

підходів[5] до управління міською інфраструктурою дозволить підвищити її рентабельність та забезпечити суттєве скорочення ресурсів на обслуговування системи.

Література

1. UNDP energy damage assessment for Ukraine reveals continued vulnerabilities trends – Режим доступу: https://www.undp.org/ukraine/press-releases/undp-energy-damage-assessment-ukraine-reveals-continued-vulnerabilities?utm_source=google.com
2. A Economic and Environmental Impact of Energy Efficient Design of Smart Lighting System – Режим доступу: https://www.researchgate.net/publication/370572813_Economic_and_Environmental_Impact_of_Energy_Efficient_Design_of_Smart_Lighting_System
3. Review of Distribution Network Phase Unbalance: Scale, Causes, Consequences, Solutions, and Future Research Direction – Режим доступу: https://purehost.bath.ac.uk/ws/portalfiles/portal/205775731/Review_of_distribution_network_phase_unbalance_Scale_causes_consequences_solutions_and_future_research_direction_accepted.pdf
4. Оробчук Б., Сисак І., Бабюк С. Розробка системи освітлення для навчальної лабораторії на базі WI-FI контролера // Інноваційні технології в світлотехніці та електроенергетиці. Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. - 2024 р. - С. 87-88
5. B. Orobchuk, I. Sysak, S. Babiuk. Intellectual system of street lighting control in a city // VI International Conference of Students, PhD Students and Young Scientists «Engineer of XXI Century»: Inzynier XXI Wieku Projektujemy Przyszlosc. - Wydawnictwo Naukowe Akademii Techniczno-Humanistycznej w Bielsku-Bialej, December 2016, pp. 825-832

УДК 621.311.1:681.5:004.912

Микитишин А.Г., к.т.н., доц., Максимів Д.Р., Федчак В.І.

(Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, Україна)

ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІ ПЛАТФОРМИ ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ БУДІВЕЛЬ: КОНЦЕПЦІЯ ТА РЕЗУЛЬТАТИ ВПРОВАДЖЕННЯ BENEFIT

Mykytyshyn A.G., Ph.D., Assoc. Prof., Maksymiv D.R., Fedchak V. I.

INTELLIGENT ENERGY MANAGEMENT PLATFORMS AS A TOOL FOR IMPROVING THE ENERGY EFFICIENCY OF BUILDINGS: CONCEPT AND RESULTS OF BENEFIT IMPLEMENTATION

Питання енергоефективності будівель є одним із ключових елементів сучасної європейської політики, спрямованої на зменшення викидів парникових газів, оптимізацію енерговитрат і підвищення стійкості інфраструктур. У країнах ЄС саме будівлі споживають близько 40 % загального обсягу енергії, а близько 36 % викидів CO₂ пов'язані з їх опаленням та експлуатацією [1]

Ураховуючи той факт, що більшість будівель була зведена до 2000 року, коли вимоги до теплоізоляції, автоматизації та енергоконтролю були значно нижчими, проблема модернізації стає стратегічно важливою. Економічні, екологічні та соціальні

фактори підсилюють актуальність пошуку нових технологічних рішень, здатних забезпечити ефективне управління енергоспоживанням.

Одним із напрямів, що стрімко розвивається, є використання інтелектуальних систем енергоменеджменту (Smart Building Energy Management Systems — SBEMS). Такі системи поєднують цифрові сенсори, інтернет речей (IoT), смарт-лічильники, засоби автоматизації, обчислювальні моделі та аналітичні алгоритми. Вони дозволяють будівлям реагувати на поточні умови в режимі реального часу, а також прогнозувати майбутні зміни в навантаженні, погоді, рівні зайнятості приміщень та інших зовнішніх факторах. На відміну від традиційних систем керування, що працюють за статичними планами, SBEMS володіють адаптивністю, що дає можливість економити ресурси, зменшувати пікові навантаження та підвищувати комфорт користувачів [2], [3].

Інтелектуальні системи управління енергоспоживанням базуються на поєднанні кількох ключових принципів. Насамперед йдеться про глибокий моніторинг параметрів, таких як температура, вологість, рівень освітлення, споживання теплової та електричної енергії. Важливо, що джерела даних є розподіленими та здатними взаємодіяти між собою через бездротові протоколи — ZigBee, LoRaWAN, GSM/GPRS, Wi-Fi чи технологію 6LoWPAN, яка відкриває шлях до впровадження IPv6 у сенсорних мережах [1].

Ці дані збираються в єдиному аналітичному модулі, де обробляються за допомогою алгоритмів прогнозування, статистичного аналізу та математичного моделювання. Саме аналітична складова перетворює платформу з «реєстратора подій» на «інтелектуального оператора», здатного генерувати рекомендації, попередження та оптимальні сценарії роботи обладнання.

У цьому контексті платформа BENEFIT (Building Energy Efficiency in Totality) є одним із найбільш показових прикладів сучасних SBEMS. Будучи розробленою для комплексного керування енергоспоживанням у будівлях різних типів — навчальних, адміністративних, лабораторних чи житлових — вона поєднує відкриту архітектуру, гнучку інфраструктуру збору даних та розширені засоби аналітики [1].

Її побудовано за трирівневою моделлю: рівень фізичних пристроїв включає датчики, лічильники та виконавчі блоки; комунікаційний рівень забезпечує зв'язок між елементами мережі, а серверний рівень відповідає за аналіз даних, візуалізацію та формування рішень. Завдяки цьому платформа здатна інтегрувати широкий спектр обладнання та адаптуватися під потреби конкретної будівлі.

Особливу увагу розробники BENEFIT приділили питанням кібербезпеки. Для багатьох систем енергоменеджменту цей аспект часто залишається «слабким місцем», що дозволяє потенційні втручання у критичні процеси. На противагу цьому BENEFIT використовує унікальні MAC-ідентифікатори всіх пристроїв та апаратне шифрування AES-128, що суттєво підвищує захищеність мережі від атак і несанкціонованого доступу [1]. Завдяки цьому система набуває стійкості до зовнішніх впливів та забезпечує цілісність даних у процесах моніторингу та керування.

Одним із ключових елементів платформи є можливість моделювання енергетичних процесів. Завдяки інтеграції з DesignBuilder здійснюється не лише аналіз історичних даних, а й прогнозування майбутнього енергоспоживання на основі фізичних моделей теплових процесів. Це дозволяє оцінювати теплові втрати будівлі, моделювати сценарії роботи вентиляційних та опалювальних систем, прогнозувати комфортні умови та визначати найбільш енергоефективні стратегії модернізації. Для прийняття рішень такий інструмент є надзвичайно важливим, оскільки дозволяє порівняти вплив різних заходів ще до їх реалізації — від заміни вікон до встановлення сонячних панелей [4].

Результати впровадження BENEFIT у будівлі технічного університету свідчать про її ефективність у реальних експлуатаційних умовах. Протягом року було зібрано повний масив даних щодо внутрішніх та зовнішніх температур, показників споживання тепла та електроенергії, режимів роботи систем освітлення та вентиляції. На основі цих даних платформа виявила, що заміна традиційних вікон на скління з низьким коефіцієнтом емісії дозволила скоротити річну витрату енергії на 8.33 %. Додатковий перехід на LED-освітлення збільшив загальний ефект до 12.14 % [1]

Більш детальний аналіз продемонстрував, що найпотужніший ефект досягався саме в зимовий період, що є логічним з огляду на інтенсивне використання систем опалення. Фактичні дані також підтвердили значне зниження пікових теплових навантажень у періоди різких температурних змін.

З огляду на отримані результати стає зрозуміло, що інтелектуальні платформи енергоменеджменту можуть відігравати вирішальну роль у формуванні стратегії модернізації будівель. Вони не лише забезпечують безперервний контроль параметрів, але й дозволяють переосмислити саму логіку управління енергією. Цифрова система здатна вчасно визначати відхилення, прогнозувати ризики, адаптувати режими роботи обладнання та пропонувати найбільш раціональні рішення. У сукупності це створює основу для розвитку «розумних», екологічних і економічно ефективних будівель, що відповідають вимогам сучасної енергетичної політики.

Отже, платформа BENEFIT демонструє, що поєднання IoT-технологій, хмарних сервісів, математичного моделювання та інтелектуальних механізмів керування створює новий рівень ефективності в управлінні енергетичними процесами. Завдяки комплексному підходу, високому рівню безпеки та можливості адаптації її можна розглядати як перспективний інструмент для розвитку енергоефективних та стійких інфраструктур, що відповідають концепції «нульового» або навіть позитивного енергобалансу.

Література

1. Aradoaei, M., Ciobanu, R.-C., Schreiner, C. M., Grigoras, G., Livadariu, R.-P. BENEFIT: An Energy Management Platform for Smart and Energy Efficient Buildings. *Energies*, 18(4542), 2025.
2. Suci, G. et al. Building energy consumption monitoring and analytics. *Journal of Cleaner Production*, 2019.
3. Chatzikonstantinidis, A. et al. Digital Twins in smart building energy forecasting. *Energy and Buildings*, 2025.
4. Revati, T. et al. Data-driven load prediction for commercial buildings. *Energy Reports*, 2021.
5. Piras, A. et al. IoT-based decision support for smart building energy management. *Sustainable Cities and Society*, 2025.