

ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОБОТИ СЕНСОРНОГО ВУЗЛА БЕЗДРОТОВОЇ СЕНСОРНОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ ВІДСУТНОСТІ ДОСТУПУ ДО МЕТЕОДАНИХ

Назарій Бірдус

магістр кафедри цифрових технологій в енергетиці

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, Київ, Україна, 03056

Ігор Кузьменко

кандидат технічних наук, доцент кафедри цифрових технологій в енергетиці

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, Київ, Україна, 03056, ozirno@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1885-9975

Дмитро Олійник

магістр кафедри цифрових технологій в енергетиці

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, Київ, Україна, 03056

Олександр Сірик

магістрант кафедри цифрових технологій в енергетиці

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», просп. Берестейський, 37, Київ, Україна, 03056, o.siryk.tr23mp@kpi.ua

ORCID: 0009-0008-2134-7296

У статті представлено систему для моніторингу та аналізу даних навколишнього середовища, яка розроблена з метою попередження та раннього виявлення надзвичайних ситуацій, таких як пожежі та інші екологічні катастрофи. Система створена на базі передових технологій та принципів, зокрема використовує бездротові сенсорні мережі для збору даних про стан навколишнього середовища та передачі цієї інформації на сервер за допомогою HTTP-запитів для подальшого аналізу. Цей процес передбачає використання сучасних технологій для забезпечення точності та своєчасності інформації.

Архітектура системи передбачає використання сенсорних вузлів, які здатні вимірювати такі параметри, як температура, вологість, тиск та інші екологічні показники, що є критично важливими для виявлення можливих загроз для навколишнього середовища. Усі зібрані параметри проходять складний кількості етапний процес аналізу, який за необхідності (в умовах відсутності доступу до метеоданих) включає використання статистичних методів та алгоритмів машинного навчання, зокрема кореляційний аналіз та лінійну регресію для виявлення залежностей та прогнозування майбутніх станів. Детальний аналіз даних у системі допомагає в ідентифікації аномалій та визначенні потенційних ризиків.

У цілому розроблена система дає змогу фіксувати дані з навколишнього середовища і передавати їх із вузла мережі за допомогою HTTP-запиту та вносити і зчитувати дані з бази даних. Дані аналізуються на сервері та візуалізуються у web-клієнті. Основою системи є розроблена модель, розміщена на сервері, яка показала високу точність (83,2%) на тестових даних, що свідчить про її ефективність та надійність. Як приклад у роботі наведено навчання та тестування моделі на метеоданих із сайту прогнозу погоди для м. Нікополь.

У роботі описано вищевказану архітектуру системи, діаграму бази даних, реалізацію вузла бездротової сенсорної мережі. Система має інтуїтивно зрозумілий вебінтерфейс, реалізований за допомогою бібліотеки tkinter, який забезпечує можливість легкого доступу та взаємодії користувачів із результатами аналізу. Це забезпечує прозорість та доступність інформації на боці клієнта.

Робота акцентує увагу на актуальності розроблення та впровадження подібних систем для контролю надзвичайних ситуацій. Вона підкреслює необхідність інтеграції сучасних технологій та наукових досліджень для створення ефективних рішень, спрямованих на збереження екосистем та запобігання екологічним катастрофам. Вивчення цих аспектів є ключовим для підтримання сталого розвитку та екологічної безпеки.

Ключові слова: бездротова сенсорна мережа, сенсорні вузли, ретрансляція повідомлень, екологічний моніторинг, модель, навчання моделі.

Актуальність роботи. Зменшення ризиків, пов'язаних із пожежами, є одним із національних пріоритетів екологічної сфери, а використання бездротових сенсорних мереж сприяє ранньому виявленню загроз для поліпшення ситуації [1]. Тому організація стабільної роботи сенсорного вузла бездротової сенсорної мережі в умовах відсутності доступу до метеоданих є важливим та актуальним завданням [2; 5].

Виходячи із цього, метою роботи є підвищення надійності роботи сенсорного вузла бездротової сенсорної мережі на основі інтегрованої системи аналізу даних з елементами штучного інтелекту, що забезпечує роботу системи мережі в умовах відсутності доступу до метеоданих.

Для досягнення вищевказаної мети вирішувалися такі завдання:

1. Розроблення датчика системи, що вимірює температуру та вологість навколишнього середовища і передає їх із вузла мережі за допомогою HTTP-запиту та заносить їх у базу даних.

2. Реалізація інтегрованої системи аналізу даних на основі штучного інтелекту, що забезпечує роботу системи мережі в умовах відсутності доступу до метеоданих.

3. Розроблення програмного забезпечення для клієнтської, серверної частини та для аналізу даних.

У цілому об'єктом дослідження у роботі є комп'ютерні інформаційні системи і технології, а предметом дослідження – системи синхронізації з інтегрованим аналізом даних із візуалізацією у web-клієнті.

На основі аналізу прототипів варто виділити WISE-4000, що являє собою модуль мережі, для

під'єднання датчиків і налаштування конфігурації інтерфейсу вводу/виводу з використанням технології LPWAN. Також EV-ADRN-WSN-1Z – це інтегроване рішення для збору даних, яке розроблено для малопотужних бездротових систем. Однак із погляду автономності та відповідності вимогам користувача розроблюваний сенсорний вузол бездротової сенсорної мережі є більш відповідним завданням виявлення пожеж та працює за відсутності доступу до метеоданих.

Окрім того, оскільки сенсорний вузол має невисоку обчислювальну потужність та енергоресурс, агрегація даних здійснюється на сервері, це підвищує надійність даних та роботу сенсорного вузла у цілому [3; 4].

Матеріал і результати досліджень. Створений сенсорний вузол разом із сервером реалізують архітектуру, показану на рис. 1: емулятор, клієнт-візуалізатор, сервер обробки даних, що включає аналітику, вузол БСМ, базу даних та метеодані.

У цій реалізації клієнт-візуалізатор для отримання вхідних даних виконує запит до БД та зчитує записану з модулів інформацію.

Модуль робочої системи складається з вузла БСМ, БД, сервера обробки даних з аналітикою та доступом до метеоданих.

База даних створена під керуванням MySQL і розміщена на віддаленому сервері хостингу. Після чого за допомогою DataGrip було виконане віддалене підключення, тестування роботи, створення і налаштування таблиць, а також заповнення конфігураційних даних із використанням конектора MySQL для Python (рис. 2).

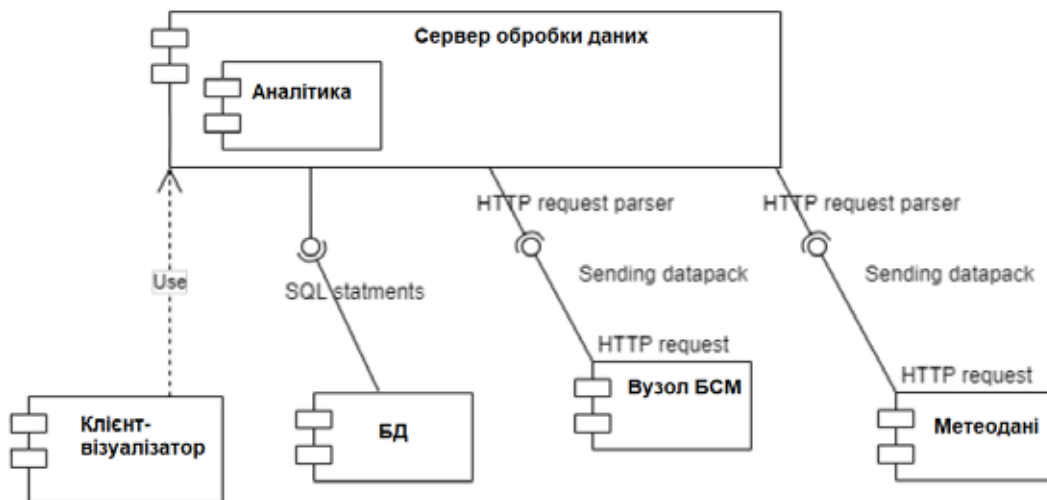


Рис. 1. Архітектура системи

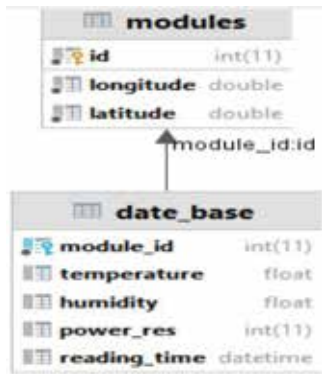


Рис. 2. Діаграма БД

Модуль бездротової сенсорної мережі (БСМ) зчитує показники датчиків та передає на сервер обробки даних шляхом надсилання HTTP-запиту. Робота з датчиками реалізована за допомогою бібліотеки DHT sensorlibrary. Для відліку часу використовується модуль реального часу realtimelockmodule ds1307.

HTTP-запит виконується модулем мобільного зв'язку серії Sim800 або шляхом передачі інформації через дротове з'єднання з комп'ютером [6].

Візуалізацію під'єднання модулів до плати за допомогою інструментів Fritzing зображено на рис. 3 зліва, а схему – на рис. 3 справа.

Сервер обробки даних координує потоки даних та обробляє їх: опрацюює інформацію з БД, отримує та обробляє HTTP-запити від вузла БСМ, аналізує показники сенсорів та візуалізує результат. Для візуалізації та обробки даних із динамічною генерацією сторінок і динамічним внесенням змін на сервер використано мікрофреймворк Flask.

На рис. 4 показано прототип вузла БСМ [2]. Сервер має дві функції взаємодії з базою даних, вони необхідні для отримання даних про розміщення вузла, заряд його батареї, а також

збереження даних, зчитаних мережею. Метод `defread_data_from_db()` дає змогу зчитати останні записи, внесені в БД, для їх подальшого аналізу і відображення, `defread_all()`, своєю чергою, зчитує усі доступні записи для візуалізації та надає доступ користувачу до більш детального аналізу даних у ручному режимі.

Також описано два декоратори `@app.route('/')` та `@app.route('/newdata')`. Останній є інтерфейсом сервера для отримання даних від вузла БСМ шляхом парсингу HTTP-запиту. Через специфічну предметну сферу можливість надсилання вузлами запитів може бути обмежена, тому всі дані передаються пакетом в одному запиті. Це відбувається шляхом конкатенації зчитаних та технічних даних із розміщенням сепараторів між ними та подальшим поділом даних на сервері.

Після зчитування дані передаються в окремий модуль `analyzer`, після чого виконується перевірка на досягнення критичної температури й повертається висновок.

Модуль `analyzer` проводить кореляційний аналіз [7], суть якого у такому: на основі бібліотеки `Pandas` за допомогою функції `scatter_matrix()` будується кореляційна матриця, показана на рис. 5.

За графіком відношення температури до вологості спостерігається пряма лінійна залежність, тому для навчання і побудови моделі вибрано лінійну регресію [8].

Далі на основі функції `corr()` із бібліотеки `Pandas` обраховано числові значення коефіцієнтів кореляції, що дає змогу видалити найменш впливові параметри для подальшої регресії.

Для того щоб навчити модель [9], дані отримано протягом 48 годин як тренувальні, а наступні – протягом 72 годин як тестові. Для

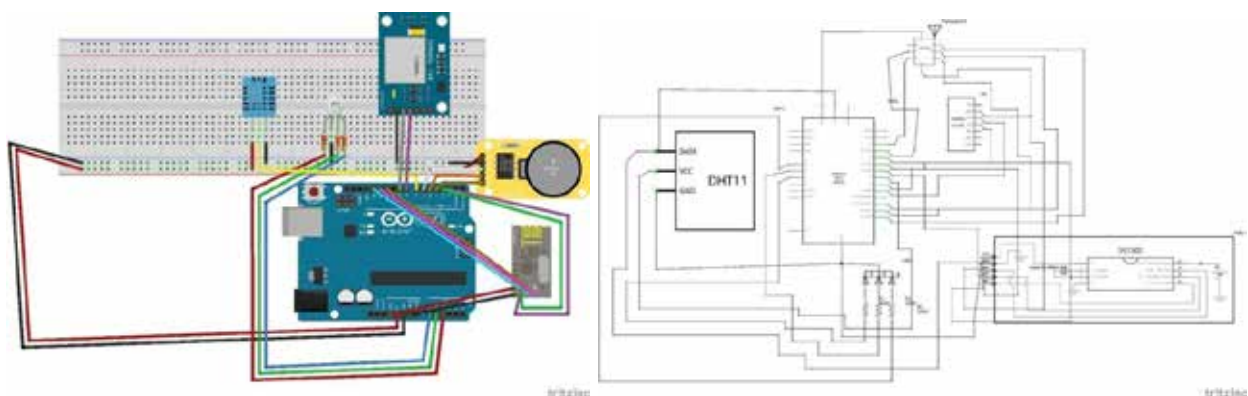


Рис. 3. Візуалізація з'єднання модулів вузла та схема БСМ

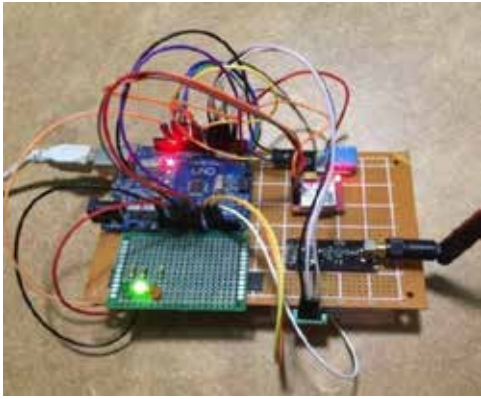


Рис. 4. Загальний вигляд прототипу вузла

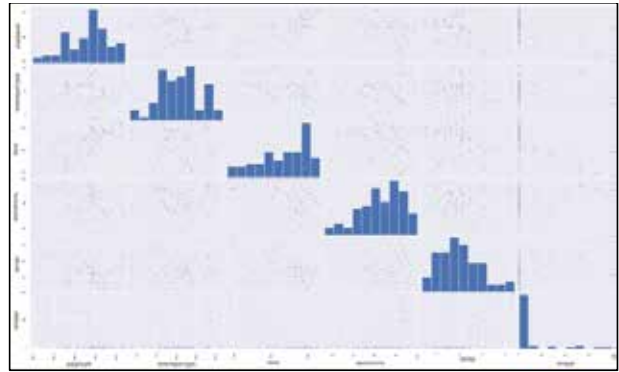


Рис. 5. Кореляційна матриця

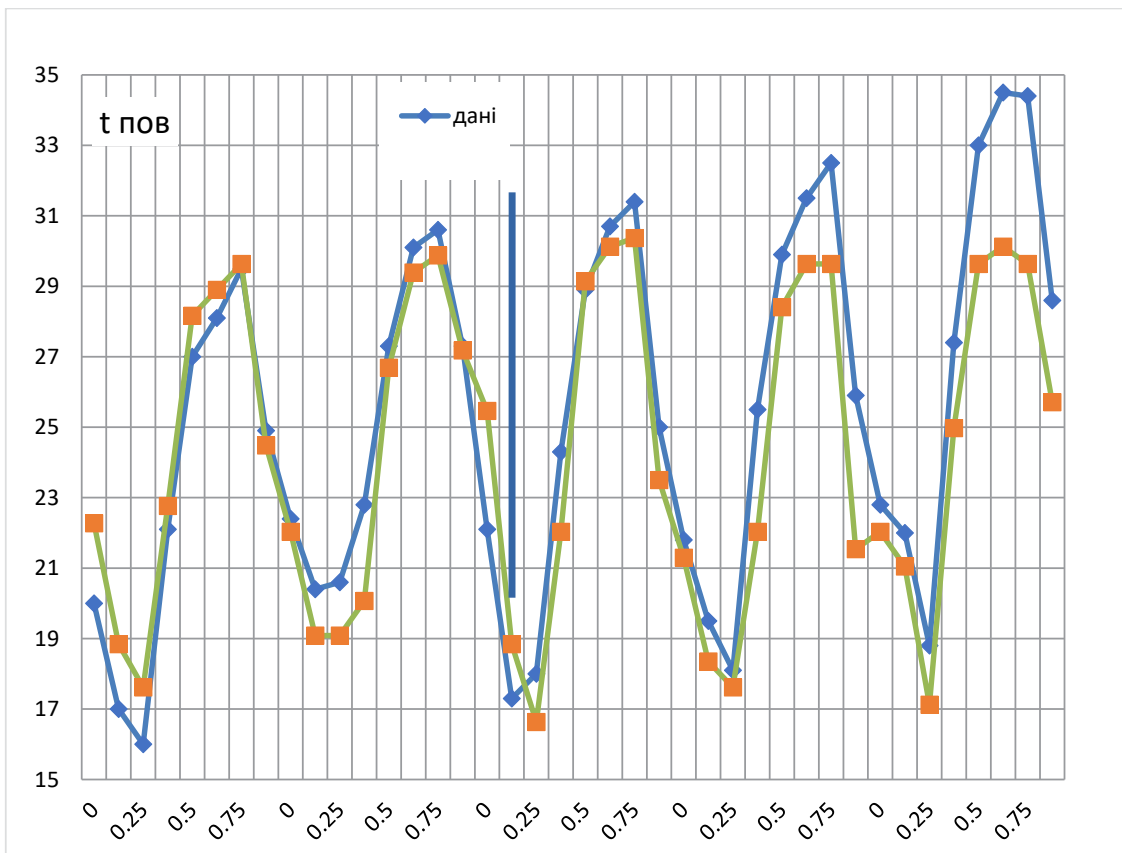


Рис. 6. Результати перевірки навчання

навчання даних за допомогою бібліотеки Scikit-learn виберемо лінійну регресію та отримаємо регресійну модель [10].

Після навчання модель перевірялася на тестових даних, узятих на <https://meteoport.com/> для визначення точності проведених розрахунків і у разі коли результати перевищували 25%, змужувався розмір вибірки. У результаті модель дає прогноз із точністю до 83,2% незалежно від локації, що є високим результатом для лінійної регресії.

Інтерфейс системи було реалізовано за допомогою бібліотеки tkinter-вікна, додано елементи інтерфейсу: кнопки, текстові поля, таблиця, графіки. Зібрані дані зображені в одному вікні з прогнозованими зі зручним переглядом попередніх днів, як показано на рис. 6, для м. Нікополь, 01-07-23. Дана система пройшла шість модульних тестів за допомогою влаштованої бібліотеки Pythonunittests [11].

Висновки. Розроблена система дає змогу зчитувати дані навколишнього середовища і пере-

давати їх із вузла мережі за допомогою HTTP-запита, а також вносити і зчитувати дані з бази даних. Дані аналізуються на сервері та візуалізуються у web-клієнті.

У роботі реалізовано вузол бездротової сенсорної мережі з інтегрованою системою аналізу даних для попередження надзвичайних ситуацій.

Було виконано низку технічних завдань: спроектований та розроблений пристрій прийому-передачі; спроектоване та розроблене ПЗ для клієнтської частини; спроектовано та розроблено серверну частину та частину для аналізу даних.

Система моніторингу використовує регресійну модель, опрацьовану з використанням бібліотек Scikit-learn, яка дає прогноз із точністю до 83,2% у разі відсутності доступу до метеоданих.

ЛІТЕРАТУРА

1. Гребенюк Т.В., Ремез Н.С., Прокопенко В.В., Бронницький В.О. Багатокритеріальний аналіз вибору технології утилізації відходів із використанням парних порівнянь *Вісник КрНУ ім. Михайла Остроградського*. 2020. № 4. С. 34–42.
2. Тарнавський Ю.А., Кузьменко І.М. Організація комп'ютерних мереж. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 259 с.
3. Swedberg G. Ericsson's mobile location solution *Ericsson Review* No. 04. 1999.
4. Akyildiz I.F., Su W., Sankarasubramanian Y., and Cayirci E. A Survey on Sensor Networks. *IEEE Communications Magazine*. 2002. P. 102–114.
5. Romerand K., Mattern F. The Design Space of Wireless Sensor Networks. *IEEE Wireless Communications*. 2004.
6. Sommerand P., Wattenhofer R. Symmetric Clock Synchronization in Sensor Networks. *In ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN)*. 2008.
7. Grus J. *Data Science from Scratch: First Principles with Python* 1st Edition. 2018. 330 p.
8. Vanderplas J. *Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data* 1st Edition. 2016. 548 p.
9. Kim G. *The Phoenix Project: A Novel about IT, DevOps, and Helping Your Business*. 2018. 432 p.
10. Project Management Institute. *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide)* Sixth Edition. 2017. 756 p.
11. PyMySQL's documentation. URL: <https://pymysql.readthedocs.io>.

ENSURING THE OPERATION OF A WIRELESS SENSOR NODE IN THE ABSENCE OF ACCESS TO METEOROLOGICAL DATA

Nazariy Birdus

Master's Student at the Department of Digital Technologies in Energy INTE

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Beresteiskyi ave., Kyiv, Ukraine, 03056

Ihor Kuzmenko

PhD, Associate Professor at the Department of Digital Technologies in Energy INTE

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Beresteiskyi ave., Kyiv, Ukraine, 03056, ozirno@gmail.com

ORCID: 0000-0003-1885-9975

Dmytro Oliynyk

Master's Student at the Department of Digital Technologies in Energy INTE

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Beresteiskyi ave., Kyiv, Ukraine, 03056

Oleksandr Siryk

Master's Student at the Department of Digital Technologies in Energy INTE

National Technical University of Ukraine "Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute", 37 Beresteiskyi ave., Kyiv, Ukraine, 03056, o.siryk.tr23mp@kpi.ua

ORCID: 0009-0008-2134-7296

Purpose. The study aims to ensure the efficient functioning of a sensor node in a wireless sensor network under conditions where meteorological data is inaccessible. **Methodology.** Data, upon retrieval, is passed to the 'analyzer' module for analysis, focusing primarily on the critical temperature threshold. A correlational analysis was conducted using the Pandas library, wherein the relationship between temperature and humidity was explored using a scatter_matrix(). Linear regression was selected based on a direct linear relationship observed. The use of the Pandas library's corr()

function further provided numerical correlation coefficient values, facilitating the omission of less untactful parameters for subsequent regression.

Findings. For the purpose of training the model, data retrieved over 48 hours served as training data, with the subsequent 72 hours serving as test data. The chosen linear regression model, developed with the Scikit-learn library, demonstrated a prediction accuracy of up to 83.2% when tested with real-world data. **Originality.** This study uniquely integrates a wireless sensor node with an in-built data analysis system, ensuring its operational capability even in scenarios where meteorological data might be unavailable. **Practical value.** The developed system is adept at reading environmental data, transmitting it via an HTTP request, and offering capabilities to input and retrieve data from a database. The user interface, developed using the tkinter library, provides a comprehensive window showcasing collected data juxtaposed against forecasted data. The system underwent six modular tests using the Python unit test library.

Conclusions. The wireless sensor network node, enhanced with an integrated data analysis system, can act as an early warning system against potential emergencies. The system's monitoring capability employs a regression model that predicts with 83.2% accuracy in the absence of meteorological data.

Key words: wireless sensor network, sensor nodes, message relay, environmental monitoring, model, model training.

REFERENCES

1. Grebeniuk, T.V., Remez, N.S., Prokopenko, V.V., Bronytskyi, V.O. (2020). Bagatokryterialnyi analiz vyboru tekhnolohii utylizatsii vidkhodiv z vykorystanniam parnykh porivnian [Multi-criteria analysis of the choice of waste disposal technologies using pairwise comparisons] *Visnyk KrNU named after Mykhailo Ostrogradskyi* No. 4, 34–42 [in Ukrainian].
2. Tarnavskyi, Yu.A., Kuzmenko, I.M. (2018) *Orhanizatsiya komp'uternykh merezh [Organization of computer networks]* Kyiv: Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute, 259 [in Ukrainian].
3. Swedberg, G. (1999) Ericsson's mobile location solution *Ericsson Review No.4* [in English].
4. Akyildiz, I.F., Su, W., Sankarasubramanian, Y., Cayirci, E. (2002) A Survey on Sensor Networks. *IEEE Communications Magazine*. 102–114 [in English].
5. Romerand K., Mattern F. (2004). The Design Space of Wireless Sensor Networks. *IEEE Wireless Communications* [in English].
6. Sommerand, P., Wattenhofer, R. (2008) Symmetric Clock Synchronization in Sensor Networks. *In ACM Workshop on Real-World Wireless Sensor Networks (REALWSN)* [in English].
7. Grus, J. (2018) *Data Science from Scratch: First Principles with Python* 1st Edition, 330 [in English].
8. Vanderplas, J. (2016) *Python Data Science Handbook: Essential Tools for Working with Data* 1st Edition, 548 [in English].
9. Kim, G. (2018) *The Phoenix Project: A Novel about IT, DevOps, and Helping Your Business*, 432 [in English].
10. Project Management Institute. (2017) *A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) Sixth Edition*. 756 [in English].
11. PyMySQL's documentation. URL: <https://pymysql.readthedocs.io> [in English].

Стаття надійшла 12.08.2023