

РЕФЕРАТ

Актуальність теми

Енергоефективність будівель має велике економічне, екологічне та соціальне значення. Це пов'язано з наявністю великої кількості старих будівель, постійним зростанням цін на енергоресурси, потребою знизити забруднення навколишнього середовища та одночасно забезпечити комфортне і безпечне життя людей.

Розвиток технологій інтернету речей відкриває нові підходи до управління енергоспоживанням будівель: інтелектуальні системи спроможні автономно моніторити та управляти енергоспоживанням у реальному часі, оптимізувати роботу опалення, вентиляції, кондиціонування, освітлення тощо, і, як наслідок, зменшувати пікові навантаження в енергомережі, економити енерговитрати, підвищувати комфорт людей і навіть продуктивність праці. Крім того, з'являється можливість збирати та аналізувати дані для виявлення тенденцій та закономірностей, створення сценаріїв енергоспоживання.

Існуючі в сфері технологій інтернету речей рішення для підвищення енергоефективності будівель можна поділити на три групи: прості розумні енергозберігаючі пристрої, енергомонітори та складні системи управління розумним будинком. Кожна з цих груп має свої недоліки. Прості розумні пристрої є доступними, але націлені лише на один напрямок енергоспоживання і не реалізують моніторинг мікроклімату та енерговитрат. Енергомонітори виконують лише функції контролю за енергоспоживанням і теж не здійснюють моніторинг якості мікроклімату. Комплексні системи розумного будинку хоч і мають широкий функціонал, однак їх придбання, інтеграція та експлуатація коштують занадто дорого. Крім того, частина їх функціоналу часто виявляється надлишковою, а складний інтерфейс вимагає від користувача технічної обізнаності. Таким чином, для споживачів із помірними статками витрати на таку систему значно перевищують потенційну економію на енергетичних ресурсах, а отже стають невиправданими. Перелічені недоліки показують необхідність розробки рішень з повноцінним функціоналом та водночас більш доступних широкому колу споживачів.

Мета роботи

Створення доступної широкому колу споживачів ефективної IoT-системи моніторингу та управління енергоспоживанням у приміщенні з повноцінним аналітичним функціоналом, що поєднуватиме моніторинг енергоспоживання з відстеженням параметрів якості внутрішнього середовища для підтримки оптимального балансу між економією енергії та комфортом, і матиме простий, інтуїтивно зрозумілий інтерфейс.

Для досягнення поставленої мети вирішуються такі задачі:

- визначення проблеми енергоефективності будівель та поняття «розумного» енергоспоживання;
- порівняльний аналіз існуючих пристроїв та систем інтернету речей, спрямованих на підвищення енергоефективності будівель, з метою виявлення недоліків та напрямів їх подальшого вдосконалення;
- визначення вимог до системи розумного енергоспоживання;
- розробка архітектури системи інтернету речей для моніторингу та управління енергоспоживанням;
- проектування структурної та функціональної схем системи;
- створення прототипу системи;
- розробка серверної та клієнтської частин програмного забезпечення;
- тестування роботи системи.

Об'єкт дослідження – процеси моніторингу та управління енергоефективністю будівель.

Предмет дослідження – програмно-апаратні засоби та методи побудови системи моніторингу та управління енергоспоживанням з використанням технологій інтернету речей.

Методи дослідження

У роботі використовуються порівняльний аналіз, систематизація, аналогово-цифрове вимірювання електричних параметрів із фазовою корекцією, методи визначення показників мікроклімату (фотометричне, радіолокаційне, терморезистивне та інфрачервоне абсорбційне вимірювання), методи

моделювання, програмування, статистичного аналізу та візуалізації отриманих результатів.

Наукова новизна

Запропоновано структурну організацію системи моніторингу та управління енергоспоживанням, яка перевершує існуючі рішення тим, що поєднує такі переваги 4-рівневої архітектури, як низька вартість, простота розгортання та використання, з розширеними можливостями, які включають не лише моніторинг енергоспоживання, але й відслідковування параметрів якості внутрішнього середовища, зберігання великого обсягу статистичних даних без використання зовнішніх серверів, можливість заміни та калібрування датчиків, аналітичний функціонал та можливість налаштування сценаріїв використання електроприладів.

Практична цінність

Розроблено ефективну систему моніторингу та управління енергоспоживанням, яка спроможна збирати та зберігати у локальному сховищі дані про споживання електроенергії, параметри електромережі та якості внутрішнього середовища, автономно керувати навантаженням на основі визначених користувачем сценаріїв, представляти аналітику по зібраним даним у зручному форматі за допомогою веб-інтерфейсу для прийняття рішень щодо оптимізації енергоспоживання. Низька вартість впровадження та експлуатації системи робить її доступною широкому колу споживачів, а її використання у приміщеннях різного призначення підвищить їх енергоефективність.

Апробація результатів дисертації

Основні положення та результати роботи були представлені та обговорені на двох наукових конференціях, а саме: XVIII науковій конференції магістрантів та аспірантів «Прикладна математика та комп'ютинг» ПМК-2025 (Київ, 19-21 листопада 2025 р.) та V міжнародної наукової конференції «Інноваційна наука: пошук відповідей на виклики сучасності» (Кривий Ріг, 21 листопада 2025 р.).

Публікації

Основні результати досліджень викладені в 2 тезах доповідей у збірниках тез доповідей конференцій: Романкевич О. М., Орел І. В. Система моніторингу та управління енергоспоживанням в приміщенні на основі технологій інтернету речей. *Прикладна математика та комп'ютинг ПМК 2025* : збірник тез доповідей XVIII наукової конференції магістрантів та аспірантів, 19-21 лист. 2025 р. Київ : КПІ, 2025. С. 280-284; та Романкевич О. М., Орел І. В. Архітектура IoT-системи розумного енергоспоживання. *Інноваційна наука: пошук відповідей на виклики сучасності* : збірник з матеріалами V міжнародної наукової конференції, 21 лист. 2025 р. Кривий Ріг : ГО «Міжнародний центр наукових досліджень», 2025. С. 303-306.

Структура та обсяг роботи

Магістерська дисертація складається з вступу, трьох розділів, висновків по кожному розділу та загальних висновків по роботі в цілому, списку використаних літературних джерел (69 найменування). Повний обсяг дисертації – 152 сторінки, у тому числі 108 сторінок основного тексту, 52 рисунків, 8 таблиць.

Ключові слова

енергоефективність, інтернет речей, моніторинг, HVAC, освітлення, IEQ, BMS, ESP32, C++, JavaScript, SQLite3.

ABSTRACT

Relevance of the topic

Energy efficiency of buildings is of great economic, environmental and social importance. This is due to the presence of a large number of old buildings, the constant increase in energy prices, the need to reduce environmental pollution and at the same time ensure a comfortable and safe life for people.

The development of Internet of Things technologies opens up new approaches to managing energy consumption in buildings: intelligent systems are able to autonomously monitor and manage energy consumption in real time, optimize the operation of heating, ventilation, air conditioning, lighting, etc., and, as a result, reduce peak loads in the power grid, save energy costs, increase people's comfort and even labor productivity. In addition, it becomes possible to collect and analyze data to identify trends and patterns, and create energy consumption scenarios.

Existing solutions in the field of Internet of Things technologies for increasing the energy efficiency of buildings can be divided into three groups: simple smart energy-saving devices, energy monitors and complex smart home management systems. Each of these groups has its own drawbacks. Simple smart devices are affordable, but they are aimed at only one direction of energy consumption and do not implement monitoring of the microclimate and energy costs. Energy monitors perform only the functions of controlling energy consumption and also do not monitor the quality of the microclimate. Although complex smart home systems have wide functionality, their acquisition, integration and operation are too expensive. In addition, some of their functionality often turns out to be redundant, and the complex interface requires technical knowledge from the user. Thus, for consumers with moderate wealth, the costs of such a system significantly exceed the potential savings on energy resources, and therefore become unjustified. The listed shortcomings show the need to develop solutions with full functionality and at the same time more accessible to a wide range of consumers.

The purpose of the work

Creating an effective IoT system for monitoring and managing indoor energy consumption with full analytical functionality, accessible to a wide range of consumers, that will combine energy consumption monitoring with tracking of indoor environment quality parameters to maintain the optimal balance between energy savings and comfort, and will have a simple, intuitive interface.

To achieve the set goal, the following tasks are solved:

- defining the problem of energy efficiency of buildings and the concept of “smart” energy consumption;
- analysis of existing IoT devices and systems aimed at increasing the energy efficiency of buildings in order to identify shortcomings and areas for their further improvement;
- determining requirements for a smart energy system;
- development of an Internet of Things system architecture for monitoring and managing energy consumption;
- designing structural and functional schemes of the system;
- creating a system prototype;
- development of server and client parts of the software;
- testing the system operation.

The object of the research is the processes of monitoring and managing the energy efficiency of buildings.

The subject of the research is software, hardware and methods for building an energy consumption monitoring and management system using Internet of Things technologies.

Research methods

The work uses comparative analysis, systematization, analog-digital measurement of electrical parameters with phase correction, methods for determining microclimate indicators (photometric, radar, thermoresistive and infrared absorption measurements), methods of modeling, programming, statistical analysis and visualization of the obtained results.

Scientific novelty

A structural organization of an energy monitoring and management system is proposed, which surpasses existing solutions in that it combines the advantages of a 4-tier architecture, such as low cost, ease of deployment and use, with advanced capabilities that include not only energy monitoring, but also tracking of internal environment quality parameters, storing a large amount of statistical data without using external servers, the ability to replace and calibrate sensors, analytical functionality, and the ability to configure scenarios for using electrical appliances.

Practical value

An effective energy monitoring and management system has been developed that is capable of collecting and storing data on electricity consumption, power grid parameters, and indoor environment quality in a local storage, autonomously managing the load based on user-defined scenarios, and presenting analytics on the collected data in a convenient format using a web-interface for making decisions on optimizing energy consumption. The low cost of implementing and operating the system makes it accessible to a wide range of consumers, and its use in premises for various purposes will increase their energy efficiency.

Approbation of dissertation results

The main provisions and results of the work were presented and discussed at two scientific conferences, namely: XV III Scientific Conference of master's and postgraduate students "Applied Mathematics and Computing" PMK-2025 (Kyiv, November 19-21, 2025) and V international scientific conference "Innovative Science: Searching for Answers to Modern Challenges" (Kryvyi Rih, November 21, 2025).

Publications

The main results of the research are presented in 2 theses of reports in the collections of theses of conference reports: Romankevych O. M., Orel I. V. Indoor energy consumption monitoring and management system based on Internet of Things technologies. *Applied Mathematics and Computing PMK 2025* : collection of theses of reports of the XVIII scientific conference of master's and postgraduate students,

November 19-21, 2025 Kyiv: KPI, 2025. P. 280-284; and Romankevych O. M., Orel I. V. Architecture of IoT-systems of smart energy consumption. *Innovative science: Searching for Answers to Modern Challenges* : collection of materials of the V international scientific conference, November 21, 2025. Kryvyi Rih: PO "International Center for Scientific Research", 2025. P. 303-306.

Structure and scope of work

The master's thesis consists of an introduction, three chapters, conclusions for each chapter and general conclusions for the work as a whole, a list of used literary sources (69 titles). The full volume of the thesis is 152 pages, including 108 pages of the main text, 52 figures, 8 tables.

Keywords

energy efficiency, Internet of Things, monitoring, HVAC, lighting, IEQ, BMS, ESP 32, C ++, JavaScript, SQLite 3.