

УДК 620.9:728

DOI: 10.30838/J.BPSACEA.2312.270224.130.1033

ІННОВАЦІЙНА СИСТЕМА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЖК «ПАНОРАМА» У М. ДНІПРО

САВИЦЬКИЙ О. М.¹, канд. техн. наук,
СПИРИДОНЕНКОВ В. А.²,
ЦИГАНКОВА С. Г.^{3*}, канд. техн. наук

¹ Приватне будівельно-монтажне підприємство «Строитель-П», вул. Сімферопольська, 2М, 49005, Дніпро, Україна, тел. +38 (097) 710-35-01, e-mail: san.stroitel@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-7032-295X

² ТОВ «Дніпро ЗБК», вул. Повітряна, 5, 49022, Дніпро, Україна, тел. 38 (098) 177-77-97, e-mail: sva.stroitel@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3328-8357

^{3*} Відділ міжнародного співробітництва, Придніпровська державна академія будівництва та архітектури, вул. Архітектора Олега Петрова, 24-а, 49005, Дніпро, Україна, тел.+38 (056) 756-33-31, e-mail: tsygankova.svetlana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9837-3109

Анотація. Постановка проблеми. Підвищення енергоефективності являє собою пріоритетний напрям як для держав Європейського союзу, так і для України, яка має чіткий та послідовний напрям розвитку згідно зі стратегіями Європейського зеленого курсу. Оскільки житлові будинки споживають великий відсоток виробленої електроенергії, підвищення енергоефективності будівель сприятиме збереженню енергії, а також енергетичній безпеці та незалежності від імпорту енергії. Значної економії споживання енергії можна досягти шляхом розроблення та впровадження систем управління енергоспоживанням для реалізації енергоефективного управління сучасними будівлями та використання «розумних» технологій в будівлях, що дозволять контролювати та оптимізувати енергоспоживання та сприятимуть раціональному використанню енергії. **Мета статті** – розроблення системи енергоменеджменту житлового комплексу «Панорама» у м. Дніпро. Робота виконана в рамках реалізації міжнародного проекту PRECEPT [1] програми HORIZON 2020. **Висновки.** Запропоновано систему енергоменеджменту житлового комплексу, яка заснована на моніторингу параметрів клімату та якості повітря. Система успішно введена в дію та у режимі реального часу отримує і обробляє зовнішні дані стосовно вартості енергії, метеоумов та інших параметрів, аналізує та накопичує дані, приймає необхідні рішення щодо енергоспоживання і надсилає результати споживачам та менеджерам будівлі з питань економії енергії або підвищення рівня комфорту.

Ключові слова: енергоефективність; система енергоменеджменту; індикатор розумної готовності; розумний проактивний індикатор

INNOVATIVE ENERGY MANAGEMENT SYSTEM OF RESIDENTIAL COMPLEX “PANORAMA” IN DNIPRO CITY

SAVYTSKYI O.M.¹, PhD in Eng.,
SPYRYDONENKOV V.A.²,
TSYHANKOVA S. H.^{3*}, PhD in Eng.

¹ Private Construction and Assembly Enterprise “STROITEL-P”, 2M, Simferopolska St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (097) 710-35-01, e-mail: san.stroitel@gmail.com, ORCID ID: 0009-0008-7032-295X

² Limited Liability Company “Dnipro ZBK”, 5, Povityryana St., Dnipro, 49022, Ukraine, tel. 38 (098) 177-77-97, e-mail: sva.stroitel@gmail.com, ORCID ID: 0000-0003-3328-8357

^{3*} Department for International Cooperation, Prydniprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture, 24-a, Architect Oleh Petrov St., Dnipro, 49005, Ukraine, tel. +38 (056) 756-33-31, e-mail: tsygankova.svetlana@pdaba.edu.ua, ORCID ID: 0000-0002-9837-3109

Abstract. Problem statement. Improving energy efficiency is a priority for both the European Union and Ukraine, which has a clear and consistent direction of development in accordance with the strategies of the European Green Deal. Residential buildings consume a large percentage of the electricity produced, and improving the energy efficiency of buildings will contribute to energy conservation, as well as energy security and energy independence from energy imports. Significant savings in energy consumption can be achieved through the development and implementation of energy management systems to implement energy-efficient management of modern buildings and the use of smart technologies in buildings, which will allow to control and optimise energy consumption and promote the rational use of

energy. *The purpose of the article.* To develop an energy management system for the residential complex “Panorama” in Dnipro city. The work was carried out within the framework of the international project PRECEPT [1] under HORIZON 2020 programme. *Conclusions.* An energy management system for a residential complex based on monitoring of climate and air quality parameters is proposed. The system has been successfully put into operation, and in real time receives and processes external data on energy costs, weather conditions and other parameters, analyses and accumulates data, makes the necessary decisions on energy consumption and sends the results to consumers and building managers to save energy or improve comfort.

Keywords: *energy efficiency; energy management system; smart readiness indicator; smart proactive indicator*

Постановка проблеми. Євроінтеграційні амбіції України передбачають чіткий та послідовний напрям розвитку згідно зі стратегіями Європейського зеленого курсу. Як і для Європейського Союзу, найважливішим напрямом стало підвищення енергоефективності, важливе не тільки з точки зору збереження та раціонального використання енергії, а і для безпеки енергопостачання та зниження залежності від імпорту палива.

У 2023 році Європарламент прийняв оновлену директиву з енергоефективності Energy Efficiency Directive (EU) 2023/1791 [2], яка, порівняно із попередніми нормативними документами, передбачає обов'язкове скорочення кінцевого споживання енергії в ЄС на 11,7 % до 2030 року (порівняно з базовим сценарієм 2020 року), збільшення щорічної економії енергії з 0,8 % (зараз) до 1,3 % (2024–2025 рр.), потім до 1,5 % (2026–2027 рр.) і 1,9 % з 2028 року і далі, що у середньому складе 1,49 % нових щорічних заощаджень за період 2024–2030 років.

Крім цього, передбачено щорічне зобов'язання 3 % оновлення існуючих будівель, наявність системи енергоменеджменту або проведення енергоаудиту для будівель різного призначення.

Директива EU 2023/1791 запроваджує також моніторинг енергоефективності центрів обробки даних, з базою даних на рівні ЄС, яка збиратиме та публікуватиме дані, та сприяння поступовому підвищенню ефективного споживання енергії в тепло- та холодопостачанні, в тому числі в централізованому теплопостачанні.

Взятий Україною курс на євроінтеграцію також передбачатиме

підвищення енергоефективності по всьому енергетичному ланцюгу, від виробництва енергії до її передачі, розподілу та кінцевого використання, що зрештою, принесе користь навколишньому середовищу, поліпшить якість повітря і здоров'я населення, скоротить викиди парникових газів, підвищить енергетичну безпеку за рахунок зменшення потреби в імпорті енергоресурсів та знизить витрати на енергію для домогосподарств і компаній.

Як відомо, житлові будинки споживають майже 40 % виробленої електроенергії, що накладає на них своєрідну відповідальність за пов'язані з виробництвом енергії викиди парникових газів. Згідно з Директивою про енергетичну ефективність будівель з 2028 року всі нові будівлі повинні мати нульовий рівень викидів; існуючі будівлі повинні будуть відповідати мінімальним стандартам енергоефективності, щоб досягти кліматичної нейтральності до 2050 року, при цьому житлові будинки повинні досягти мінімального рівня енергетичної ефективності; класу E до 2030 року та класу D до 2033 року (класи рейтингів сертифікатів енергоефективності ЄС (EPC)).

Як сказано вище, підвищення енергоефективності будівель наразі важливіше, ніж будь-коли, оскільки воно дозволяє скоротити викиди, мінімізувати споживання енергії, підвищити енергетичну безпеку та сприятиме незалежності від імпорту енергії та зменшенню енергетичної бідності.

Мета статті. Підвищення енергоефективності будівель передбачає, серед інших заходів, розроблення відповідних систем управління енергоспоживанням для реалізації енергоефективного управління сучасними будівлями та використання «розумних»

технологій в будівлях, тобто інженерних рішень для контролю та оптимізації енергоспоживання та організації раціонального використання енергії, що сприятиме зниженню витрат на генерацію енергії, збільшенню можливостей застосування відновлюваних джерел енергії та мінімізації викидів парникових газів.

З урахуванням вищесказаного, очевидно, що сучасні системи управління енергоспоживанням повинні здійснювати постійний моніторинг і контроль параметрів навколишнього середовища в приміщеннях будівель, обробляти дані у режимі реального часу, накопичувати та передавати інформацію, керувати споживанням енергії для зниження енерговитрат та оптимізації загальної енергетичної системи будівлі.

Безумовною вимогою для будь-якої системи керування енергоспоживанням є насамперед комфорт користувачів. При цьому система енергоменеджменту будівлі за своєю структурою повинна бути безпечною, функціонально гнучкою, передбачати захищеність отриманих даних.

Аналіз останніх досліджень. Велика кількість публікацій присвячена розробленню та впровадженню систем енергетичного менеджменту для будівель різного призначення. Становлять інтерес системи управління стабільністю, регулюванням напруги та якістю електроенергії для електричних мереж з інтегрованими до них відновлюваними джерелами енергії. Хоча відновлювані джерела енергії – це альтернатива для первинної чистої енергії, вони не диспетчеризуються та мають періодичний характер.

У працях [3–5] розглянуто системи енергоменеджменту, засновані на застосуванні локальних мікромереж управління енергією, що надає можливість одночасного заощадження енергії, оптимізації експлуатаційних витрат, максимізації ефективності роботи енергосистеми та підвищення її надійності, що сприяє зменшенню викидів парникових газів. У випадку використання відновлюваних джерел енергії такі системи

дозволяють прогнозувати генерацію енергії та навантаження на енергетичну систему, що важливо для сучасних інтелектуальних систем управління будівлями.

Праця [6] присвячена огляду методів, заснованих на м'яких обчисленнях, особливо нечітких когнітивних картах, які частіше застосовуються в управлінні енергетичними потоками в приватних і громадських будівлях, спрямованому на мінімізацію споживання енергії. Проведено аналіз існуючих методів та запропоновано підхід до вирішення питань, пов'язаних із застосуванням нечітких когнітивних карт для енергоменеджменту та енергоефективності в будівлях.

У публікації [7] розглянуто систему енергетичного менеджменту будівель, з урахуванням енергетичних, екологічних, соціальних та фінансових обмежень, що направлена на підвищення енергоефективності, ефективної вартості енергії та найменшої залежності від викопного палива при скороченні викидів. Крім урахування споживання енергії, під час розроблення системи енергоменеджменту запропоновано метод збору даних про енергетичну активність мешканців будівлі та частоту активного споживання енергії, що надалі могло бути використано для прогнозного аналізу.

Розробку експертних аналітичних інструментів, які будуть включені в комерційні платформи управління енергоспоживанням для випереджального управління енергоспоживанням у будівлях із метою подальшої оптимізації енергозбереження, запропонували автори праць [8–9]. Пропонується створення трьох інструментів на основі нечіткої логіки, включених у платформи SaaS, які використовуються для управління енергоспоживанням, з метою прискорення процесу прийняття рішень, пов'язаних з інтелектуальним виявленням несправностей та діагностикою, а також інтелектуальним прогнозним обслуговуванням основного обладнання будівель.

Експертний аналізатор буде використаний для діагностики звичайного

будівельного обладнання, тобто систем опалення, вентиляції та кондиціонування, з метою постійного моніторингу системи для економії енергії та продовження терміну служби обладнання. Оптимізатор системи опалення, вентиляції та кондиціонування буде заснований на механізмі нечіткого виведення для оптимізації роботи системи з метою підвищення комфорту, зниження витрат на електроенергію і зміщення пікового попиту.

Третій інструмент, так званий експерт із технічного обслуговування, стане економічно ефективним інструментом для прогнозування майбутніх потреб із плином часу. Використання даної системи енергоменеджменту замінить аналіз та інтерпретацію людських даних програмним забезпеченням, та дозволить прогнозування майбутніх потреб в обслуговуванні на основі середньострокових даних про споживання енергії, умов реєстрації, звітів, попереднього аналізу та поліпшення процесу ухвалення рішень, пов'язаних з інтелектуальним виявленням несправностей і діагностики.

Особливе місце мають наукові дослідження [10–13], мета яких – розроблення систем управління енергією, які здатні приймати стратегічні рішення, з урахуванням прогнозування, планування та контролю в режимі реального часу для встановлених ресурсів генерації та попиту, включаючи управління та диспетчеризацію попиту на енергію. Такі системи засновані на так званих проактивних схемах енергоменеджменту та є більш чутливими.

Пристрої зберігання енергії та обмін енергією з електромережею посідають украй важливе місце в таких системах, додаючи більше можливостей управління встановленими джерелами енергії шляхом пристосовування до них різних динамічних властивостей і компенсуючи будь-яку невизначеність попиту чи пропозиції.

Для подальшого поліпшення енергетичного балансу в реальному часі, скорочення інтервалів для загальної оптимізації потрібно, щоб система була в змозі проактивно управляти будь-якими

різними динамічними невизначеностями відновлюваних джерел енергії (таких як сонячне випромінювання, швидкість вітру), профілями попиту, цінами, ефективністю підсистем перетворення енергії тощо.

У праці [13] описано ієрархічну структуру проактивного управління, яка, на думку авторів, найбільш придатна для забезпечення успішного управління енергією. На першому етапі здійснюється прогнозування для визначення структури споживання на деякий наступний період часу, враховуючи короткостроковий прогноз погоди, прогнози поведінки користувачів, зовнішні фактори, історичні дані та рейтинги системи.

На етапі планування розраховується оптимальний план для кожної години, де задані значення регульованих джерел коригуються для задоволення очікуваного попиту відповідно до профілів відновлюваних джерел енергії, вартості та ін.

Наступний етап – регулювання, полягає в тому, щоб активно збалансовувати попит і пропозицію шляхом управління коливаннями споживання енергії через погодні умови, вартість та ін., обираючи навантаження з вільним графіком та/або інтенсивністю таким чином, щоб не впливати на комфорт користувачів. Етап точного регулювання включає будь-яке необхідне щохвилинне балансування на основі вимог системи. Автори стверджують, що застосування таких етапів дозволить досягти найкращого використання ресурсів.

Підхід прескриптивного обслуговування (PsM) для проактивних будівель детально розглянуто у праці [13]. Такий підхід бере до уваги інформацію про потенційні умови або сценарії, наявні ресурси, продуктивність, рекомендує план дій, який оптимізує технічне обслуговування обладнання та може застосовуватись для прийняття рішень на будь-якому часовому горизонті. Технології машинного навчання (ML) та інтернету речей (IoT) дозволяють обробляти величезні обсяги доступних даних, а вже програмні рішення прескриптивного обслуговування

автоматично підлаштовуються під нові або додаткові дані практично миттєво після їх надходження.

В роботі запропоновано концепцію планово-попереджувального технічного обслуговування проактивних будинків, яка складається з трьох основних компонентів: сховища даних IoT, яке збирає всі дані пристроїв IoT в центральній базі даних, системи підтримки прийняття рішень, яка реалізує механізм профілактичного обслуговування, виявлення аномалій, діагностику несправностей і пропонує шляхи їх усунення та системи вилучення знань, яка обробляє інтерфейс користувача та пропонує такі функціональні можливості як моніторинг стану пристрою, опції для технічного обслуговування та його планування.

Ця робота опублікована у рамках проекту PRECEPT програми HORIZON 2020 [1]. Дуже важливим результатом дослідження стала концептуалізація теоретичної бази як інструменту PsM, що дозволяє розвивати та розбудовувати проактивність, експериментувати з реальними даними під час розроблення рішень для створення систем управління для проактивних будівель.

Слід підкреслити, що загальною метою вищезгаданого проекту PRECEPT стало створення базової основи для розгортання та експлуатації проактивних житлових будинків. Запропонована концепція запроваджує систему проактивного енергоменеджменту будівель, яка встановлюється на локальному рівні будівлі.

Передбачається, що запропонована система самоадаптується, самонавчається, управляється, контролюється, відновлюється та оптимізується, перетворюючи традиційні реактивні будівлі на проактивні, підвищуючи їх продуктивність (як енергоефективність, так і добробут мешканців), використовуючи відновлювані джерела енергії, накопичувачі, прогнози та тарифи на енергоносії. PRECEPT також націлений на розроблення цифрового представлення інтелектуальних

проактивних житлових будинків у режимі реального часу.

Результати досліджень. У рамках проекту PRECEPT запропоновано, розроблено та введено в дію систему енергоменеджменту житлового комплексу «Панорама» у м. Дніпро. Цей комплекс (рис. 1) складається з п'яти багатоповерхових будинків бізнес-класу висотою від 19 до 24 поверхів із загальною кількістю 1 008 одно-, дво- та трикімнатних квартир різного внутрішнього планування. Житловий комплекс «Панорама» також включає тривірневий підземний паркінг на 600 паркомісць, торговельні та офісні приміщення, дитячий центр, медичну клініку, SPA-центр, сауну, великий спортивний комплекс із басейном, ресторан та зону відпочинку.



Рис. 1. ЖК «Панорама»

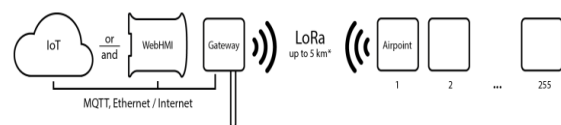


Рис. 2. Принципова схема системи енергоменеджменту

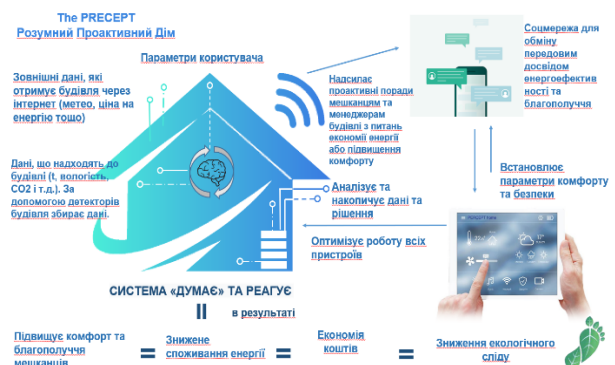


Рис. 3. Архітектура системи енергоменеджменту ЖК «Панорама»

Створена система енергоменеджменту житлового комплексу (рис. 2, 3, табл. 1) заснована на моніторингу параметрів клімату та якості повітря (температура, вологість, вміст CO₂) за допомогою автономних радіомодулів 7Bit Airpoint – модулів бездротового збору телеметрії, які передають дані по радіоканалу, із застосуванням технології LoRa.

Таблиця 1

Загальні характеристики основного обладнання

7Bit Airpoint	
Тип живлення	3 × елементи типу AAA та/або Micro USB (+5V)
Передавання даних	Радіоканал 868 MHz, 25 mw, LoRa, вбудована антена
Температура	Вбудований датчик, -25 +55 °C, точність 0,5 °C
Виносний датчик	DS18B20, Audio jack, -40 +125 °C, точність 0,5 °C
Вбудований датчик вологості	0–100 %, за вологості 20–80 % точність 3 %, у решті діапазону 5 %
Датчик CO ₂	400–8 000 ppm
Напрацювання до заміни батарей	До 60 000 пакетів
Періодичність надсилання пакетів	За замовчуванням: раз на 5 хвилин
Дальність зв'язку	На відкритій місцевості до 5 км ²
Виконання	Indoor, ступінь захисту IP 40
7Bit Airgate	
Тип живлення	PoE, Micro USB (+5V), 12–48 VDC
Тип підключення до мережі	Ethernet, Wi-Fi b/g/n, вбудована антена
Протокол	MQTT
Конфігурування	Web-інтерфейс
Кількість радіомодулів	до 255
Виконання	Indoor, ступінь захисту: IP 40, виносна антена 2dBi, SMA, 868 MHz

Загалом система складається з одного або декількох бездротових, автономних радіомодулів 7Bit Airpoint та шлюзу даних 7Bit Airgate, що приймає повідомлення по радіоканалу та передає їх у будь-яку систему верхнього рівня, наприклад, WebHMI, інша SCADA або хмарні IoT платформи, такі як: Amazon AWS, Microsoft Azure та ін., по локальній мережі або через

інтернет, з використанням протоколу MQTT.

Основна особливість такої концепції – тривала автономна робота модулів телеметрії (понад один рік, або близько 50 000 пакетів, від одного комплексу батарей), з можливістю передачі даних на відстань до кількох кілометрів на відкритій місцевості та до 1 000 метрів в умовах міської забудови.

Оснащення такими датчиками в будь-яких приміщеннях дає змогу отримати об'єктивну інформацію про роботу систем опалення, вентиляції та кондиціонування, правильно збалансувати їх роботу і, як наслідок, знизити експлуатаційні витрати, при цьому підвищивши рівень комфорту. Стандартними засобами промислової автоматики таке завдання, як правило, не виконується, через розміри цих об'єктів, відсутність необхідних комунікацій, небажання псувати оздоблення приміщень тощо.

У випадку з радіомодулями, розгортання такої системи займе всього кілька годин, при цьому датчики можна розташувати саме там, де потрібно, не порушуючи при цьому дизайнерські та інтер'єрні особливості приміщення. Застосування автономних радіомодулів дає змогу швидко та без зайвих витрат автоматизувати збір даних із приладів обліку, контролювати інженерні мережі: температуру подачі теплоносія, затоплення, роботу насосів, зникнення фаз тощо, контролювати доступ на горища і в підвали, мати віддалений доступ до цієї інформації, у т. ч. через різні хмарні сервіси, що корисно та зручно для своєчасної обробки даних системою управління і також може бути організоване в режимі реального часу.





У поєднанні з можливостями інтеграційного контролера WebHMI керувати всіма інженерними системами: насосами та клапанами водопостачання, котельнею, системою опалення, вентиляції, та кондиціонування, аварійними генераторами тощо, можна отримати комплексне рішення з автоматизації об'єкта.

Кількість квартир, які беруть участь у проєкті, – 10 (Корпус № 2: три квартири; Корпус № 4: чотири квартири; Корпус № 5: три квартири). Характеристика квартир та дані про їх PRECEPT модернізацію наведені





в таблиці 2; на рисунку 4 показано 3D-візуалізацію приміщень квартири після PRECEPT модернізації. Деякі результати поточного моніторингу квартири-учасниці проєкту приведені на рисунках 5–9.

Таблиця 2



Опис українського пілотного проєкту

	Короткий опис	Площа, м ²	(Розумні) пристрої та обладнання до проєкту PRECEPT	PRECEPT модернізація
1	2	3	4	5
Корпус № 2				
1	<p>Квартира розташована на 17 поверсі корпусу № 2 та складається з передпокою, кухні, вітальні, трьох спальень, ванної кімнати та підсобного приміщення. Кухня і вітальня прохідні.</p> 	126	<ol style="list-style-type: none"> 1. Тепловий насос для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Три мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у кухні-вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)
2	<p>Квартира розташована на третьому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, однієї спальні, ванної кімнати та підсобного приміщення.</p> 	70.6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Один мультисенсор у спальні (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (плита, холодильник, бойлер)
3	<p>Квартира розташована на п'ятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, однієї спальні, ванної кімнати та підсобного приміщення.</p> 	70,6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Один мультисенсор у спальні (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (плита, холодильник, бойлер)
Корпус № 4				
4	<p>Трирівнева квартира, розташована на 22–24-му поверхах, включає передпокій, вітальню, кухню, ванну кімнату, дві спальні та підсобне приміщення. Вітальня є прохідною кімнатою.</p> 	84,6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Два мультисенсори у спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор в кухні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)

Продовження таблиці 2

1	2	3	4	5
5	<p>Квартира розташована на п'ятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, двох спалень, ванної кімнати та підсобного приміщення.</p> 	71,8	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Два мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у кухні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)
6	<p>Квартира на п'ятому поверсі складається з передпокою, кухні, вітальні, двох спалень, двох ванних кімнат і підсобної кімнати. Кухня та вітальня – прохідні.</p> 	120,5	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Два мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у кухні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)
7	<p>Квартира розташована на двадцятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, двох спалень, ванної кімнати, гардеробної кімнати та підсобного приміщення. Кухня і вітальня прохідні.</p> 	120,6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Два мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мульти-сенсор у кухні-вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)
Корпус № 5				
8	<p>Квартира розташована на п'ятнадцятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, однієї спальні, ванної кімнати, гардеробної / підсобного приміщення. Кухня і вітальня – прохідні.</p> 	63,4	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Один мультисенсор у спальні (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у кухні-вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)

Закінчення таблиці 2

1	2	3	4	5
9	<p>Квартира знаходиться на чотирнадцятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні, двох спальень, двох ванних кімнат і підсобної кімнати. Кухня та вітальня – прохідні.</p> 	119,9	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Два мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор у кухні-вітальні (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)
10	<p>Квартира розташована на дванадцятому поверсі і складається з передпокою, кухні, вітальні та вітальні, трьох спальень, двох ванних кімнат і гардеробної кімнати. Кухня, вітальня і лаунж є прохідними приміщеннями.</p> 	120,6	<ol style="list-style-type: none"> 1. Централізований котел для опалення 2. Індивідуальний бойлер для гарячої води 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Проактивний пристрій з підтримкою периферії 2. Розумний лічильник споживання енергії 3. Розумний лічильник споживання тепла 4. Три мультисенсори в спальнях (температура t°, вологість) 5. Один мультисенсор на кухні-вітальні-лаунжі (температура t°, вологість, CO₂) 6. Три розумні розетки (холодильник, бойлер, плита)

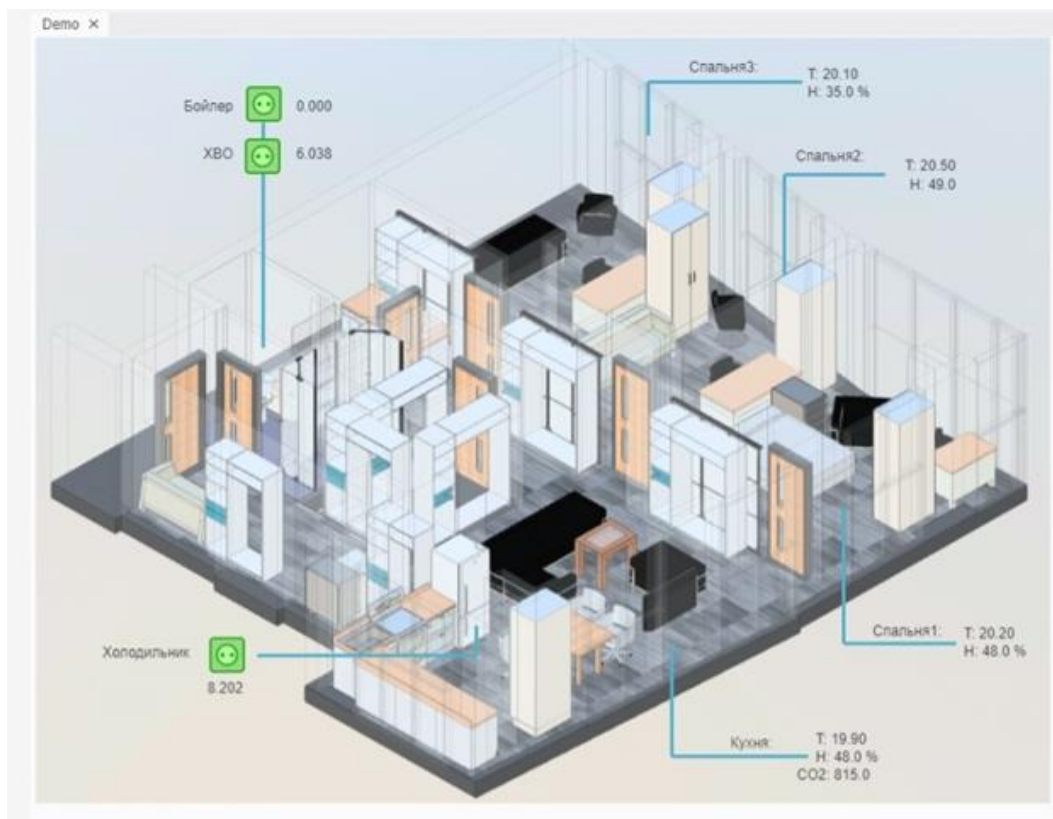


Рис. 4. 3D-візуалізація приміщень квартири після PRECEPT модернізації

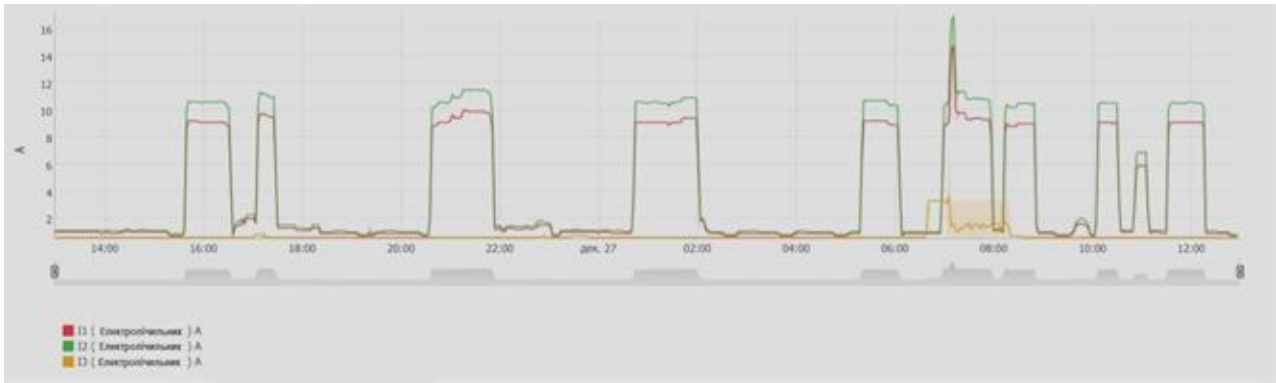


Рис. 5. Зміна потужності електричного струму споживання квартири-учасниці проекту



Рис. 6. Температура повітря в приміщеннях квартири-учасниці проекту

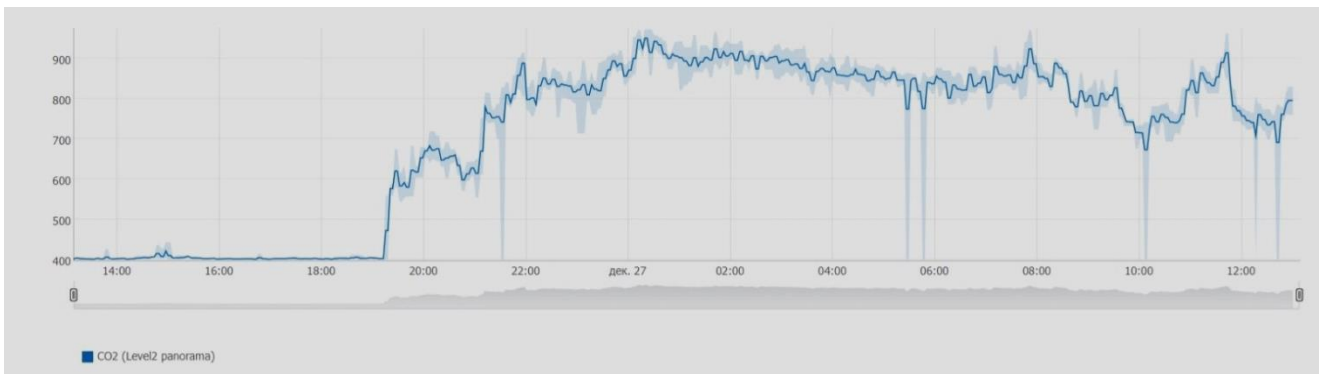


Рис. 7. Концентрація CO₂ в приміщенні квартири – участниці проекту



Рис. 8. Вологість у приміщенні квартири – участниці проекту

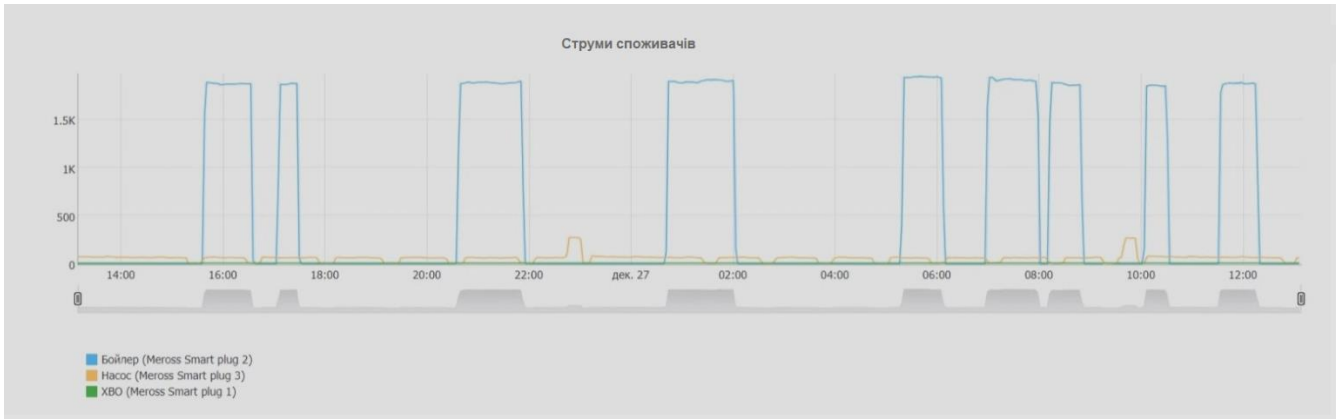


Рис. 9. Зміна потужності електричного струму споживання зі смарт-розеток квартири – учасниці проєкту

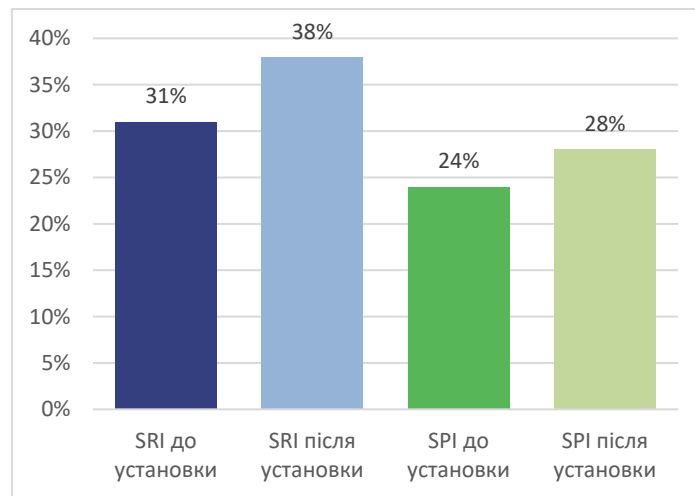


Рис. 10. Порівняння між SRI та SPI для Українського пілотного проєкту

Слід зазначити, що до встановлення рішень PRECEPT-модернізації індикатор розумної готовності SRI українського пілотного проєкту становив 31 %, а розумний проактивний індикатор SPI – 24 % (рис. 10). Після поліпшень SRI зріс до 38 %, а SPI до 28 %. Можна помітити, що оновлення в рамках проєкту PRECEPT позитивно впливають на показники розумної готовності та розумної проактивності.

Висновки

Запропонована система енергоменеджменту отримує та обробляє зовнішні дані стосовно вартості енергії,

метеоумов та інших параметрів, аналізує та накопичує дані, приймає необхідні рішення щодо енергоспоживання та надсилає результати споживачам та менеджерам будівлі з питань економії енергії або підвищення рівня комфорту.

Система «думає» та «реагує», встановлює параметри безпеки та комфорту, оптимізує роботу всіх пристроїв. Результатом використання такої системи стає не тільки підвищення комфорту мешканців, зниження споживання енергії та економія коштів, а й зменшення екологічного сліду, що, безумовно, дуже важливо для благополуччя у всьому світі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ / REFERENCES

1. PRECEPT. Less Energy > Smarter Buildings. URL: <https://www.precept-project.eu/>

2. Directive (EU) 2023/1791 of the European Parliament and of the Council of 13 September 2023 on energy efficiency and amending Regulation (EU) 2023/955. URL: <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/1791>
3. Molina M. G. Energy Storage and Power Electronics Technologies : A Strong Combination to Empower the Transformation to the Smart Grid. *Proceedings of the IEEE*. 2017. Vol. 105, № 11. Pp. 2191–2219. URL: <https://doi.org/10.1109/JPROC.2017.2702627>
4. Nair U. R., Costa-Castelló R. A. Model Predictive Control-Based Energy Management Scheme for Hybrid Storage System in Islanded Microgrids. *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. Pp. 97809–97822. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2996434>
5. Ahmad S., Shafiullah M., Ahmed C. B., Alowaifeer M. A Review of Microgrid Energy Management and Control Strategies. *IEEE Access*. 2023. Vol. 11. Pp. 21729–21757. URL: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3248511>.
6. Papageorgiou E., Groumpos P. An overview of energy management using fuzzy cognitive maps. *Journal Smart Environments and Green Computing*. 2023. № 3. Pp. 18–36. URL: <https://doi.org/10.20517/jsegc.2022.21>
7. Kolokotsa D., Diakaki C., Grigoroudis E., Stavrakakis G., Kalaitzakis K. Decision support methodologies on the energy efficiency and energy management in buildings. *Advances in Building Energy Research*. 2009. Vol. 3. Pp. 121–146. URL: <https://doi.org/10.3763/aber.2009.0305>
8. Mpelogianni V., Groumpos P. Using Fuzzy Control Methods for Increasing the Energy Efficiency of Buildings. *International Journal of Monitoring and Surveillance Technologies Research*. 2015. Vol. 3, iss. 4. Pp. 1–22. URL: <https://doi.org/10.4018/IJMSTR.2015100101>
9. Mpelogianni V., Giannousakis K., Kontouras E., Groumpos P., Tsiplanitis D. Proactive Building Energy Management Methods based on Fuzzy Logic and Expert Intelligence. *IFAC–PapersOnLine*. 2019. Vol. 52, iss. 25. Pp. 519–522. URL: <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2019.12.597>.
10. Todorović M. S., Ećim Djurić O., Matinović I., Ličina D. Renewable energy sources and energy efficiency for building's greening: From traditional village houses via high-rise residential building's BPS and RES powered co- and tri-generation towards net ZEBuildings and Cities. *IEEE 3rd International Symposium on Exploitation of Renewable Energy Sources*. 2011. Pp. 29–37. URL: <https://doi.org/10.1109/EXPRES.2011.5741812>
11. Gupta A., Saini R. P., Sharma M. P. Modelling of hybrid energy system. Part I : Problem formulation and model development. *Renewable Energy*. 2011. Vol. 36, iss. 2. Pp. 459–465. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2010.06.035>
12. Brooks A., Lu E., Reicher D., Spirakis C., Wehl. B. Demand dispatch: using real-time control of demand to help balance generation and load. *IEEE Power and Energy Magazine*. 2010. Vol. 8, iss. 3. Pp. 20–29. URL: <https://doi.org/10.1109/MPE.2010.936349>
13. Prodanovic M., Molina M. B. T., Gallo A., Gonzalez-Aguilar J. Proactive management for smart buildings resource management strategy. *SMARTGREENS 2013 : Proceedings of the 2nd International Conference on Smart Grids and Green IT Systems*. 2013. Pp. 165–170.
14. Koukaras P., Dimara A., Herrera S., Zangrando N., Krinidis S., Ioannidis D., Fraternali P., Tjortjis C., Anagnostopoulos C.-N., Tzovaras D. Proactive buildings : A prescriptive maintenance approach IFIP. *Advances in Information and Communication Technology Artificial Intelligence Applications and Innovations. AIAI 2022. IFIP WG 12.5 International Workshops. Springer International Publishing*. 2022. Pp. 289–300. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-08341-9_24

Надійшла до редакції: 11.02.2024.