

## АНОТАЦІЯ

*Кращенко Д.В.* Методика побудови автоматизованої системи управління інтелектуальною будівлею на базі методів стохастичної оптимізації. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії в галузі знань 12 - Інформаційні технології за спеціальністю 123 – Комп'ютерна інженерія. – Державний університет телекомунікацій. – Київ, 2022.

Дисертаційна робота присвячена розробці методики побудови автоматизованої системи управління інтелектуальною будівлею на базі методів стохастичної оптимізації.

На сучасному етапі розвитку науки та техніки є можливість створення нової методики, яка визначить основні принципи побудови АСУІБ на основі використання однорідних та неоднорідних безпроводових сенсорних мереж (WSN), комп'ютерних моделей для розробки методів і засобів покращення енергоефективності АСУІБ. Саме ці обставини стають фундаментом для написання цієї роботи та фундаментом проведення зазначеного вище дослідження в цілому.

У вступі наведено загальну характеристику роботи, обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та задачі досліджень, показано наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, відзначено особистий внесок автора, наведено дані про апробацію та практичне впровадження, наявні публікації та структуру роботи.

В першому розділі роботи, на основі опрацьованих літературних джерел, проведено аналіз вимог до систем управління для підвищення ефективності їх функціонування. Зокрема проведено: аналіз існуючих структур систем управління та характеристик їх основних компонентів. Описані режими керування систем АСУІБ та існуючі методи розробки таких систем, як у вигляді класичного моделювання так і у вигляді ВІМ – моделей. У прикінцевій частині першого

розділу, враховуючи проведений аналіз та виявлені проблеми Системи, сформовано цілі та завдання роботи, а саме:

- вирішити задачу розгортання та критичності для WSN у складі АСУІБ;
- розробити математичну модель WSN, яка на самих ранніх стадіях проектування враховує якісні показники, що впливають на ефективність роботи АСУІБ;
- розробити модель менеджера ресурсів АСУІБ для тестової реалізації.

В другому розділі запропоновано рішення задач щодо розгортання неоднорідної мережі сенсорних вузлів (WSN) та опрацювання критичних вузлів у однорідних WSN. В рамках розділу створено математичну модель розміщення вузлів у мережі та з введено поняття «кластеризації». Застосування розробленої моделі вирішує задачу розгортання. Далі запропоновано метод «вибіркової процедури адаптивного пошуку» та введено поняття «функцій оцінки критичності вузла WSN». Для оцінки критичності вузла встановлено параметри «затримки передачі» та «тривалості життя». Застосування розробленого методу та нових параметрів оцінки було вирішено задачу опрацювання критичних вузлів. В прикінцевій частині розділу наведено результати досліджень набору моделей мережі за введеними раніше параметрами «затримки передачі» та «тривалості життя».

В третьому розділі роботи запропоновано модель створення менеджера ресурсів АСУІБ з введенням поняття порогу прогнозування. Використовуючи розроблений менеджер ресурсів виконано три моделювання АСУІБ, які відрізняються типами будівлі, кількістю та характером поведінки мешканців. Результати, отримані під час моделювань, підтверджують ефективність розробленої моделі. Окремим пунктом третього розділу роботи є практична реалізація АСУІБ у вигляді дослідницького стенду. Така реалізація дозволила закріпити отримані теоретичні результати дослідження та надала роботі практичного значення що підтверджує акт про реалізацію наукових досліджень, наведений у Додатку Б.

В заключній частині роботи наведено загальні висновки щодо вирішення поставлених, у рамках дисертаційного дослідження, задач та список використаних, під час виконання роботи, наукових джерел.

Для досягнення мети дисертаційної роботи, а саме розробки методики побудови автоматизованої системи управління інтелектуальною будівлею, були вирішені наступні завдання:

1. Визначена та вирішена проблема розміщення сенсорів для неоднорідних WSN яка полягає у виборі оптимальних місць для їх розміщення, мінімізації споживання енергії всією системою при одночасному виконанні обмежень на підключення та ресурси. Проблема вирішена шляхом введення вимог до рівнів захисту та створенню умов для надання мережі потенційних рішень з резервного копіювання у разі несподіваних часткових збоїв у роботі;

2. Визначена та вирішена проблема критичності для однорідних WSN, яка полягає у виявленні найважливіших сенсорів або критичних вузлів у мережі. При визначенні проблеми змінено загальноприйняте визначення критичності. Зокрема у запропонованому рішенні критичний вузол визначається як вузол, видалення якого найбільше порушує роботу мережі. Проблема вирішена шляхом розроблення методу вибіркової процедури адаптивного пошуку для обчислення параметрів «затримки» та «тривалості життя» мережі, на базі яких створено функцію оцінки критичності вузла однорідної WSN;

3. Розроблено математичну модель WSN, яка відрізняється від відомих введень кластеризації. У заданому, конкретному випадку кластер визначається як набір позицій сенсорів, у якому група типів сенсорів повинна бути представлена вичерпно. Це доповнення дозволяє створювати різноманітні рішення в залежності від технічної необхідності та надає можливість зміни остаточного планування всередині однієї інтелектуальної будівлі.

4. Розроблено модель менеджера ресурсів АСУІБ, яка відрізняється від відомих введень поняття порогу прогнозування. Це дозволило враховувати не лише показник споживання енергії, а додати до оцінювання важливий показник комфорту. Використовуючи цю модель, АСУІБ контролює стан різних приміщень

і, відповідно до очікуваних дій мешканців, керує підсистемами, щоб мінімізувати споживання енергії, підтримуючи прийнятний рівень комфорту та виключаючи можливість виникнення суперечливих спрацьовувань.

Результати, отримані у процесі виконання роботи, знайшли застосування в науково-дослідній роботі, яка проводиться в Державному університеті телекомунікацій. Теоретичні і практичні положення дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі Державного університету телекомунікацій.

**Ключові слова:** безпроводові сенсорні мережі (WSN), Інтернет речей, АСУІБ, Розумний будинок, кластеризація, інформаційна мережа, шлюз, сенсор, гетерогенна мережа, «хмарна» архітектура, оптимізація.

## ANOTATION

**Krashchenko D.V.** Methodology for building an automated intelligent building management system based on stochastic optimization methods. – Qualifying scientific work on manuscript rights.

Dissertation for obtaining the scientific degree of Doctor of Philosophy in the field of knowledge 12 - Information technologies in the specialty 123 - Computer engineering. - State University of Telecommunications. - Kyiv, 2022.

The dissertation is devoted to the development of the methodology for building an automated intelligent building management system based on stochastic optimization methods.

At the current stage of the development of science and technology, there is an opportunity to create a new methodology that will determine the basic principles of building IBMS based on the use of homogeneous and heterogeneous wireless sensor networks (WSN), computer models for the development of methods and means of improving the energy efficiency of IBMS. It is these circumstances that become the

foundation for writing this work and the foundation for conducting the above research as a whole.

The introduction provides a general description of the work, substantiates the relevance of the research topic, formulates the purpose and tasks of the research, shows the scientific novelty and practical value of the obtained results, notes the author's personal contribution, provides data on testing and practical implementation, available publications and the structure of the work.

In the first section of the work, on the basis of the studied literary sources, an analysis of the requirements for management systems to increase the efficiency of their functioning was carried out. In particular, the analysis of the existing structures of management systems and the characteristics of their main components was carried out. The control modes of IBMS systems and the existing methods of developing such systems, both in the form of classical modeling and in the form of BIM models, are described. In the final part of the first section, taking into account the conducted analysis and identified problems of the System, the goals and objectives of the work were formed, namely:

- solve the problem of deployment and criticality for WSN as part of IBMS;
- develop a mathematical model of WSN, which at the earliest stages of design takes into account qualitative indicators that affect the effectiveness of the IBMS work;
- develop a model of the IBMS resource manager for test implementation.

In the second section, solutions to the problems of deploying a heterogeneous network of sensor nodes (WSN) and processing critical nodes in homogeneous WSNs are proposed. Within the framework of the chapter, a mathematical model of the placement of nodes in the network was created and the concept of "clustering" was introduced. Application of the developed model solves the problem of deployment. Next, the algorithm of the "selective adaptive search procedure" is proposed and the concept of "functions for assessing the criticality of a WSN node" is introduced. To assess the criticality of the node, the "transmission delay" and "lifetime" parameters are set. Using the developed algorithm and new evaluation parameters, the task of processing critical nodes was solved. In the final part of the chapter, the results of the

research of a set of network models are given according to the previously introduced parameters of "transmission delay" and "lifetime".

In the third section of the work, an algorithm for creating an IBMS resource manager is proposed with the introduction of the concept of the prediction threshold. Using the developed resource manager, three IBMS simulations were performed, which differ in the types of buildings, the number and nature of the behavior of residents. The results obtained during simulations confirm the effectiveness of the developed manager. A separate point of the third section of the work is the practical implementation of IBMS in the form of a research stand. This implementation made it possible to consolidate the obtained theoretical results of the research and gave the work a practical meaning, which is confirmed by the act on the implementation of scientific research, given in Appendix B.

The final part of the work contains general conclusions regarding the solution of the tasks set as part of the dissertation research and a list of scientific sources used during the work.

In order to achieve the goal of the dissertation work, namely the development of a methodology for building an automated intelligent building management system, the following tasks were solved:

1. The problem of placement of sensors for heterogeneous WSNs is defined and solved, which consists in choosing the optimal places for their placement, minimizing energy consumption by the entire system while simultaneously fulfilling restrictions on connections and resources. The problem is solved by introducing requirements for protection levels and creating conditions for providing a network of potential backup solutions in case of unexpected partial failures;

2. The problem of criticality for homogeneous WSNs, which consists in identifying the most important sensors or critical nodes in the network, is defined and solved. When defining the problem, the generally accepted definition of criticality was changed. In particular, in the proposed solution, a critical node is defined as a node, the removal of which most disrupts the network. The problem was solved by developing a method of a selective adaptive search procedure for calculating the "delay" and

"lifetime" parameters of the network, based on which the criticality assessment function of a node of a homogeneous WSN was created;

3. A mathematical model of WSN, has been developed, which differs from known models by the introduction of clustering. In a given, concrete case, a cluster is defined as a set of sensor positions, in which a group of sensor types must be represented exhaustively. This addition allows you to create a variety of solutions depending on the technical need and provides the ability to change the final layout within one intelligent building.

4. The IBMS resource manager model, have been developed, which differ from the known ones by introducing the concept of the forecasting threshold. This made it possible to take into account not only the energy consumption indicator, but also add an important comfort indicator to the evaluation. Using this model, the IBMS monitors the state of various rooms and, according to the expected actions of the occupants, manages the subsystems to minimize energy consumption, maintaining an acceptable level of comfort and eliminating the possibility of conflicting activations.

The results obtained in the course of the work were used in the research work conducted at the State University of Telecommunications. The theoretical and practical provisions of the dissertation work are used in the educational process of the State University of Telecommunications.

**Keywords:** wireless sensor networks (WSN), Internet of Things, IBMS, Smart house, clustering, energy optimization, gateway, sensor, heterogeneous network, "cloud" architecture, stochastic optimization