, сенсорів, лічильників, ітд.

- Зарядна інфраструктура електромобілів від опор освітлення. Додатковий сервіс для зарядки електромобілів. Оптимізація витрат в модернізацію розподільчих мереж міста під зарядки. Додатковий сервіс для міста і джерело доходу.(3kW/7kW) станції заряджання від ліній освітлення.

- 1 kW батареї на опорах (ліхтарях)

- Керування балансуванням.

Своя накоплена енергія від сонячних панелей, джерело маневрової генерації для енергоринку.

Також запропоновано моніторинг, консалтинг, генерацію умовах мобільної енергії в розподільчих мережах. Зазвичай витрати на електроенергію вимірюються тільки на вході в енергосистему підприємства, а споживання

первинних і вторинних споживачів залишається непоміченим. (втрата електроенергії через зламане або неефективне обладнання, невдалий графік роботи, неправильно підключені або налаштовані лічильники енергії, невраховані навантаження збільшують вартість кінцевого продукту або послуги). Контроль експлуатаційних даних може бути використаний для модернізації електропостачання і технічного переоснащення виробництва. Моніторинг та консалтинг, дотримуючись яких, замовник зможе заощадити до 30% вартості електричної енергії.



Рис. 3.7. Концепція впровадження системи моніторингу підприємства.

Детальний моніторинг (від 1 хв.) енерговитрат дозволить:

- знайти джерела непотрібних витрат електричної енергії;
- скласти правильний графік технічного обслуговування і графік роботи;
- своєчасно запобігати несправності обладнання;
- оцінити ефективність енергозберігаючих заходів;
- легко додати нове навантаження;

- отримати розуміння про структуру добових енерговитрат об'єкту для додавання зеленої генерації;
- швидше знайти причину виходу обладнання з ладу;
- знизити витрати на електроенергію, збільшити чистий прибуток;
- контролювати оперативну роботу енергетичного обладнання;
- отримати структуру балансу споживання електроенергії різними групами споживачів, визначити рівень раціональності споживання в цілому.

Запропоновано інструменти сервісу та візуалізацію всіх розподілених ресурсів з високим рівнем деталізації по профілям споживання.

Адміністрування розподільчої мережі з високим рівнем «зеленої» генерації потребує постійного моніторингу енергії, що рухається в різних напрямках. Баланси ліній та їх теплові карти навантаження, дозволяють контролювати стан ліній та оперативні втрати.

Відкрита та мультипротокольна комунікаційна платформа дозволяє об'єднувати єдиною локальною захищеною радіомережею різні лічильники, сенсори, датчики і швидко отримувати нове рішення що потребує замовник.



Рис. 3.8. Концепція впровадження мікромережі розподільчої системи.

Розроблена системи дозволяє виконувати :

- Облік трансформаторів (детальні зрізи профілю споживання від 1 хв, дозволяє зрозуміти структуру споживання та облаштованої власної генерації по лініях за трансформатором
- Облік споживачів (профілі потужності 15 та 30 хв, дає крім балансу, ще моделі прогнозів споживання. Крім того, можна бачити, яку енергію (від генератора, від мережі, від сонця, ітд) спожив абонент.
- Власна генерація (Платформа Embee дозволяє бачити стан лінії в залежності від добового навантаження в розрізі по сезонам, а також контролювати рівень потужності розподіленої генерації абонентів)
- Керування балансуванням (Об'єднуючи однією мережею генератори, споживачів, платформа легко керує навантаженням на стороні споживача і вже на практиці вимикає потужні навантаження абонентів при дорогій енергії від генератора.)

3.3. Впровадження розробленої системи автоматизованого моніторингу та управління електроспоживанням в ЖК «Затишний».

Система дозволяє обліковувати дані по споживанню абонентів. Комплекс побудований на апаратній платформі Embee, яка дозволяє зчитувати до 23000 миттєвих даних на добу, з близько 300 точок обліку кооперативу Золоче. Традиційні комунікації LoRa, PLC та інші не можуть отримувати за добу таку кількість даних.

Маючи такий масив даних, ми включаємо інструменти аналітики та обробки даних, що дозволяє нам отримувати інформацію про втрати в мережах, отримувати дані про споживання абонентами електроенергії від різних джерел генерації, а саме з е\е від ОСР, дизель генератора, сонячної електроенергії, енергії з систем накопичення. Наявні джерела енергії мають різну ціну 1кВт*год і рухаються в різних напрямках розподільчої енергомережі кооперативу. Завдяки локальній внутрішній комунікаційній радіомережі

лічильників у нас є можливість крок за кроком розвивати власну мікромережу та рухатись в сторону зменшення ціни 1 кВт*години.

В першу чергу в реальному часі можемо спостерігати баланс між генерацією та споживанням.

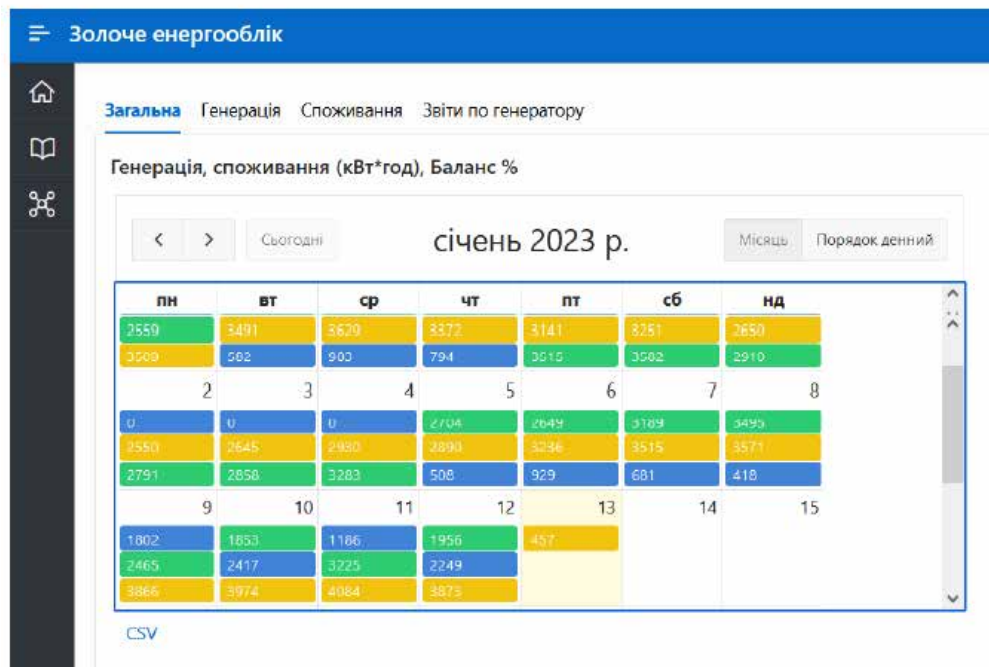


Рис. 3.9. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням балансу генерація -споживання.

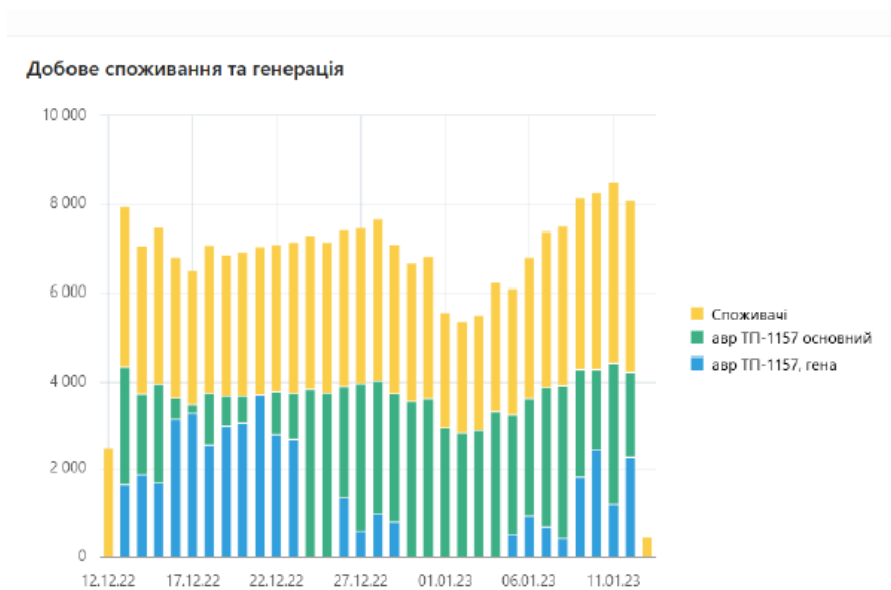
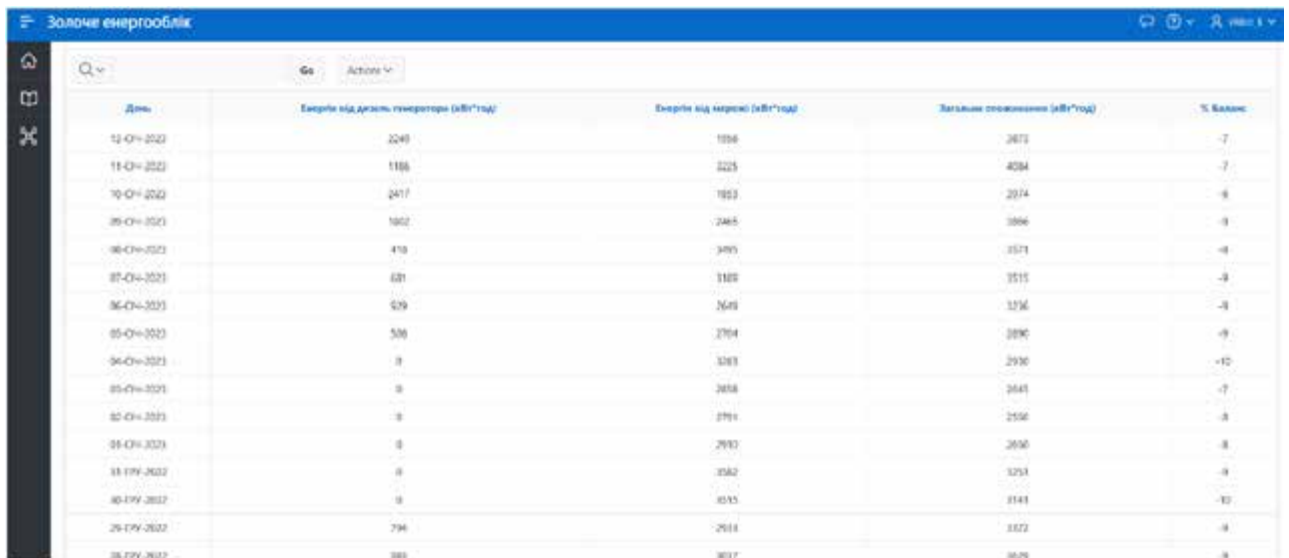


Рис. 3.9. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням добового графіку генерації та споживання кооперативу.

Для обробки даних, формування балансів електроспоживання, і аналітики в режимі реального часу використовується хмарне середовище (Oracle). Накопичення даних протягом декількох років дозволяє прогнозувати сезонні піки навантаження уникаючи аварійних ситуацій. На наступному рисунку представлено вікно програми де можна переглянути дані по генерації від будь-яких джерел та загальне споживання кооперативу за будь-який період часу.



День	Енергія від джерел генератора (кВт*год)	Енергія від мережі (кВт*год)	Загальне споживання (кВт*год)	% Баланс
12-01-2022	2249	1096	2672	-7
11-01-2022	1186	2225	4094	-7
10-01-2022	2417	1853	2274	-6
09-01-2022	1002	2465	1866	-9
08-01-2022	418	3495	2571	-6
07-01-2022	681	1182	1515	-9
06-01-2022	929	2649	1276	-9
05-01-2022	536	2704	2890	-9
04-01-2022	0	3283	2930	+10
03-01-2022	0	2858	2641	-7
02-01-2022	0	2791	2556	-8
01-01-2022	0	2930	2630	-8
31-12-2021	0	3262	1251	-9
30-12-2021	0	3535	3141	-10
29-12-2021	796	2611	1872	-9
28-12-2021	989	3037	3629	-9

Рис. 3.10. Вікно програми «Золоче енергооблік» з наведенням даних про генерацію та споживання за будь-який період часу.

Також можна отримати дані генерації від мережі чи генератора за будь-який період часу. (рис.3.11 та 3.12).

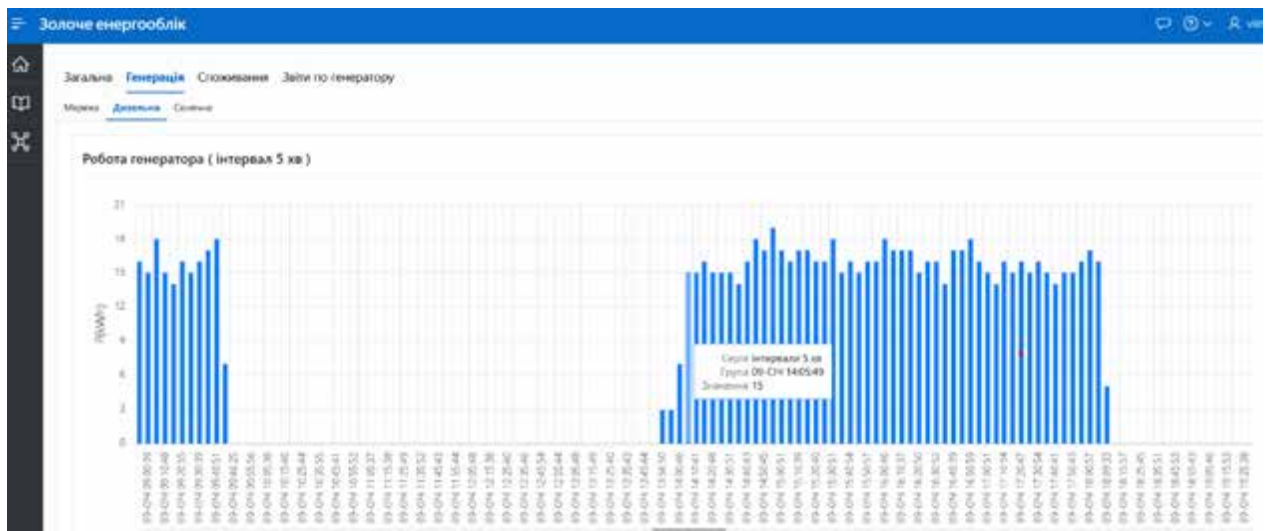


Рис. 3.11. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням детальної інформації про роботу генератора.

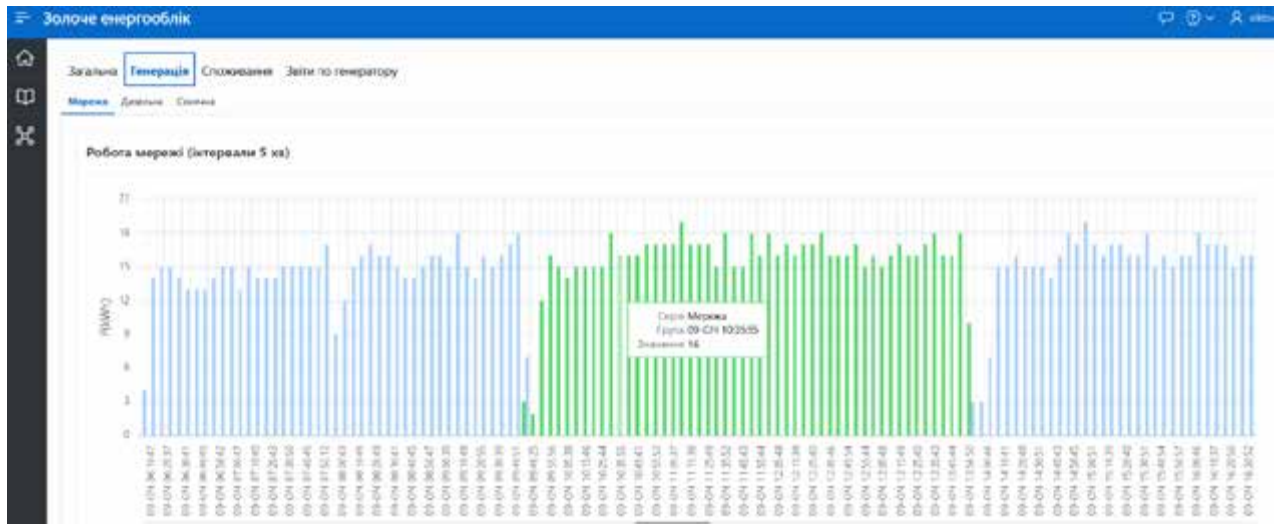


Рис. 3.12. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням детальної інформації про роботу мережі.

Управляюча компанія забезпечує безперебійне живлення споживачі. Споживачі отримують постачання електроенергії від різних джерел, відповідно різної вартості. Споживачі отримують повідомлення і можуть контролювати від якого джерела і за якою вартістю в той чи інший час вони отримують електроенергію. Відповідно лічильники рахують споживання електроенергії від різних джерел окремо. На основі цих даних формується квитанція для кожного споживача. Дані по споживанню в програмі представлено на рис. 3.13 та 3.14.

№	№	Джерело	Споживач	Генератор кВт
06-01-2023	12-01-2023	MTX_206252	Спж04	200,70
06-01-2023	12-01-2023	Directoria_02251944	Спж М5-14	49,96
06-01-2023	12-01-2023	MTX_206257	Спж М13	239,27
06-01-2023	12-01-2023	MTX_206261	Спж М16	227,70
06-01-2023	12-01-2023	Directoria_02141551	Спж М41	126,64
06-01-2023	12-01-2023	Directoria_02141583	Спж М42	12,65
06-01-2023	12-01-2023	Directoria_02141581	Спж М43	18,90
06-01-2023	12-01-2023	Directoria_02261749	Спж М46	87,87

Рис. 3.13. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням детальної інформації про споживання абонентами.

Від	До	Знак/лічильник	Назва	Генератор кВт
06-CH-2023 06:55 +3000	06-CH-2023 08:20 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	5,74
06-CH-2023 13:56 +3000	06-CH-2023 18:35 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	10,81
07-CH-2023 14:03 +3000	07-CH-2023 18:04 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	17,87
08-CH-2023 08:50 +3000	08-CH-2023 08:25 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	8,13
08-CH-2023 15:06 +3000	08-CH-2023 16:58 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	5,10
09-CH-2023 08:04 +3000	09-CH-2023 09:45 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	17,84
09-CH-2023 13:56 +3000	09-CH-2023 18:09 +00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	16,80
09-CH-2023 21:54 +3000	10-CH-2023 00:00 +00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	9,80
10-CH-2023 00:00 +3000	10-CH-2023 02:05 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	5,10
10-CH-2023 03:42 +3000	10-CH-2023 07:26 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	15,28
10-CH-2023 12:10 +3000	10-CH-2023 17:51 -00:00	DimaGama, 02141804	Ілуд NF31	-24,87

Рис. 3.14. Вікно програми «Золоче енергооблік» з представленням детальної інформації про споживання абонентами електричної енергії від генератора.

Суттєвий вплив на електроспоживання має температурний режим. В програмному середовищі передбачено можливість виведення даних генерації та споживання у режимі кореляції із температурою зовнішнього середовища.

Річні дані балансу по генерації дизель-генератора, основного вводу, добовому споживанню 300 будинків в залежності від температури зовнішнього середовища представлено на рис. 3.15



Рис. 3.15. Річні дані балансу по генерації дизель-генератора, основного вводу, добовому споживанню 300 будинків в залежності від температури зовнішнього середовища.

Програмне середовище дозволяє переглядати деталізований (посекундний) звіт як в загальному по кооперативу так і для кожного абонента окремо.



Рис. 3.15. Деталізований звіт (посекундний) про споживання дорогої електроенергії дизель генератора абонентом буд №14

Суттєвим викликом для злагодженої роботи мікромережі кооперативу стали власні сонячні електростанції споживачів з накопичувачами електроенергії.

Пачина	Кінець	Вимірювач	Мова	Споживання за ДТ, кВт*год	Час ДТ, год	Час ДТ, П.0000	Закази спожито за 30 хв, кВт*год
10-04-2022 16:18:12.237 +02:00	10-04-2022 16:29:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	0.823	1:00	00:18:48	1.292
10-04-2022 16:30:00.000 +02:00	10-04-2022 16:39:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.729	1:00	00:30:00	1.729
10-04-2022 16:40:00.000 +02:00	10-04-2022 16:49:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.911	1:00	00:40:00	1.911
10-04-2022 16:50:00.000 +02:00	10-04-2022 16:59:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.315	1:00	00:50:00	1.315
10-04-2022 16:59:59.999 +02:00	10-04-2022 17:09:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.729	1:00	00:59:59	1.729
10-04-2022 17:10:00.000 +02:00	10-04-2022 17:19:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.564	1:00	00:10:00	1.564
10-04-2022 17:20:00.000 +02:00	10-04-2022 17:29:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.768	1:00	00:20:00	1.768
10-04-2022 17:30:00.000 +02:00	10-04-2022 17:39:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.669	1:00	00:30:00	1.669
10-04-2022 17:40:00.000 +02:00	10-04-2022 17:49:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	2.261	1:00	00:40:00	2.261
10-04-2022 17:50:00.000 +02:00	10-04-2022 17:59:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.794	1:00	00:50:00	1.794
10-04-2022 18:00:00.000 +02:00	10-04-2022 18:09:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.682	1:00	00:00:00	1.682
10-04-2022 18:10:00.000 +02:00	10-04-2022 18:19:26.698 +02:00	МТХ_2063218	Буд №14	1.658	1:00	00:10:00	1.658

Рис. 3.16. Профіль споживання 30хв, сонячної генерації у споживачів.

Важливим завданням є також контроль якості електричної енергії, яка споживається абонентами. Контроль миттєвих значень напруг, струмів, потужності споживання за денними максимумами, мінімумами, контроль діапазону коливань від мінімальних до максимальних. Це дає розуміння про стан якості електроенергії в локальній розподільчій мережі кооперативу (рис 3.17).

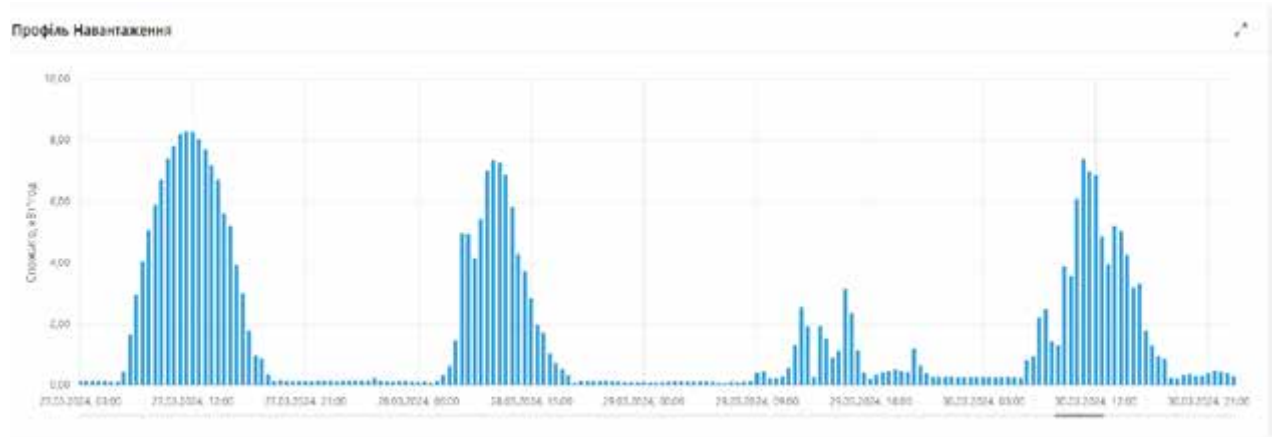


Рис. 3.17. Профіль навантаження системи

При аналітичній обробці масивів даних легко виявити втрати в лініях кооперативу, відповідно швидко проводиться робота по нейтралізації джерел втрат.



Рис. 3.18. Графік миттєвого навантаження в лініях кооперативу

На графіку видно що 31.08.2023 різко збільшились втрати вище прийнятних в 7%. (червона штрих лінія на графіку), а також зменшилось загальне сумарне споживання по вибраних абонентах (фільтр вибраний по споживачах вище 1500 кВт*год в місяць).

Детальний аналіз графіку навантаження споживачів (рис 3.19 та 3.20) показав , що споживач ЖЕК споживав до 29.08 в середньому по 200кВт*год.



Рис. 3.19. Детальний графік навантаження по споживачах.

Цей самий споживач починаючи з 31.08 почав споживати в середньому 50 кВт*год. (Як раз в той момент коли зросли загальні втрати вище рівня прийнятно-дозволених. Було проведено роботу по пошуку джерела втрат та

з'ясування обставин що їх створили. Починаючи з 8.09 рівень загальні втрати знову впали нижче рівня прийнятних, а споживання абонента знову зросло.



Рис. 3.20. Детальний графік навантаження по споживачах.

Від'ємні втрати, говорять про наявність в лініях кооперативу додаткової сонячної енергії, що не виходить за межі комерційного лічильника, а споживається абонентами. Втрати обліковуються як $[(\text{Енергія вхідного (комерційного лічильника)} - \text{Сумарна спожита енергія по всіх абонентах}) / \text{Енергія вхідного (комерційного лічильника)}] * 100$

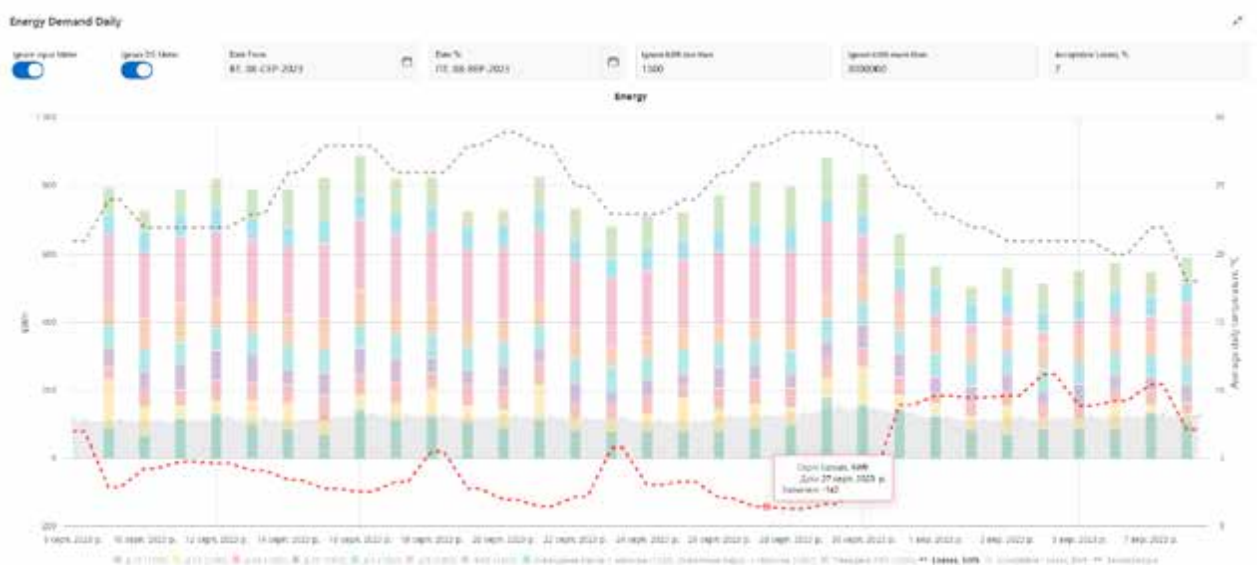


Рис. 3.21. Детальний графік навантаження по споживачах з сонячною генерацією

Контроль миттєвих значень потужності споживання контролюється через АВР вхідної лінії ТП. В разі перевищення сонячної генерації над споживанням, якщо в певні короткі проміжки потужність внутрішньої генерації буде вищою за вхідне споживання, то будемо вводити обмеження інверторів або заставляти споживачів ставити накопичувачі. (майбутня опція що має бути дороблена).

Швидкісна локальна радіомережа стандарту Zigbee з профілем Embee дозволяє отримувати великі масиви даних по лічильниках та вести облік не лише споживання, а й аналізувати стан ліній, отримувати інформацію по втратах, контролювати якість електроенергії в розподільчій енергомережі. Такі наявні дані лічильників та їх обробка, дозволяють скоротити витрати на обслуговування. Дані профілю навантаження кооперативу «Затишний» та сусідніх кооперативів представлено на рис. 3.22-3.23.

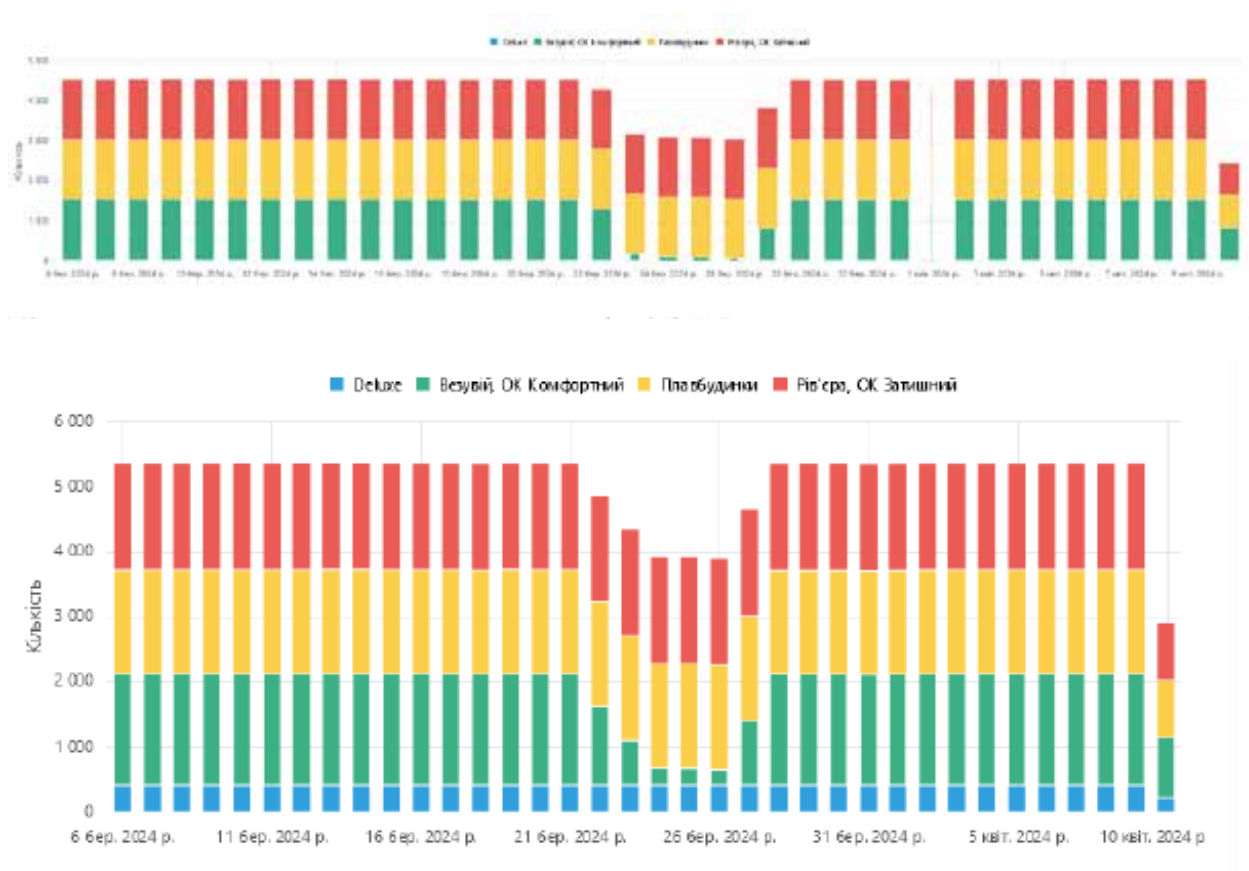


Рис.3.22. Дані профілю навантаження кооперативу «Затишний».

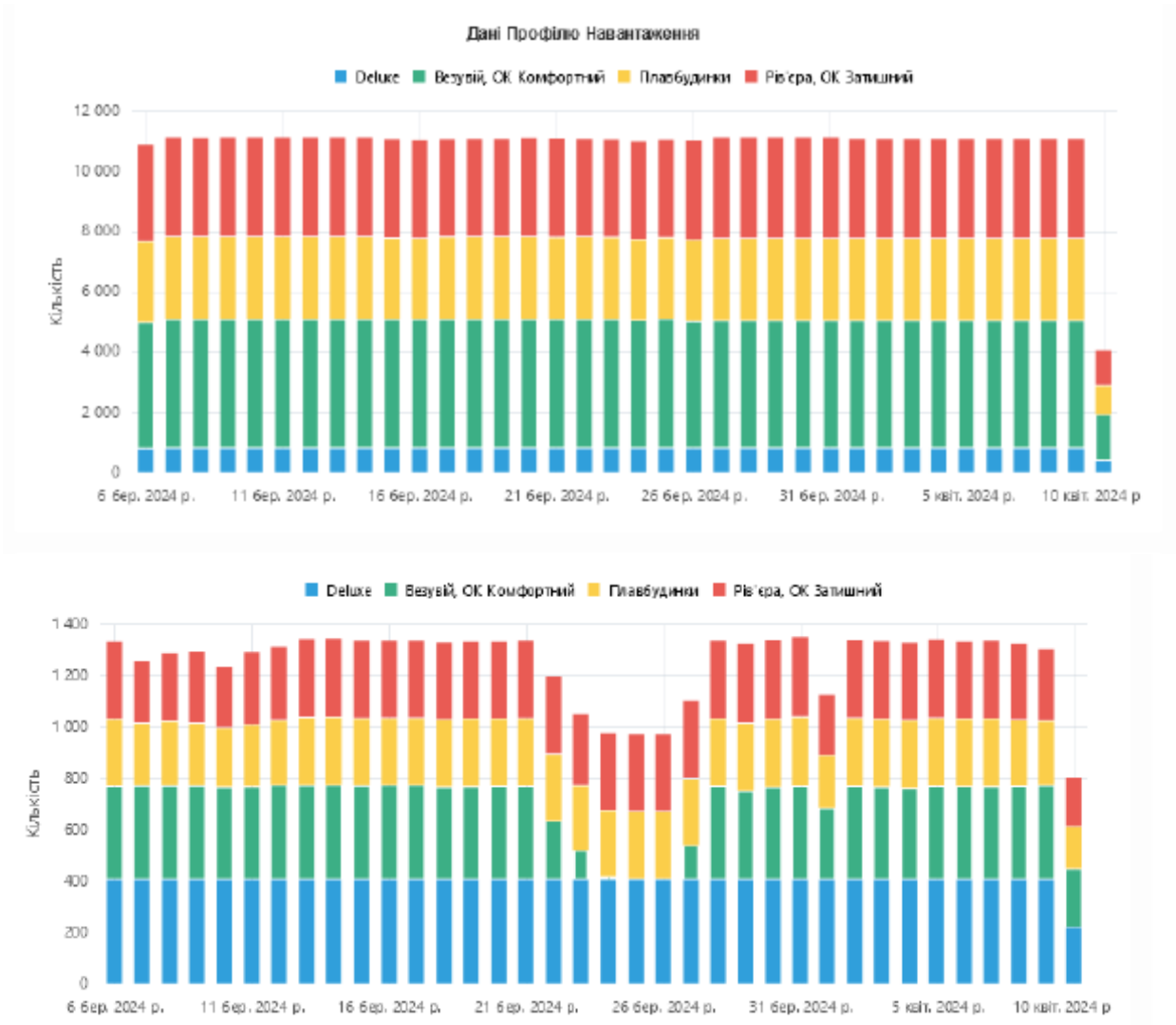


Рис. 3.23. Дані профілю навантаження кооперативу «Затишний»

Всі відхилення від номінальних режимів роботи фіксуються в журналі подій.

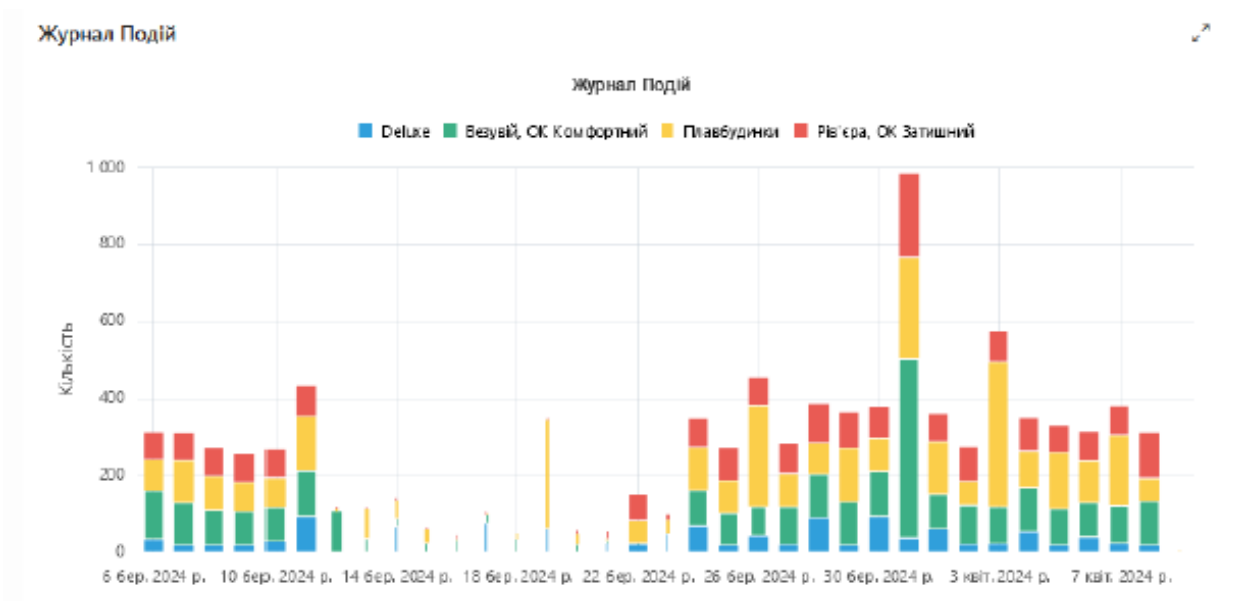


Рис. 3.24. Відображення журналу подій в системі моніторингу.

Кожну добу, з 300 точок обліку, на кооперативі збирається близько 23 000 миттєвих значень даних від лічильників електроенергії. Комунікаційні технології в абонентських лічильниках з Power Line communications (PLC) не дозволяють отримувати такі об'єми даних і вести посекундний облік споживання різних наявних джерел енергії.

Продовжуємо будувати енергокооператив (Мікромережа в основі) що дозволить бути не лише споживачем а й бути колективним prosumer. Рухаємось в прогнозування локальної генерації кооперативу. Для цього є опція контролю погодинних ринкових цін на ОРЕЕ України, та оперативні дані про погоду з контролем хмарності, швидкості вітру, середньої температури. Дані доступні по всім містам регіонам та всім розподільчим компаніям України.



Рис. 3.25. Відображення погодинних ринкових цін на ОРЕЕ України, та оперативні дані про погоду з контролем хмарності, швидкості вітру, середньої температури

РОЗДІЛ 4

ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ. ОХОРОНА ПРАЦІ. ЕКОЛОГІЧНА БЕЗПЕКА.

4.1. Економічна ефективність впровадження системи моніторингу

Впровадження системи моніторингу та керування електроспоживанням дозволило досягти значних економічних ефектів для житлового кооперативу. Основні економічні показники проекту наведені в Таблиці 1.

Таблиця 4.1.

Основні економічні показники впровадження системи моніторингу

Показник	Значення
Вартість розробки програмного забезпечення	80 000 грн
Вартість додаткових модемів для читання інформації з генераторів	10 000 грн
Вартість параметризації лічильників на 2 тарифні зони (за один лічильник)	7 000 грн
Щомісячна оплата за хмарний сервіс	4 000 грн
Середньорічна економія електроенергії	15%
Зниження пікових навантажень	20%
Термін окупності проекту	2,5 роки

Основними джерелами економічної ефективності системи є:

1. Зменшення технічних втрат в мережі. Завдяки моніторингу та аналізу балансів електроспоживання вдалося зменшити технічні втрати з 10% до 5%, що принесло річну економію близько 120 000 грн.

2. Виявлення та усунення комерційних втрат. Система дозволила виявити несанкціоновані підключення та неправильну роботу лічильників, що дало додаткову економію близько 80 000 грн на рік.

3. Оптимізація використання різних джерел генерації. Рациональне використання дизель-генератора тільки при необхідності дозволило зменшити витрати палива на 30%, що становить близько 200 000 грн на рік.

4. Впровадження двозонних тарифів. Використання нічних тарифів для нагріву води та опалення дозволило зменшити витрати на електроенергію на 10%, що дало економію близько 150 000 грн на рік.

Загальний економічний ефект від впровадження системи моніторингу та керування електроспоживанням складає близько 550 000 грн на рік, що забезпечує окупність проекту протягом 2,5 років.

4.2. Екологічні показники

Впровадження системи моніторингу та управління електроспоживанням має також позитивний екологічний ефект:

1. Зменшення викидів CO₂. Оптимізація роботи дизель-генератора дозволила зменшити викиди CO₂ на 25 тонн на рік.

2. Підвищення використання відновлюваних джерел енергії. Завдяки ефективному балансуванню мікромережі вдалося збільшити частку сонячної енергії в загальному балансі з 15% до 25%.

3. Зменшення шумового забруднення. Оптимізація роботи дизель-генератора дозволила зменшити час його роботи на 30%, що суттєво знизило рівень шумового забруднення території кооперативу.

Такі екологічні показники відповідають європейським стандартам сталого розвитку енергетики та сприяють покращенню якості життя мешканців кооперативу.

4.3. Заходи з охорони праці

Впровадження та експлуатація системи моніторингу та управління електроспоживанням вимагає дотримання специфічних вимог охорони праці, пов'язаних з роботою з електроустановками та автоматизованими системами управління:

1. Забезпечення електробезпеки при встановленні та обслуговуванні лічильників. Всі роботи з встановлення та параметризації лічильників проводяться кваліфікованим персоналом з дотриманням вимог Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів.

2. Захист від електромагнітного випромінювання. Обладнання бездротової передачі даних встановлюється з урахуванням допустимих рівнів електромагнітного випромінювання відповідно до санітарних норм.

3. Забезпечення інформаційної безпеки. Система захисту інформації забезпечує контроль і управління доступом користувачів до захищених інформаційних ресурсів та розмежування прав доступу за рольовою моделлю.

4. Захист від аварійних ситуацій. Система моніторингу включає функції раннього виявлення аварійних ситуацій (короткі замикання, перевантаження ліній, перенапруги) та автоматичного відключення відповідних ділянок мережі.

5. Забезпечення безпеки при роботі дизель-генератора. Система контролює всі параметри роботи дизель-генератора та автоматично відключає його при виникненні аварійних ситуацій.

Впровадження цих заходів дозволило забезпечити безпечну експлуатацію системи моніторингу та управління електроспоживанням відповідно до міжнародних стандартів охорони праці та безпеки.

ВИСНОВКИ

У даній магістерській роботі проведене дослідження демонструє успішний приклад впровадження системи моніторингу та керування електроспоживанням Microgrid на базі житлового кооперативу в Україні. Система забезпечує ефективний облік та управління електроспоживанням з урахуванням різних джерел генерації, що відповідає європейським принципам децентралізованого енергозабезпечення.

За результатами дослідження сформульовано наступні висновки:

1. Реалізована система моніторингу та управління електроспоживанням житлового кооперативу є практичним прикладом успішної імплементації концепції мікромережі (Microgrid) в Україні відповідно до європейських стандартів та нового Закону України "Про ринок електричної енергії".

2. Ключовими факторами успіху проаналізованої системи є:

- Використання сучасної апаратної платформи Embee з високою швидкістю передачі даних, що дозволяє зчитувати до 23000 миттєвих даних на добу з 300 точок обліку

- Впровадження хмарного сервісу Oracle для обробки та аналізу даних, що забезпечує формування балансів електроспоживання та аналітику в режимі реального часу

- Розвинуті аналітичні можливості системи для виявлення та усунення технічних і комерційних втрат в мережі

- Інтеграція різних джерел генерації (ОСР, дизель-генератор, СЕС) в єдину систему моніторингу та управління

3. Система забезпечує суттєві економічні та екологічні переваги:

- Зменшення технічних втрат з 10% до 5%

- Оптимізація використання дизель-генератора, що дозволило зменшити витрати палива на 30%

- Збільшення частки сонячної енергії в загальному балансі з 15% до 25%

- Зниження викидів CO₂ на 25 тонн на рік

4. Технологія забезпечує вирішення основних викликів, пов'язаних з функціонуванням мікромереж:

- Балансування потужності при різних режимах генерації та споживання
- Контроль якості електроенергії (напруга, частота, потужність)
- Керування зворотними потоками енергії від розподілених сонячних електростанцій
- Оптимізація використання різних джерел енергії з урахуванням їх вартості

5. Для подальшого розвитку мікромереж в Україні необхідно:

- Вдосконалити нормативно-правову базу в напрямку деталізації правил функціонування енергоостровів та впровадження механізмів стимулювання їх розвитку
- Розробити стандарти для забезпечення сумісності обладнання різних виробників
- Створити механізми для P2P-торгівлі електроенергією між споживачами в межах мікромережі
- Впровадити технології накопичення енергії для підвищення стабільності роботи мікромереж

Впровадження подібних систем моніторингу та керування електроспоживанням є важливим кроком у розвитку децентралізованого енергозабезпечення в Україні та імплементації європейських принципів функціонування ринку електроенергії. Це відповідає стратегії енергетичної безпеки України, сприяє підвищенню ефективності використання енергоресурсів та забезпечує вищу стійкість енергосистеми до зовнішніх викликів.

Перспективними напрямками подальших досліджень є розробка алгоритмів прогнозування генерації та споживання з використанням штучного

інтелекту, вдосконалення методів управління попитом та інтеграція систем накопичення енергії в мікромережі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЖЕРЕЛ

1. European Commission. (2020). Clean energy for all Europeans package. Retrieved from https://energy.ec.europa.eu/topics/energy-strategy/clean-energy-all-europeans-package_en
2. U.S. Department of Energy. (2022). Microgrid Exchange Group Definition. Retrieved from <https://www.energy.gov/oe/services/technology-development/smart-grid/role-microgrids-helping-advance-nations-energy-system>
3. International Electrotechnical Commission. (2022). Electropedia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary. Retrieved from <https://www.electropedia.org/>
4. Закон України "Про ринок електричної енергії". (2017). Відомості Верховної Ради (ВВР), № 27-28, ст.312.
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
5. Hirsch, A., Parag, Y., & Guerrero, J. (2018). Microgrids: A review of technologies, key drivers, and outstanding issues. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 402-411.
6. Lasseter, R. H. (2011). Smart Distribution: Coupled Microgrids. *Proceedings of the IEEE*, 99(6), 1074-1082.
7. Ton, D. T., & Smith, M. A. (2012). The U.S. Department of Energy's Microgrid Initiative. *The Electricity Journal*, 25(8), 84-94.
8. International Electrotechnical Commission. (2023). IEC TS 62898-1:2017 Microgrids - Part 1: Guidelines for microgrid projects planning and specification.
9. Hossain, E., Kabalci, E., Bayindir, R., & Perez, R. (2014). Microgrid testbeds around the world: State of art. *Energy Conversion and Management*, 86, 132-153.
10. Walker, G., & Devine-Wright, P. (2008). Community renewable energy: What should it mean? *Energy Policy*, 36(2), 497-500.
11. Palizban, O., Kauhaniemi, K., & Guerrero, J. M. (2014). Microgrids in active network management -- Part I: Hierarchical control, energy storage, virtual

power plants, and market participation. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 36, 428-439.

12. Dragicevic, T., Lu, X., Vasquez, J. C., & Guerrero, J. M. (2016). DC Microgrids -- Part II: A Review of Power Architectures, Applications, and Standardization Issues. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 31(5), 3528-3549.

13. StartUs Insights. (2021). Discover 5 Top Energy Startups Developing Advanced Metering Solutions. Retrieved from <https://www.startus-insights.com/innovators-guide/discover-5-top-energy-startups-developing-advanced-metering-solutions/>

14. Jiayi, H., Chuanwen, J., & Rong, X. (2008). A review on distributed energy resources and MicroGrid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(9), 2472-2483.

15. Olivares, D. E., Mehrizi-Sani, A., Etemadi, A. H., Cañizares, C. A., Iravani, R., Kazerani, M., Hajimiragha, A. H., Gomis-Bellmunt, O., Saeedifard, M., Palma-Behnke, R., Jiménez-Estévez, G. A., & Hatziargyriou, N. D. (2014). Trends in Microgrid Control. *IEEE Transactions on Smart Grid*, 5(4), 1905-1919.

16. Colmenar-Santos, A., Reino-Rio, C., Borge-Diez, D., & Collado-Fernández, E. (2016). Distributed generation: A review of factors that can contribute most to achieve a scenario of DG units embedded in the new distribution networks. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 59, 1130-1148.

17. Bayindir, R., Hossain, E., Kabalci, E., & Perez, R. (2016). A comprehensive study on microgrid technology. *International Journal of Renewable Energy Research*, 6(3), 1033-1049.

18. Parhizi, S., Lotfi, H., Khodaei, A., & Bahramirad, S. (2015). State of the Art in Research on Microgrids: A Review. *IEEE Access*, 3, 890-925.

19. Zamora, R., & Srivastava, A. K. (2010). Controls for microgrids with storage: Review, challenges, and research needs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14(7), 2009-2018.

20. Planas, E., Gil-de-Muro, A., Andreu, J., Kortabarria, I., & Martínez de Alegría, I. (2013). General aspects, hierarchical controls and droop methods in microgrids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 147-159.
21. Planas, E., Gil-de-Muro, A., Andreu, J., Kortabarria, I., & Martínez de Alegría, I. (2013). General aspects, hierarchical controls and droop methods in microgrids: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 17, 147-159.
22. Yan, B., Wang, B., Zhu, L., Liu, H., Liu, Y., Ji, X., & Liu, D. (2017). A novel, stable, and economic power sharing scheme for an autonomous microgrid in the energy internet. *Energies*, 10(12), 1-17.
23. European Parliament. (2019). Directive (EU) 2019/944 on common rules for the internal market for electricity. *Official Journal of the European Union*, L 158/125.
24. Держенергоефективність України. (2021). Технічні регламенти та стандарти у сфері альтернативної енергетики. Retrieved from <https://saee.gov.ua/uk/regulations>
25. Mirsaeidi, S., Dong, X., Shi, S., & Tzelepis, D. (2019). Challenges, advances and future directions in protection of microgrids. *IET Renewable Power Generation*, 13(15), 2606-2629.
26. Saleh, M., Esa, Y., & Mohamed, A. A. (2019). Challenges of Protection in Microgrids: A Comprehensive Review of Fault Types, Protection Issues, and Schemes. *Applied Sciences*, 9(23), 5121.
27. Justo, J. J., Mwasilu, F., Lee, J., & Jung, J. W. (2013). AC-microgrids versus DC-microgrids with distributed energy resources: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 24, 387-405.
28. Wang, P., Xiao, J., & Setyawan, L. (2016). Hierarchical Control of Hybrid Energy Storage System in DC Microgrids. *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, 63(4), 2280-2290.
29. Rocabert, J., Luna, A., Blaabjerg, F., & Rodríguez, P. (2012). Control of Power Converters in AC Microgrids. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 27(11), 4734-4749.

30. Група компаній «Золоче». (2023). Програмно-аналітичний комплекс моніторингу електричної енергії. Технічна документація.
31. Embee Tech. (2023). Характеристики платформи Embee IoT. Отримано з <https://embee.tech/products/iot-platform>
32. Технічне завдання на надання послуг з програмування платформи Oracle для аналізу зведеної інформації про споживання електроенергії. (2022). Додаток №1 До договору від 1 листопада 2022.
33. Методика обліку балансів та втрат в мережі. (2023). Технічна документація
34. Звіт про аналіз втрат в мережі житлового кооперативу. (2023). Внутрішня документація.
35. Технічні характеристики дизель-генераторної установки (ДГУ) Fogo FDT 820 S. (2022). Технічна документація.
36. Закон України "Про альтернативні джерела енергії". (2003). Відомості Верховної Ради України (ВВР), № 24, ст.155.
37. Закон України "Про комбіноване виробництво теплової та електричної енергії (когенерацію) та використання скидного енергопотенціалу". (2005). Відомості Верховної Ради України (ВВР), № 20, ст.278.
38. Системний оператор України. (2023). Кодекс систем розподілу. Retrieved from <https://ua.energy/>
39. Національна комісія, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг. (2022). Правила роздрібного ринку електричної енергії. Retrieved from <https://www.nerc.gov.ua/>
40. Copper Labs. (2023). Wireless energy monitoring technology. Retrieved from <https://www.copperlabs.com/technology/>
41. ZenMeter. (2023). Smart metering solutions. Retrieved from <https://www.zenmeter.in/>
42. Ubiik. (2023). Internet of Energy for Smart Metering. Retrieved from <https://www.ubiik.com/smartmetering>

43. Міністерство енергетики України. (2023). Дорожня карта переходу до сталої енергетики України до 2050 року. Retrieved from <http://mpe.kmu.gov.ua/>
44. IBM. (2022). Oracle Cloud Infrastructure for Energy Metering and Management. Technical Documentation.
45. Асоціація сонячної енергетики України. (2023). Статистичні дані щодо сонячної генерації в Україні. Retrieved from <https://aseu.org.ua/>
46. Національний інститут стратегічних досліджень. (2022). Енергетична безпека України: мікромережі як елемент стійкості енергосистеми. Аналітична доповідь.
47. Mengelkamp, E., Gärttner, J., Rock, K., Kessler, S., Orsini, L., & Weinhardt, C. (2018). Designing microgrid energy markets: A case study: The Brooklyn Microgrid. *Applied Energy*, 210, 870-880.
48. Fang, X., Misra, S., Xue, G., & Yang, D. (2012). Smart Grid -- The New and Improved Power Grid: A Survey. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, 14(4), 944-980.
49. Lopes, J. A. P., Madureira, A. G., & Moreira, C. C. L. M. (2013). A view of microgrids. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 2(1), 86-103.
50. Gao, D. W. (2015). *Energy storage for sustainable microgrid*. Academic Press.
51. Kroposki, B., Lasseter, R., Ise, T., Morozumi, S., Papatlianassiou, S., & Hatziargyriou, N. (2008). Making microgrids work. *IEEE Power and Energy Magazine*, 6(3), 40-53.