УДК 004:89

РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНОЇ СИСТЕМИ ДЛЯ ОЦІНЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЇ ВИКОРИСТАННЯ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Пейчев І.О.[1]; Шибаєв Д.С.[2]
[1]Міжрегіональна академія управління персоналом
[2]Приватний фаховий навчальний заклад Одеський коледж комп'ютерних технологій та дизайну «Сервер»
[1]Україна, Київ; [2]Україна, Одеса
shybaiev.ds@server.odessa.ua

Анотація. *У статті розглянуто актуальну проблему раціонального використання електроенергії в умовах цифрової трансформації енергетичного сектору. Запропоновано концепцію створення інформаційно-аналітичної системи, яка поєднує інтелектуальні алгоритми моніторингу, прогнозування та оптимізації споживання електроенергії на основі даних зі смарт-лічильників і сенсорних мереж. Сформовано архітектуру цільового рішення, визначено його аналітичні модулі та алгоритмічну основу для підвищення енергоефективності об'єктів різного типу.*

Ключові слова: *енергомоніторинг; аналітична система; електроспоживання; оптимізація; прогнозування.*

Вступна частина. Питання раціонального використання електроенергії є однією з ключових проблем сучасної енергетики. Зростання навантажень на енергомережі, коливання тарифів і необхідність переходу до відновлюваних джерел енергії зумовлюють потребу у створенні інтелектуальних систем, що дозволяють здійснювати точний моніторинг, аналітику та прогнозування споживання. Водночас значна частина електроенергії втрачається через неефективне керування навантаженнями, застаріле обладнання, відсутність зворотного зв'язку між користувачем і постачальником [1,2].

Цифровізація енергетичного сектору, впровадження смарт-мереж і розумних лічильників створюють умови для глибокої автоматизації процесів збору та аналізу енергетичних даних. Проте наявні програмні рішення здебільшого орієнтовані лише на облік споживання, а не на його оптимізацію. Вони не забезпечують інтелектуальної аналітики, не враховують поведінкових моделей користувачів та не здатні адаптуватися до змін у структурі енергоспоживання [3].

Тому розробка інформаційно-аналітичної системи для оцінювання й оптимізації використання електроенергії має на меті створення інструменту, який дозволяє інтегрувати дані з різних джерел, аналізувати ефективність використання ресурсів, прогнозувати навантаження та рекомендувати заходи з енергозбереження. Це завдання поєднує інформатику, енергетичний менеджмент і штучний інтелект, створюючи міждисциплінарне наукове підґрунтя [4].

Метою дослідження є розробка концепції, архітектури та алгоритмічної основи інформаційно-аналітичної системи, яка забезпечує автоматизоване оцінювання, прогнозування та оптимізацію споживання електроенергії з використанням методів машинного навчання, статистичного аналізу та багатокритеріальної оптимізації.

Основна частина. Для досягнення мети необхідно створити програмно-аналітичне середовище, здатне інтегрувати дані з сенсорних пристроїв і смарт-лічильників, оцінювати поточні показники споживання, виявляти аномалії, формувати прогнозні моделі навантаження й надавати рекомендації щодо зменшення енергетичних витрат.

Згідно з дослідженнями Міжнародного енергетичного агентства, до 40 % електроенергії у світі споживається будівельним сектором, ще близько 25 % припадає на промисловість. При цьому значна частка енергії використовується нераціонально через неузгоджені графіки

роботи обладнання, втрати під час передавання, неефективне освітлення та недостатній контроль за піковими навантаженнями. Традиційні методи обліку споживання надають лише сумарні дані, що не дозволяє визначати енергетичну ефективність окремих пристроїв чи процесів. Водночас сучасні інформаційні технології дають змогу збирати показники в режимі реального часу та застосовувати аналітичні алгоритми для визначення тенденцій і аномалій.

Наукова новизна розробки полягає у створенні системи, що здатна об'єднувати дані з різних рівнів енергоспоживання — від окремих приладів до цілих будівель або підприємств — та застосовувати алгоритми інтелектуального аналізу для виявлення неефективних зон і моделювання сценаріїв енергозбереження. Інформаційно-аналітична система проєктується як модульна платформа, що об'єднує підсистеми збору даних, обробки, аналітики, прогнозування та візуалізації. В основі архітектури лежить принцип IoT-агрегації, коли дані з численних сенсорів і лічильників об'єднуються у єдиному сховищі для подальшого аналізу.

На першому етапі дані збираються через API смарт-лічильників або мережеві протоколи (MQTT, Modbus, OPC UA). Кожен запис містить часову мітку, показники напруги, струму, потужності, коефіцієнт потужності, а також температурні й навантажувальні параметри. Дані зберігаються в базі типу Time Series Database (InfluxDB або TimescaleDB), що забезпечує ефективну роботу з часовими рядами. Далі відбувається попередня обробка даних: фільтрація шумів, усереднення показників, нормалізація та перетворення Фур'є для виявлення періодичних компонентів. Алгоритми статистичного аналізу визначають середні, мінімальні та пікові значення споживання за інтервалами часу.

Основним аналітичним модулем системи є енергетичний інтелектуальний блок, який реалізує методи машинного навчання для прогнозування та оптимізації. Для прогнозування добових і тижневих навантажень застосовується модель Long Short-Term Memory (LSTM), що ефективно обробляє часові ряди з нелінійною динамікою. На основі історичних даних модель формує прогнози споживання з урахуванням сезонних коливань, погодних факторів і виробничих графіків. Для виявлення аномалій використовуються методи кластерного аналізу (k-means, DBSCAN) та метод головних компонент (PCA). Це дозволяє ідентифікувати нетипові патерни енергоспоживання, наприклад надмірне навантаження вночі або неочікувані сплески потужності. Оптимізаційний модуль застосовує принцип багатокритеріальної оптимізації, де цільова функція враховує енергоспоживання, вартість і втрати. Для цього використовується алгоритм градієнтного спуску або генетичний алгоритм, який знаходить оптимальні графіки роботи пристроїв, мінімізуючи пікові навантаження.

Система також має компонент енергетичного рейтингування, який оцінює ефективність кожного приладу або зони будівлі. Рейтинг розраховується за співвідношенням корисної роботи до витраченої енергії з урахуванням нормативів. Це дає змогу визначати пріоритетні напрями модернізації чи заміни обладнання. На рівні візуалізації передбачено інтерактивну панель керування, створену на базі React або Angular, де користувач може переглядати графіки споживання, прогнози, аномалії та рекомендації системи. Додатково реалізується можливість експорту аналітичних звітів у форматах PDF або CSV для енергетичних аудиторів.

Архітектура системи реалізується за принципом мікросервісного підходу, що забезпечує незалежність модулів і масштабованість. Взаємодія компонентів здійснюється через REST API. Безпека даних гарантується шифруванням трафіку (TLS) і системою автентифікації користувачів за токенами.

Практичне впровадження системи дозволяє вирішити конкретні задачі енергоменеджменту. На прикладі адміністративної будівлі система забезпечує щохвилинний моніторинг споживання, формує графіки навантаження та генерує рекомендації щодо оптимізації, наприклад зміщення роботи кондиціонерів на нічний період.

Для аналітичного оцінювання енергоефективності застосовується метод кореляційного аналізу, який визначає взаємозв'язки між споживанням електроенергії та зовнішніми факторами — температурою, часом доби, типом діяльності. Наприклад, система виявляє, що при певній температурі зовнішнього середовища витрати на охолодження різко зростають, і рекомендує регулювання режимів вентиляції.

З метою прогнозування місячних витрат використовується регресійна модель з ковзним вікном, що адаптивно оновлює параметри на основі останніх даних. Точність прогнозів перевіряється за допомогою метрик MAE та RMSE, що дозволяє оцінити ефективність алгоритмів.

В аналітичній частині також реалізується механізм оцінки впливу заходів з енергоефективності. Система порівнює базовий сценарій споживання з оптимізованим, визначаючи економію електроенергії у відсотках. Таке рішення може використовуватись у муніципальному управлінні або промисловості для обґрунтування енергоаудитів.

Логіко-наукова частина

Алгоритмічна логіка системи базується на концепції енергетичного циклу даних, який охоплює етапи спостереження, аналізу, моделювання та дії. На етапі спостереження збираються показники з об'єктів у реальному часі. Етап аналізу передбачає статистичне обчислення й кластеризацію даних. Моделювання реалізується через прогнозування за допомогою LSTM, а етап дії включає рекомендації з оптимізації, сформовані на основі багатокритеріальної функції.

Такий підхід відповідає принципам системного аналізу, коли кожен компонент виконує певну функцію в загальному контурі енергетичного управління. Інтелектуальний рівень системи реалізує адаптацію до змінних умов, що робить її придатною як для промислових підприємств, так і для житлових будівель.

Висновки. Розроблена концепція інформаційно-аналітичної системи для оцінювання та оптимізації використання електроенергії є сучасним інструментом управління енергоспоживанням. Її особливість полягає у поєднанні методів машинного навчання, статистичного аналізу та аналітики часових рядів для прийняття обґрунтованих рішень щодо енергоефективності.

Система здатна автоматизувати збір і обробку енергетичних даних, здійснювати прогнозування навантаження, виявляти аномалії та надавати рекомендації з оптимізації споживання. Її впровадження дозволяє зменшити витрати, стабілізувати енергетичні процеси й підвищити надійність енергопостачання.

Отримані результати свідчать про практичну значущість проєкту, який може бути використаний у сфері енергоменеджменту, промислової автоматизації та муніципального управління. У подальших дослідженнях планується розширити систему механізмами оцінки вуглецевого сліду та інтеграції з відновлюваними джерелами енергії.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

[1] Boychuk, M. (2022). *Data-driven energy management systems*. Springer.
[2] Gielen, D., & Boshell, F. (2020). *The role of renewables in energy efficiency*. IRENA Report.
[3] International Energy Agency. (2023). *Energy efficiency 2023: Analysis and outlooks to 2030*. Paris, France.
[4] Zhang, G., & Eddy, P. (2021). Forecasting electricity consumption with LSTM neural networks. *Energy Reports.*

Peychev I.O.[1], Shibaev D.S.[2]

Development of an information and analytical system for assessment and optimization of electricity use

Abstract. *The paper addresses the issue of rational electricity consumption in the context of the digital transformation of the energy sector. A concept of an information-analytical system is proposed, integrating intelligent algorithms for monitoring, forecasting, and optimizing electricity usage based on data from smart meters and sensor networks. The architecture, analytical modules, and algorithmic foundation of the system aimed at improving energy efficiency across various facilities are presented.*

Keywords: *energy monitoring; analytical system; electricity consumption; optimization; forecasting.*