



СИСТЕМА АВТОМАТИЗОВАНОГО ЗБОРУ, ОБРОБКИ ТА ВІДПРАВЛЕННЯ ДАНИХ У РОЗУМНОМУ БУДИНКУ ЯК СКЛАДОВА ПОТ

Б. Дрозд ^[ORCID: 0009-0000-4101-5776]

Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, 79013, Львів, Україна

Відповідальний за рукопис: Богдан Дрозд (e-mail: bohdan.v.drozd@lpnu.ua)

(Подано 30 березня 2025)

Система автоматизованого збору, обробки та відправлення даних у розумному будинку має широкий спектр можливостей та функцій, що спрямовані на оптимізацію використання ресурсів і підвищення комфорту мешканців. Така модель передбачає не лише звичайний моніторинг споживання води, газу та електроенергії, а й їх аналіз у режимі реального часу з можливістю автоматичного коригування витрат відповідно до встановлених параметрів. Завдяки цьому користувачі можуть ефективніше контролювати споживання, вчасно отримувати сповіщення про перевищення встановлених норм, а також використовувати аналітичні дані для подальшого зменшення витрат. Такі розумні системи значно спрощують процес обліку ресурсів, адже вся інформація надходить безпосередньо до відповідних служб без необхідності фізичного зчитування показників. Це не лише зменшує ймовірність людських помилок, а й забезпечує точність обліку та дозволяє своєчасно виявляти витоки або несанкціоноване підключення до комунікацій. Наприклад, у разі аварійної ситуації, такої як прорив труби чи витік газу, система миттєво передає сигнал власнику та відповідним службам, що дає змогу швидко вжити необхідних заходів для мінімізації ризиків і запобігання значним фінансовим втратам. Окрім цього, розумні системи дозволяють значно знизити рівень витрат як для окремого будинку, так і для цілих районів чи міст. Завдяки постійному збору та аналізу даних можливе прогнозування пікових навантажень на мережу та більш ефективний розподіл ресурсів. Це, своєю чергою, сприяє зниженню загальних експлуатаційних витрат, що є важливим фактором для впровадження подібних технологій на державному рівні. Попри значну вартість встановлення таких систем, їх переваги є очевидними. Вони не лише підвищують рівень комфорту та безпеки мешканців, а й забезпечують ефективне управління міськими ресурсами. Тому інвестиції у ці технології є виправданими з точки зору економії, підвищення енергоефективності та покращення якості життя. Ба більше, розумні будинки сприяють покращенню екологічної ситуації, оскільки їх ефективне використання ресурсів дозволяє зменшити шкідливі викиди та загальне навантаження на навколишнє середовище.

Ключові слова: система, споживач, комфорт

Аналіз моделей побудови ПОТ

Досліджуючи можливості організації системи ПОТ (Industrial Internet of Things) для домашніх споживачів було враховано різноманітність варіантів її структури та функціональних можливостей. Один із розглянутих способів полягає у використанні "посередників" у вигляді мікроконтролера Arduino. Цей пристрій відповідає за збір даних з лічильників, а потім підключається до центрального "хабу", який базується на мікроконтролері Raspberry Pi. На цьому хабі відбувається

обробка та збереження отриманих даних. Крім того, для забезпечення автоматичного відправлення показників лічильників використовується API. Така конфігурація системи дозволяє впроваджувати її як додатковий функціонал до наявної системи "Розумний будинок", якщо така вже є в споживача, що дозволяє їм ефективно відстежувати та керувати енергоспоживанням. Однак, варто відзначити, що існують інші можливі підходи до організації системи IoT залежно від конкретних вимог та умов експлуатації. Такий підхід надає гнучкість та можливість вибору оптимального рішення для кожного конкретного випадку використання. Наприклад, деякі системи IoT можуть використовувати бездротові технології, такі як Bluetooth або Wi-Fi, для збору даних і взаємодії з центральним хабом. Це може бути особливо корисно в ситуаціях, де провідне підключення є неможливим або неефективним. Таким чином, розуміння різноманітності та гнучкості цих систем дозволяє клієнтам вибирати найбільш потрібні рішення для вирішення конкретних завдань та потреб.

Одним із найважливіших викликів для систем IoT є забезпечення безпеки та конфіденційності даних. IoT системи збирають, передають і обробляють великі обсяги чутливих даних, що створює значний ризик для кібербезпеки. Для захисту даних проваджуватимуться надійні механізми шифрування як для збереження, так і для передачі даних. Також важливим є впровадження багатофакторної автентифікації для забезпечення доступу лише авторизованим користувачам. Розробка і підтримка систем моніторингу мережевої активності дозволить вчасно виявляти та реагувати на підозрілі дії або атаки. Наприклад, системи виявлення аномалій можуть допомогти ідентифікувати незвичайну активність, яка може свідчити про злом або вторгнення. Інтероперабельність або здатність різних систем і пристроїв працювати разом, є ще одним викликом для IoT. На сьогоднішній день існує безліч різних виробників і постачальників IoT пристроїв, кожен з яких використовує свої власні стандарти, протоколи та інтерфейси. Це може створювати труднощі при інтеграції нових пристроїв, оскільки вони можуть бути несумісними один з одним. Стандартизація протоколів зв'язку, таких як MQTT, CoAP та інших, сприятиме забезпеченню сумісності між різними пристроями та системами. Крім того, використання відкритих API може полегшити інтеграцію компонентів системи та забезпечити її гнучкість і масштабованість. Системи IoT генерують величезні обсяги даних, які потрібно обробляти та аналізувати в режимі реального часу для забезпечення ефективної роботи. Це ставить високі вимоги до обчислювальних ресурсів та алгоритмів штучного інтелекту. Велика кількість даних потребує потужних серверів та розподілених обчислювальних систем для зберігання та обробки інформації. Обчислення на периферії мережі дозволить виконувати частину обробки даних безпосередньо на пристроях або близько до місця їх збору, що зменшує затримки та покращує швидкість реакції системи.

2. Методи масштабування систем IoT

Кожна система яка розробляється, повинна проектуватись з розрахунком на велику кількість користувачів, що дає змогу не тільки легко її збільшувати та вносити корисні нововведення, а й дозволяє покращити безпеку даних та надійність самої системи за рахунок розроблених моделей та методів функціонування сервісу як єдиного цілого на багато кроків вперед. Деякі системи розробляються зразу з низкою компонентів без яких нічого працювати не буде і їх заміна чи удосконалення неможливе чи вкрай складне та фінансово не вигідне.

Система, яка описується в цій статті, легко масштабується завдяки додаванню лише кількох взаємозамінних та універсальних елементів. Розглянемо модель такої системи, встановленої у всіх квартирах щойно побудованого багатоквартирного будинку, як зображено на рис.1. Для підключення абонентів необхідно в кожній квартирі встановити електронні лічильники газу, води та електроенергії, хаб збору і обробки інформації та по одному "центральному" хабу у кожному під'їзді для контролю службами. Контролер, який встановлений у квартирі, може бути інтегрований у вже наявну систему "Розумний будинок" за допомогою різних API для подальшого моніторингу та аналізу витрат енергоресурсів користувачем. Мінікомп'ютер, встановлений у під'їзді, отримує інформацію напряму від контролера з кожної із квартир для автоматичної відправки даних комунальним службам. Такий варіант є найпростішим для впровадження, полегшить моніторинг споживання ресурсів, забезпечить вчасне подання показників, унеможливить зловживання подачі

показів, забезпечить прозорість всіх операцій та точність обрахунку спожитих ресурсів. Такий спосіб не є найдешевшим, оскільки для його реалізації необхідний додатковий модуль в кожному із під'їздів багатоквартирного будинку.

Другим методом є спрощений варіант, де немає центрального хабу в кожному під'їзді. В такому випадку, дані будуть напряду надсилатись на головний сервер обробки. Цей варіант є дешевшим, але не максимально надійним для постійного контролю за показниками, оскільки є лише розрахунок на безперебійний доступ до мережі інтернет в кожній з квартир, де встановлена ця система. Сюди можна віднести такі варіанти як: жителі виїхали з квартири на довгий час і не оплатили послуги з надання інтернету, власники квартири здають її в оренду чи в процесі пошуку орендарів. Такі випадки зовсім не критичні, але при відсутності подання показів нарахування може відбуватись в автоматичному режимі з розрахунком на кількість осіб які зареєстровані в квартирі.

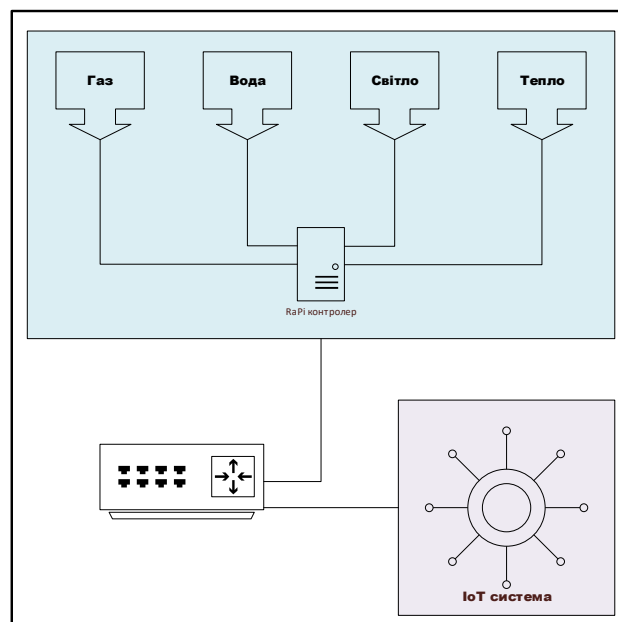


Рис. 1 Схематичне зображення передачі даних в системі IoT квартири

3. Побудова системи IoT

На рис. 2 схематично зображено роботу варіанту розгортання системи контролю ресурсів, де в ланцюжку передачі інформації є контролер в кожній квартирі для збору даних та її подальшої відправки на головний сервер. Це відбувається наступним чином: мікрокомп'ютер (серверний модуль) на базі RaspberryPi отримує дані напряду від контролерів, що встановлені разом з лічильниками. На його базі розгорнуто веб-сервер для з'єднання з головним сервером обробки інформації. Він виступає певним буфером для надійнішого зберігання інформації у разі надзвичайних ситуацій які можуть виникнути при роботі системи (відсутність електроенергії чи інтернет-з'єднання через проблеми на стороні провайдера, тощо).

Після завершення процесу збору, дані надходять на головний сервер, де вони зберігаються та постійно піддаються аналізу. Детальна обробка даних потрібна в першу чергу для аналізу споживання: в які години було використано найбільше електроенергії, в які найменше, який район чи будинок споживає більше електроенергії. Ці дані допоможуть працівникам служб прогнозувати кількість енергії необхідної для того чи іншого будинку/району, проводити профілактичні роботи на потрібних напрямках чи збільшувати потужності розподільчих підстанцій для унеможливлення коливань напруги в електромережі. Всі ці дані дозволять службам ефективніше розподіляти потребу та час для виконання різноманітних робіт у періоди, коли споживання ресурсів є найменшим та в найбільш доцільний для цього момент.

Також такий спосіб обробки та контролю даних дозволяє додатково встановити «аварійні клапани», у випадку, якщо споживач має велику заборгованість перед державою за спожиті ресурси і не сплачує його протягом довгого часу, а саме: однією командою відключити споживача,

перекривши йому доступ до енергоресурса з подальшим притягненням його до відповідальності. Таким чином, сервер, при відповідному налаштуванні, розуміючи що абонент не оплачує комунальні послуги які йому надає держава та має вже велику заборгованість, може миттєво відключити абонента, не витрачаючи дорогоцінний людський час. Перед цим відключенням, система періодично нагадуватиме абоненту про його заборгованість та необхідність їх погашення.

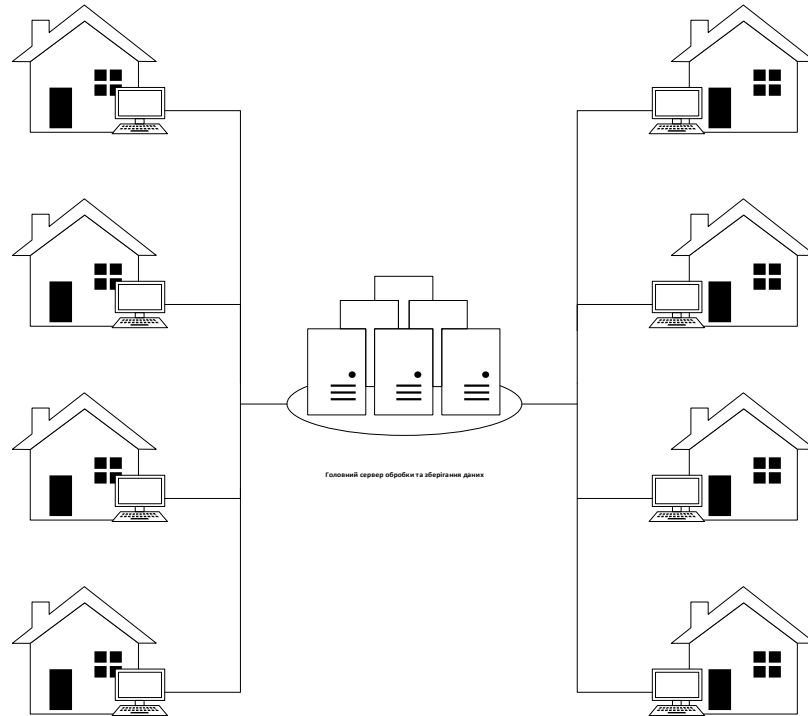


Рис. 2 Схематичне зображення підключення будинків до головного сервера обробки даних

4. Алгоритм обробки даних за допомогою моделі ШІ

Будь-яка система потребує детально розписаного алгоритму роботи ШІ, вибору моделей та способу опису отриманих даних у вигляді, який зможе найкраще продемонструвати всю цінність отриманих даних. Але для отримання корисної інформації, необхідно отримати «сирі» дані у вигляді показів з різних давачів, міст, ініціалів власника квартири, тощо. Структуру отриманих даних продемонстровано на рис. 3 та 4 у вигляді двох блоків інформації. В блоку 1 показано структуру одного повідомлення від користувача до сервера. В цьому повідомленні сервер отримує блок даних «Локація», в якому знаходиться наступна інформація:

- Місто чи населений пункт в якому проживає абонент
- Район міста, населеного пункту чи області
- Вулиця
- Будинок
- Квартира
- Прізвище, ім'я та по батькові абонента якому надаються послуги з енергопостачання
- Унікальний ID номер який створиться один раз в базі даних і прикріплюється за однією конкретною адресою
- Sync ID – тимчасовий код доступу до сервера, який відповідає за безпечне з'єднання та передачу даних на сервер. Синхронізується один раз для відправлення всіх блоків повідомлення та перевірки доставки на сервер.

Блок 1 має невеликі розміри та виступає стартовим синхронізатором та відправником даних. Саме цей блок першим отримує «Sync ID», відправляє першу частину даних на сервер та «передає» цей код в користування наступному блоку на стороні клієнта.

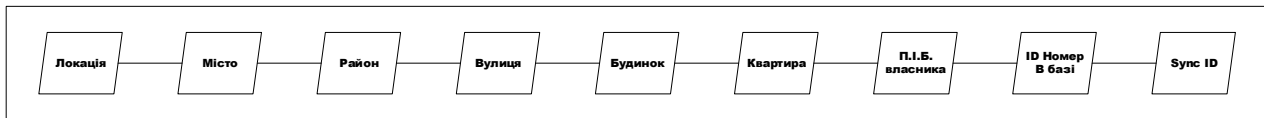


Рис. 3 Блок 1, зображення структури розподілених отриманих даних

Інформація з давачів у квартирах надходить на сервер у вигляді блоку 2, зображеного на рис. 4. Цей блок містить у собі актуальну інформацію про кількість спожитих ресурсів, наприклад:

- Покази давача газу, дату та час автоматичного запису цих показів, стан оплати (заборгованість) та унікальний ID номер у базі даних.

Унікальний номер у базі даних дозволяє швидко ідентифікувати та сортувати дані для подальшої розбивки на параметри.

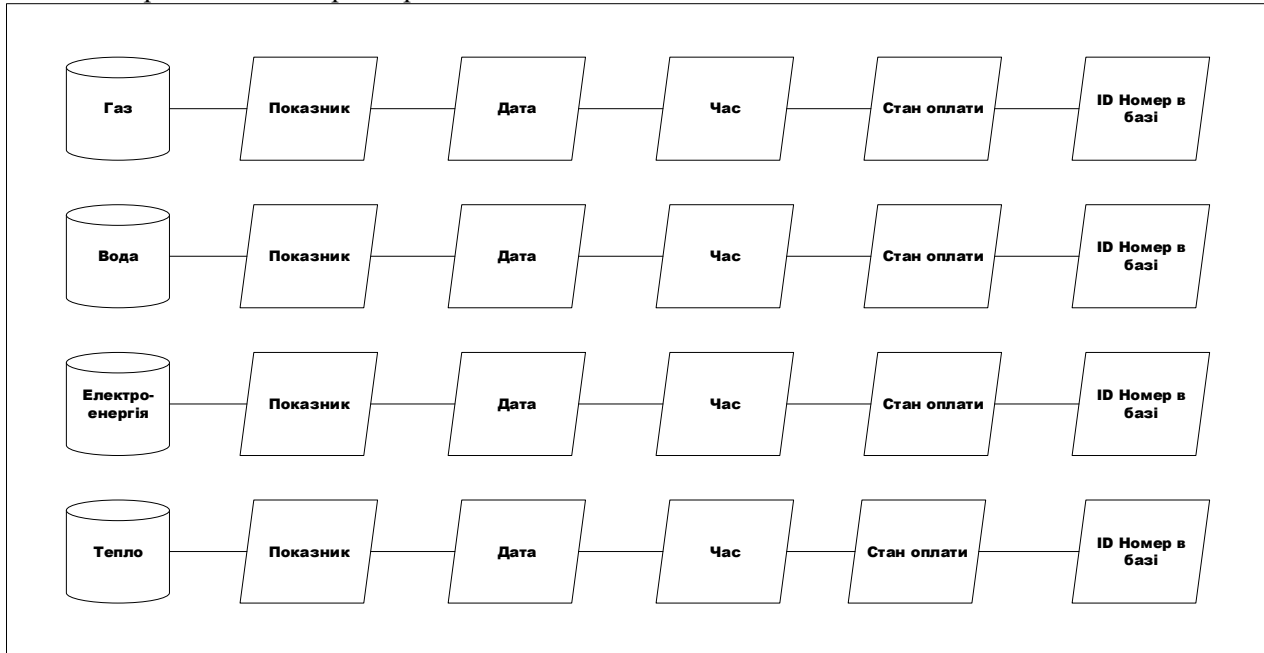


Рис. 4 Блок 2, зображення структури розподілених отриманих даних

Всі ці дані приходять на сервер у «сирому» вигляді. Для їх подальшої обробки необхідно їх розділити та присвоїти кожному певні параметри та значення.

Сталі параметри та дані про користувача, які в систему вносить сам користувач, або відповідні служби при потребі:

- Кількість осіб які проживають за вказаною адресою
- Тариф на спожитий енергоресурс
- Середній показник спожитих ресурсів за минулу добу/тиждень/місяць/рік
- Площа квартири чи будинку
- Розрахунковий коефіцієнт на тепло, якщо встановлений давач тепла

Параметри на які проводитиметься розбивка кожного блоку:

- ID квартири, будинку, міста, району
- ID кожного з лічильників
- ID дати та часу
- ID стану оплати
- ID в таблиці записів аналізу показів протягом дня
- ID в таблиці записів аналізу показів протягом тижня
- ID в таблиці записів аналізу показів протягом місяця
- ID в таблиці записів аналізу показів протягом року

На рис. 5 схематично зображено алгоритм роботи системи аналізу даних у вигляді п'яти етапів: збір даних з лічильників, передача їх на сервер, збереження в первинному вигляді, розбивка

на сегменти та аналіз первинних даних, візуалізація первинно оброблених даних, збереження в декілька баз даних та фінальний аналіз інформації зі збереженням в окрему базу даних.

Дані надходять на сервер у своєму первинному, "сирому" вигляді — без попередньої обробки чи фільтрації. На цьому етапі всі отримані показники зберігаються в єдину централізовану базу даних, спільну для всіх користувачів системи. Такий підхід дозволяє ефективно обробляти великі об'єми інформації, забезпечуючи швидкий доступ до вхідних даних для наступних етапів аналізу та обробки. Цей етап вважається проміжним і виконує переважно буферну функцію — дані затримуються тут лише на короткий період часу, необхідний для їхньої подальшої маршрутизації. Такий підхід забезпечує гнучкість, масштабованість і готовність системи до роботи з динамічно зростаючим потоком користувацьких даних.

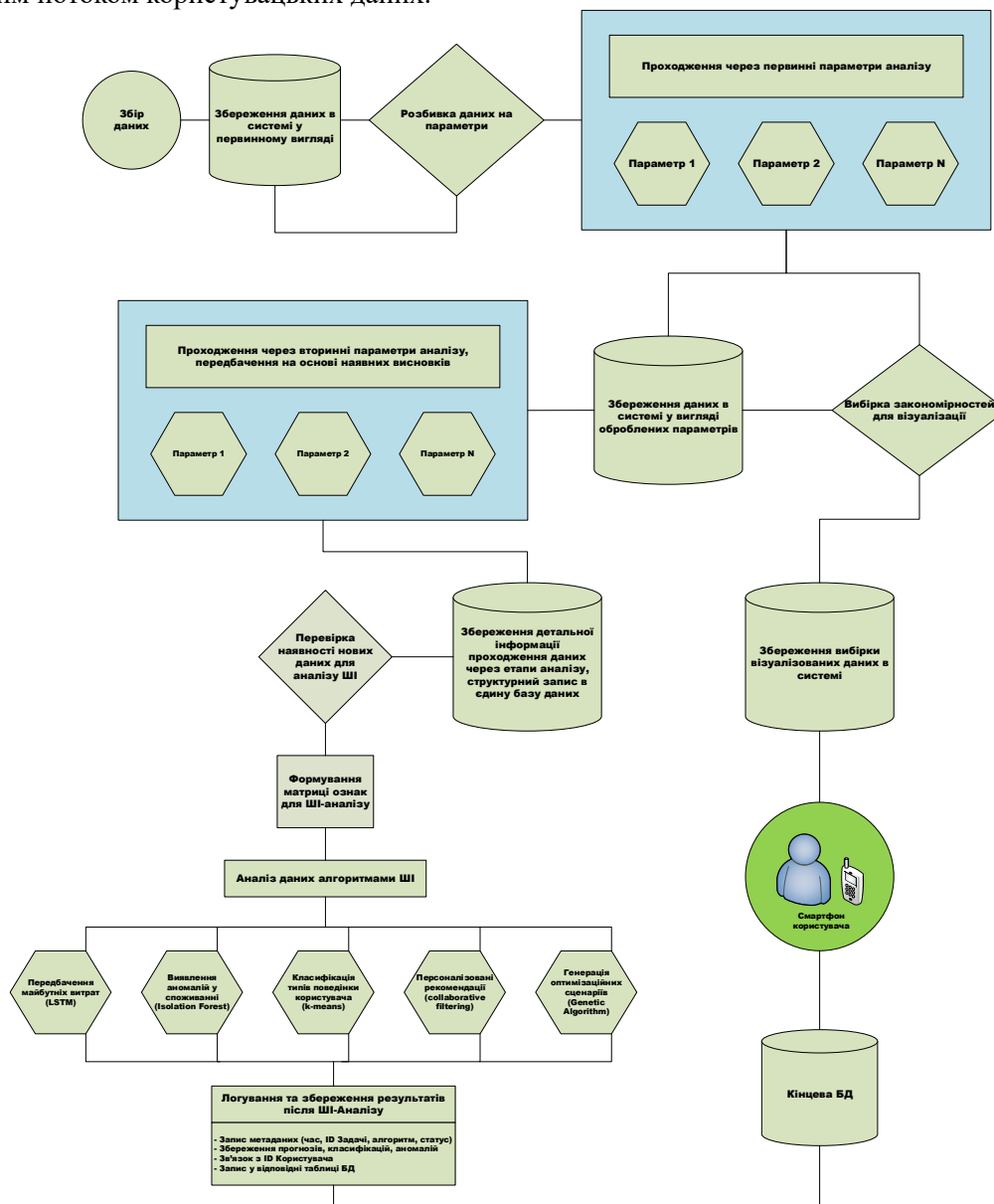


Рис. 5 Схематичне зображення етапів роботи алгоритму системи

Наступним етапом після збереження "сирих" даних є детальна розбивка кожного сегмента на окремі параметри, необхідні для первинного аналізу. Кожен сегмент містить набір показників, які структуровано розділяються за категоріями для подальшої обробки. Ці параметри зберігаються у спеціально відведений базі даних, окремій від сирих даних, але й формують основу для побудови статистичних моделей, візуалізації та систем сповіщень. На цьому ж етапі реалізується механізм перевірки цілісності даних, тобто перевіряється, чи не були вони пошкоджені або втрачені під час

передачі. Також здійснюється валідація правильності форматів, часових міток та логічної послідовності. Особлива увага приділяється виявленню можливих збоїв у роботі контролера на стороні клієнта — це може бути, наприклад, надсилання надто частих або аномальних значень, що не відповідають очікуваним межам. У разі виявлення таких відхилень система автоматично ініціює процес відправлення спеціальних інструкцій на клієнтський контролер збору даних. Ці інструкції можуть включати команду на перезавантаження пристрою збору, оновлення конфігурації або тимчасове припинення передачі даних до усунення помилок. Такий підхід дозволяє підтримувати стабільність роботи системи, знижувати ризики накопичення некоректної інформації та своєчасно реагувати на потенційні проблеми на боці користувача.

Оброблені та структуровані дані зберігаються в окремій базі даних, де інформація набуває уніфікованого вигляду, що дозволяє забезпечити легкість доступу та подальшої обробки. У цій базі даних кожен користувач має свій окремий запис, який включає повний набір показників про його взаємодію з системою та використання ресурсів. Усі дані оброблені таким чином, щоб забезпечити їх узгодженість і точність, зазначеним у рис. 3-4, блок 1-2. Цей уніфікований формат не лише покращує взаємодію з даними, але й полегшує процес аналізу, а також автоматизацію наступних етапів обробки та звітності. Кожен запис в базі містить не лише технічні параметри, але й статистику споживання ресурсів за певні часові інтервали, що дозволяє формувати надійні моделі для прогнозування використання в майбутньому.

Після проходження первинної обробки та збереження, дані проходять через додатковий етап вибірки даних, які використовуватимуться для візуалізації спожитих ресурсів у смартфоні користувача. Цей етап необхідний для покращення взаємодії між сервером та клієнтом, а саме: зменшення затримок для отримання даних, підвищення точності відображення статистики та забезпечення більш швидкої реакції інтерфейсу. Завдяки оптимізованій вибірці передається лише релевантна інформація, що зменшує навантаження на мережу та покращує загальну продуктивність застосування.

Фінальне оброблення даних включає в себе розширений вторинний аналіз та оброблення даних алгоритмами ШІ, яке охоплює низку складних операцій. Зокрема, на цьому етапі виконується передбачення можливих витрат користувача на основі його історичних даних, формуються персоналізовані рекомендації щодо більш ефективного використання ресурсів пристрою, аналізується обсяг використаних ресурсів за вибрані часові проміжки, а також відстежуються аномалії або незвичні патерни у споживанні. Окрім цього, система може автоматично пропонувати оптимізаційні сценарії для зменшення навантаження на систему смартфона. Усі дані, які проходять через зазначені етапи обробки, зберігаються у спеціально розділених базах даних відповідно до типу та рівня обробки. Така архітектура зберігання не лише забезпечує логічну структурованість і доступність даних для подальшого аналізу, але й гарантує високий рівень надійності та захисту.

Висновок

Впровадження систем Індустріального Інтернету Речей (IIoT) з використанням штучного інтелекту очікує значний прорив у різних галузях, надаючи можливість значно підвищити ефективність використання ресурсів, оптимізувати виробничі процеси та покращити якість життя. Проте, реалізація цього потенціалу стикається з серйозними викликами. Безпека та конфіденційність даних залишаються ключовими проблемами, оскільки такі системи є вразливими до кіберзагроз. Відсутність єдиних стандартів та протоколів ускладнює забезпечення інтероперабельності між різними пристроями та платформами. Величезні обсяги даних, що генеруються IIoT пристроями, потребують потужних обчислювальних ресурсів та ефективних алгоритмів для обробки і аналізу в режимі реального часу. До того ж, етичні питання, пов'язані з прозорістю алгоритмів та захистом приватності користувачів, потребують особливої уваги. Однак, подолання цих викликів відкриває значні перспективи, включаючи розвиток розумних міст, підвищення продуктивності у промисловості, та сприяння екологічній стійкості. Важливими є подальші дослідження та вдосконалення технологій, що дозволить повністю реалізувати потенціал IIoT систем та забезпечити їхнє безпечне та ефективне впровадження.

Список використаних літературних джерел

- [1]. Misra S., Roy C., Mukherjee A. (2021): *Introduction to Industrial Internet of Things and Industry 4.0*. doi: 10.1201/9781003020905-2
- [2]. Demidenko A. (2025): *Industry 4.0: Programming IoT devices*. ISBN: 9785047271309
- [3]. Bowen P., Goel A., Schallehn M., Schertler M. (2017): *Choosing the Right Platform for the Industrial IoT*. doi: 10.2139/ssrn.4746117
- [4]. Lecun, Y., Bengio, Y., & Hinton, G. (2015): *Deep Learning*. doi: 10.1038/nature14539
- [5]. Erciyeş K. (2020): *Distributed real-time systems. Theory and practice*. doi: 10.1007/978-3-030-22570-4

THE SYSTEM FOR AUTOMATED DATA COLLECTION, PROCESSING AND SENDING IN A SMART HOME AS A COMPONENT OF IIOT

Bohdan Drozd

Lviv Polytechnic National University, 12, S. Bandery Str., Lviv, 79013, Ukraine

The automated data collection, processing, and transmission system in a smart home offers a wide range of capabilities and functions aimed at optimizing resource use and enhancing resident comfort. This model involves not only the usual monitoring of water, gas, and electricity consumption but also their real-time analysis, with the ability to automatically adjust consumption according to established parameters. As a result, users can more effectively control consumption, receive timely notifications of exceeding set limits, and use analytical data for further reducing costs. Such smart systems significantly simplify the process of resource accounting, as all information is sent directly to the relevant services without the need for physical readings. This not only reduces the likelihood of human errors but also ensures the accuracy of accounting and allows for the timely detection of leaks or unauthorized connections to utilities. For example, in the case of an emergency, such as a pipe burst or gas leak, the system immediately sends a signal to the owner and relevant services, enabling them to take the necessary actions to minimize risks and prevent significant financial losses. Moreover, smart systems allow for a significant reduction in costs both for individual homes and for entire districts or cities. Through continuous data collection and analysis, it becomes possible to forecast peak network loads and more efficiently distribute resources. This, in turn, contributes to reducing overall operational costs, which is an important factor for the implementation of such technologies at the national level. Despite the significant cost of installing these systems, their benefits are obvious. They not only increase the level of comfort and safety for residents but also ensure effective management of urban resources. Therefore, investments in these technologies are justified in terms of savings, energy efficiency, and improving the quality of life. Furthermore, smart homes contribute to improving the ecological situation, as their efficient use of resources helps reduce harmful emissions and the overall environmental burden.

Keywords: *system, consumer, comfort*