

БОДНАРУК ВАСИЛЬІвано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0009-0008-4418-2359>
e-mail: vasylbodnaruk@gmail.com**МАНУЛЯК ІРИНА**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0002-0072-1532>
e-mail: iryna.manuliak@nung.edu.ua**МЕЛЬНИЧУК СТЕПАН**Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу
<https://orcid.org/0000-0002-6973-4235>
e-mail: stepan.melnychuk@nung.edu.ua

АСПЕКТИ КЛАСИФІКАЦІЇ ПРИСТОЇВ ТА СИСТЕМ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ПРИ ЇХ ІМПЛЕМЕНТАЦІЇ

В поданих матеріалах запропоновано розширена класифікація пристроїв Інтернету речей (IoT), яка забезпечує всеосяжний погляд на їх різноманітність, способи використання, технологічні аспекти, методи збору, обробки та передачі даних. Основна увага приділяється систематизації широкого спектру IoT-пристроїв, які застосовуються у різних контекстах - від окремих автономних одиниць до складних інформаційних систем. Розвиток технологій IoT приводить до значної різноманітності рішень, що, в свою чергу, вимагає гнучкої, але водночас структурованої класифікації.

Значний інтерес представляє аналіз ключових параметрів IoT-пристроїв, включаючи типи комунікаційних каналів, методи передачі даних, рівні енергоспоживання, області застосування, інтерфейси користувача та умови експлуатації. Ці фактори мають безпосередній вплив на процеси проектування, імплементації та використання IoT-систем в різних сферах, зокрема у промисловості, побуті, медицині та смарт-містах. Розуміння цих параметрів дозволяє розробникам та дослідникам адаптувати IoT-рішення до конкретних потреб користувачів та середовища їх застосування, забезпечуючи високу ефективність та задоволення вимог кінцевих користувачів.

Особлива увага в статті приділяється аналізу взаємозв'язку між різними аспектами класифікації, що дозволяє виявити комплексний підхід до впровадження IoT у різних областях. Такий підхід не лише сприяє кращому розумінню потенціалу Інтернету речей, але й відкриває нові перспективи для розробки інноваційних рішень, які відповідають сучасним технологічним та соціальним викликам. Використання цієї класифікації сприятиме розвитку IoT-екосистем, інтеграції різноманітних пристроїв та платформ, а також забезпеченню безпечної та надійної взаємодії між ними.

Подана класифікація стає фундаментом для глибокого розуміння масштабів та можливостей Інтернету речей, що є вирішальним для забезпечення їхньої ефективності, безпеки та адаптації до вимог сучасного світу. Очікується, що розглянуті підходи та класифікації сприятимуть подальшому прогресу в галузі IoT, відкриваючи шлях для інновацій та покращення якості життя на глобальному рівні.

Ключові слова: інтернет речей, засоби IoT, системи IoT, класифікація, комунікаційні канали, інтерфейс, канали передачі даних.

BODNARUK VASYL, MANULIAK IRYNA, MELNYCHUK STEPAN
Ivano-Frankivsk National Technical University of Oil and Gas

ASPECTS OF CLASSIFICATION OF IOT DEVICES AND SYSTEMS IN THEIR IMPLEMENTATION

This paper proposes an expanded classification of Internet of Things (IoT) devices that provides a comprehensive view of their diversity, uses, technological aspects, and methods of data collection, processing, and transmission. The focus is on systematizing the wide range of IoT devices used in various contexts, from individual autonomous units to complex information systems. The development of IoT technologies leads to a significant variety of solutions, which, in turn, requires a flexible but at the same time structured classification.

It is of great interest to analyze the key parameters of IoT devices, including types of communication channels, data transmission methods, power consumption levels, application areas, user interfaces, and operating conditions. These factors have a direct impact on the design, implementation, and use of IoT systems in various fields, including industry, consumer, healthcare, and smart cities. Understanding these parameters allows developers and researchers to adapt IoT solutions to the specific needs of users and their environment, ensuring high efficiency and satisfaction of end-user requirements.

The article pays special attention to the analysis of the relationship between different aspects of the classification, which allows to identify an integrated approach to the implementation of IoT in various fields. This approach not only contributes to a better understanding of the potential of the Internet of Things, but also opens up new perspectives for the development of innovative solutions that meet modern technological and social challenges. The use of this classification will facilitate the development of IoT ecosystems, integration of various devices and platforms, and secure and reliable interaction between them.

This classification becomes the basis for a deeper understanding of the scope and capabilities of the Internet of Things, which is crucial for ensuring their efficiency, security and adaptation to the requirements of the modern world. It is expected that the approaches and classifications discussed will contribute to further progress in the field of IoT, paving the way for innovation and improving the quality of life on a global scale.

Keywords: Internet of Things, IoT tools, IoT systems, classification, communication channels, interface, data transmission channels.

Вступ

Одним з відгалужень експансії сучасних комп'ютерних систем є інтеграція їх компонентів, як окремих цифрових функціональних компонентів, що пов'язані між собою, найчастіше безпроводними, комунікаційними каналами. Однією із популярних сьогодні імплементацій є пристрої IoT (інтернету речей), які завойовують популярність, зокрема в побутових та інфраструктурній сферах. Така ситуація зумовлена порівняно нескладними задачами, що вирішують пристрої IoT а також доступною ціною цифрових платформ, найчастіше мікроконтролерних, на яких вони реалізуються. Фактично, IoT починає відігравати ключову роль у сучасному технологічному ландшафті, пропонуючи розширені можливості для інтеграції фізичного та цифрового просторів.

Слід зауважити, що сучасні мікроконтролерні платформи та одноплатні мікрокомп'ютери характеризуються значною обчислювальною потужністю, значним функціоналом, можливостями енергоощадного функціонування тощо. Крім того, інтенсивний розвиток та здешевлення комунікаційних засобів доступу до мережі internet, орієнтованих на короткі дистанції і/або взаємодію через GSM, дозволив об'єднувати згадані пристрої в складі систем, що можуть вирішувати складніші задачі, зокрема моніторингу, сигналізації, керування тощо, що зумовило проникнення IoT у сегмент промислових рішень початкового рівня.

Таким чином, розширений огляд та постійне вдосконалення класифікації пристроїв та систем IoT зумовлені інтенсивним розвитком та інноваційними процесами у сфері цифрових засобів збору, опрацювання та передачі інформації. Основну увагу слід приділити широкому спектру пристроїв, включаючи сенсори для моніторингу параметрів середовища, системи безпеки для сигналізації та оповіщення, що забезпечують відповідний рівень захисту та інтелектуальні системи автоматизації, що забезпечують зручність обліку, контролю та оптимізацію споживання енергоресурсів. Також, в окрему категорію доцільно виділити персональні, часто портативні, пристрої IoT, які використовуються для моніторингу параметрів організму людини [1]. Іншим аспектом класифікації може бути вирішення практичних задач щодо ефективного вибору технологій та компонентів реалізації систем IoT, які розробляються і будуть інтегруватись у повсякденні аспекти діяльності у різних сферах [2].

Основні категорії пристроїв та систем IoT за функціоналом, способами збору, опрацювання та передачі інформації

З огляду на ключову роль пристроїв та систем IoT у сучасному технологічному ландшафті а також особливостями їх використання для вирішенні різних задач доцільно здійснювати їх розділення за **сферою застосування**, зокрема промислового, побутового, інфраструктурного персонального призначення [1, 9, 14, 15].

Системи IoT промислового типу вирішують задачі автоматизації та оптимізацію виробничих процесів, моніторингу параметрів процесів, стану обладнання тощо, що підвищує продуктивність а також дозволяє знизити виробничі витрати.

Системи IoT побутового типу орієнтовані на комфорт, безпеку, енергоефективність тощо, зокрема це системи "smart home" для контролю освітлення, температури, периметру а також побутові прилади, які дистанційно керуються через мобільні додатки чи голосові команди.

Системи IoT інфраструктурного типу задіяні для моніторингу та управління у транспортних системах, водопостачанні, утилізації відходів тощо, що дозволяє покращити рівень міських послуг, знизити вплив на довкілля та підвищити якість життя у містах.

Системи IoT персонального типу найчастіше задіяні для моніторингу здоров'я, персональної активності, а також організатори та планувальники особистих цілей.

Одним з важливим аспектів успішної імплементації пристроїв та систем IoT є розділення за типом **інтерфейсу користувача**, який в залежності від сфери застосування визначає необхідні компоненти та технології взаємодії з IoT [4, 5, 6].

Мануальний (кнопковий) тип інтерфейсу є одними найпоширеніших традиційних методів взаємодії, що забезпечує простоту управління, така фізична взаємодія надає користувачам відчуття прямого контролю над пристроєм.

Графічний (тактильний) App/Web тип інтерфейсу фактично стає стандартом для організації взаємодії з пристроями та системами IoT, зокрема мобільні та web-додатки розроблені засобами HTML5, JavaScript і т.д., що зручно для комплексного моніторингу та управління в широкому спектрі задач.

Голосовий/жестикуляційний тип інтерфейсу є інноваційним щодо взаємодії з пристроями та системами IoT, орієнтований на природний діалог з користувачем, зокрема голосові помічники: Cortana, Siri, Google Assistant тощо, реалізують голосову взаємодію. Жестикуляційні інтерфейси доповнюють рівень інтерактивності, зокрема в системах контролю емоційного стану.

До наступної категорії доцільно віднести розділення засобів та систем IoT за **функціоналом**, зокрема призначених для моніторингу, для керування вузлами та виконавчими механізмами, інтегрування різних комунікаційних технологій тощо [4, 5, 6, 10].

Системи IoT для вимірювання/сигналізації (моніторингу) становлять основу при вирішенні задач збору даних із сенсорів, зокрема температури, вологості, тиску, запиленості тощо а також місцезнаходження (геолокацію) та їх відстеження у просторі, які в подальшому агрегують і опрацьовують на вищих рівнях.

Системи IoT для керування є важливим компонентом в реалізації автоматизованих рішень, що

дозволяє впливати на навколишнє середовище через виконавчі механізми різного типу, зокрема механічних: відкриття/закриття засувок, вентилів, дверей, воріт тощо; електричних: запуски електродвигунів/включення чи виключення освітлення, сигналізації тощо.

Системи IoT інтегруючого/об'єднуючого типу, зокрема шлюзи є ключовими елементами в архітектурі систем IoT, оскільки вони діють як міст між пристроями IoT, мережею та хмарними сервісами, перетворюючи та передаючи дані між різними частинами системи IoT.

Системи IoT комбінованого типу є найпоширеніші оскільки включають елементи різних типів систем, поєднуючи збір даних, керування та інтеграційні можливості в одному рішенні. Комбіновані пристрої надають гнучкість у вирішенні нетипових завдань, де потрібно одночасно збирати дані, аналізувати їх та реагувати на зміни у середовищі чи техпроцесі.

Розділення за **умовами експлуатації** є важливим чинником класифікації пристроїв та систем IoT, що визначає необхідні вимоги щодо виготовлення корпусів та захисту цифрових компонентів, які слід враховувати залежно від сфери застосування та інтерфейсу користувача [8, 11, 14].

Системи IoT внутрішнього розташування призначені для експлуатації всередині приміщень, всередині закритих пристроїв, усередині закритих вивісок, при використанні алюмінієвих профілів, що не потребують високого класу захисту IP. Ця категорія систем IoT часто вимагає високого рівня інтеграції з існуючою інфраструктурою та здатності до роботи у автономному режимі.

Системи IoT зовнішнього розташування охоплюють широкий спектр задач, від персональних мобільних до стаціонарних систем, що експлуатуються на відкритих майданчиках, у місцях, де багато сміття, районах з інтенсивним пішохідним рухом, місцях, де до джерела світла легко доторкнутися, місцях з високою вологістю тощо і потребують високого класу захисту IP. Прикладом можуть слугувати метеорологічні станції, системи моніторингу для сільського господарства, інфраструктурні системи контролю різних параметрів навколишнього середовища чи стану об'єктів інфраструктури.

Адаптація пристроїв та систем IoT до експлуатаційних умов, враховуючи призначення, дозволяє розробникам створювати більш надійні та ефективні рішення. Вибір між внутрішніми та зовнішніми IP системами базується на аналізі потреб користувачів та вимог до середовища використання, що сприяє оптимальному використанню їх потенціальних можливостей.

Виділення окремої категорії пристроїв та систем IoT за **енергоспоживанням** зумовлене необхідність встановлення чітких обмежень щодо сфери застосування, оскільки надіне живлення є ключовим чинником особливо у випадках промислового та медичного використання [4, 13].

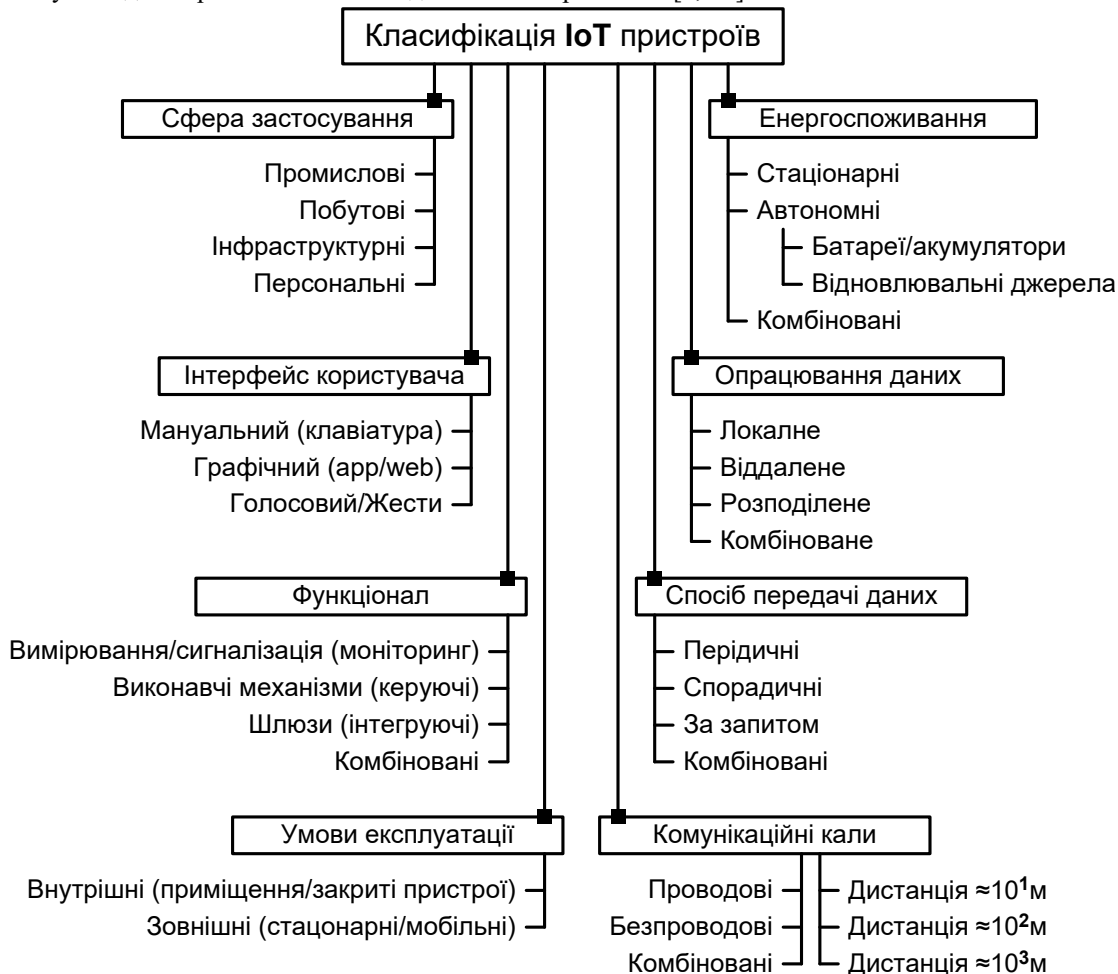


Рис. 1. Класифікація IoT пристроїв

Стационарні системи IoT безпосередньо підключені до зовнішньої електромережі, що забезпечує безперервне живлення, одна виникає необхідність їх додаткового оснащення системами захисту, окрема мережевими фільтрами, диференційними автоматами, стабілізаторами напруг тощо. Згадані системи орієнтовані на вирішення промислових, інфраструктурних та побутових задач, проте залежать від стабільності функціонування електромережі.

Автономні системи IoT орієнтовані на живлення від внутрішніх джерел енергії, які можуть бути заряджені або замінені. Вони призначені для застосувань у важкодоступних місцях або там, де підключення до електромережі відсутнє. Автономність забезпечує гнучкість установки та розширені можливості для мобільних і віддалених застосувань.

Доцільно зазначити, що широкого використання набувають підсистеми живлення на відновлювальних джерелах енергії, зокрема сонячні панелі, вітрові генератори, гравітаційні генератори тощо, які фактично слід розглядати як окремий компонент автономних систем, що забезпечує додаткову зарядку елементів живлення в умовах де заміна акумуляторів або часте обслуговування неможливе.

Комбіновані системи IoT найчастіше реалізуються як різновид стаціонарних, оскільки об'єднують живлення від електромережі з автономними джерелами і можуть автоматично переключатися між ними в залежності від умов експлуатації. Такий підхід забезпечує безперервну роботу в критичних умовах, де недоступність системи може призвести до серйозних наслідків, зокрема у сфері медицини, екологічної безпеки тощо.

У контексті імплементації систем IoT, ефективне управління енергоживленням є критично важливим аспектом, який впливає на надійність, довготривалість роботи пристроїв, їх екологічність та функціональну ефективність.

До окремої категорії слід віднести розділення за способом **опрацювання даних**, оскільки мікроконтролерні платформи мають обмежені обчислювальні ресурси а сучасні комунікаційні технології дозволяють делегувати громіздкі обчислювальні процеси на платформи з достатніми ресурсами пам'яті та процесорного часу [4, 5, 12].

Локальне опрацювання сигналів/даних реалізується безпосередньо обчислювальними ресурсами пристрою IoT, що може включати аналогове опрацювання, зокрема фільтрацію, підсилення АЦ-перетворення тощо а також цифрове – опрацювання, найчастіше амплітудне, статистичне, кореляційне, регресійне, кластеризація, оцінювання спектру тощо, яке реалізується ресурсах DSP, мікроконтролерів, FPGA. Такий підхід має перевагу в швидкості реагування та здатності працювати в автономному режимі, мінімізуючи залежність від зовнішніх мережових з'єднань однак потребує наявності локальних обчислювальних ресурсів.

Віддалене (Cloud) опрацювання даних передбачає передачу даних із пристроїв IoT на Cloud платформу через комунікаційні канали, зокрема; Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN або стільниковий зв'язок. На Cloud платформах, таких як AWS IoT, Azure IoT, Google Cloud IoT, реалізуються складні алгоритми опрацювання даних, включаючи машинне навчання для аналізу даних, прогнозування, розпізнавання аномалій та оптимізації. Cloud надає значні обчислювальні ресурси та ресурси пам'яті для зберігання даних, однак потребує надійного зв'язку і характеризується наявністю часових затримок порівняно з локальним опрацюванням.

Розподілене опрацювання даних передбачає паралельне використання обчислювальних ресурсів різних платформ, зокрема це про масштабні рішення для великих промислових об'єктів, сільськогосподарських структур, інфраструктури міст тощо. Такий підхід потребує інтеграції значної кількості пристроїв IoT, здатних збирати та обмінюватися даними, що зумовлює необхідність забезпечення відповідної надійності комунікаційних каналів.

Комбіноване опрацювання даних фактично реалізується на сумісному використанні локального, де відбувається попереднє опрацювання сигналів на основі відносно нескладних алгоритмів і уже підготовлені дані передаються на віддалене чи розподілене опрацювання на основі складних алгоритмів, зокрема регресійного аналізу, прогнозування, оптимізації тощо. Такий підхід дозволяє створити гнучку архітектуру, що адаптується до специфічних потреб кожної IoT-системи, враховуючи швидкодію, надійність, доступність та безпеку. Декомпозиція задачі між локальним та віддаленим опрацюванням є ключовою для створення ефективних, надійних та економічно вигідних IoT-рішень, здатних вирішувати широкий спектр завдань від простого моніторингу до складної автоматизації та аналітики.

Ефективне використання комунікаційних каналів зумовлює необхідність розділення пристроїв та систем IoT за **способом передачі даних**, оскільки інтенсивні інформаційні потоки приводять до значних інформаційних втрат та перевантаження каналів обміну даними [2, 7].

Періодична передача даних здійснюється з фіксованою частотою, що зручно для вирішення задач тривалого моніторингу, зокрема параметрів середовища, обладнання тощо, частота зміни яких невисока порівняно з частотою спостереження, це спрощує аналіз даних і планування мережевого навантаження, однак неефективно використовує комунікаційних канал.

Спорадична передача даних здійснюється нерегулярно оскільки ґрунтується на подіях пов'язаних зі зміною контрольованих параметрів, зокрема, перевищення апертури сигналу, зміна частотного спектру, форми тощо. Такий підхід ефективний у випадках постійного моніторингу з необхідністю швидкої (без затримок, що наявні при періодичному підході) реакції а також дозволяє ефективніше використовувати

комунікаційні канали оскільки за відсутності означених відхилень контрольованих параметрів дані не передаються.

Передача даних за запитом (On-Demand) ініціюється ззовні в залежності від потреб системи, що забезпечує високу гнучкість у використанні мережевих та обчислювальних ресурсів мінімізуючи навантаження на комунікаційні канали, зменшуючи енергоспоживання тощо. Такий підхід ефективний у випадках, де постійний моніторинг не є обов'язковим але важливо мати можливість швидко зібрати необхідні дані.

Комбінована передача даних фактично включає елементи як періодичної, спорадичної та передачі за запитом, зокрема дані можуть передаватися з фіксованою частотою але при цьому система здатна реагувати на зміну контрольованих параметрів і формувати відповідні повідомлення. Така інтеграція дозволяє створити високоадаптивні системи IoT, які здатні ефективно реагувати на динамічно змінювані параметри процесів, умови експлуатації тощо.

Обмеження щодо способів організації **комунікаційних каналів** приводить до необхідності виділення такої категорії, оскільки вибір середовища та технології обміну даними визначають обмеження щодо дистанції комунікації а також накладають ряд обмежень у випадках промислового та медичного використання [2, 3, 4].

Проводові канали, зокрема Ethernet, RS-232, RS-485, Modbus тощо, забезпечують ефективну роботу завдяки високій механічній міцності, заводо захищеності, значно меншій залежності від метеорологічних умов тощо. Слід зазначити, що волоконно-оптичні канали дозволяють передавати значні обсяги даних з мінімальними затримками і практично не залежать від флуктуації умов навколишнього середовища.

Бездротові канали, зокрема Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee, LoRaWAN, GSM тощо, найчастіше реалізуються на основі радіо- та оптичних, часто інфрачервоних, комунікаційних каналів не потребують формування мережі фізичного середовища передачі сигналів (як проводові), що суттєво спрощує організацію комунікації однак характеризуються низькою стійкістю до завод, що потребує використання складних алгоритмів опрацювання сигналів.

Комбіновані канали передбачають організацію передачі даних як послідовну структуру з різним середовищем поширення сигналів, зокрема при передачі даних з первинних перетворювачів для попереднього опрацювання часто використовують проводові (кабельні) канали, інколи оптичні (інфрачервоного діапазону), при подальшій передачі на значні дистанції – оптоволоконні, радіоканали тощо.

Слід зазначити, що згадані вище канали передачі даних в системах IoT, з врахуванням дистанції надійної комунікації, можна розділити на:

Короткі: - NFC (Near Field Communication) до 10 см. NFC використовується для безконтактних платіжних систем та ідентифікації;

- RFID (Radio-Frequency Identification) від кількох сантиметрів до 1-2 метрів для пасивних тегів; активні теги можуть передавати на десятки метрів, використовується в логістиці;

Середні: - Bluetooth/ Zigbee: до 100 метрів використовується в персональних пристроях та пристроях побутового вжитку а також для створення масштабованих мережевих систем;

- Wi-Fi до 50 метрів у приміщенні та до 100 метрів на відкритому просторі, є стандартом для забезпечення інтернет-з'єднання для побутових та промислових об'єктів;

Великі: - LTE-M та NB-IoT від кількох кілометрів у міських умовах до десятків кілометрів у за містом, розроблені для забезпечення зв'язку між пристроями IoT з низьким енергоспоживанням.

- LoRaWAN від 2 до 5 кілометрів у міських умовах та до 15 за межами міста, підтримує створення мереж з великим радіусом дії та низьким енергоспоживанням;

- GSM (Global System for Mobile Communications), стільниковий мобільний зв'язок на відстані, що обмежені покриттям мобільного оператора зв'язку;

- Супутниковий зв'язок забезпечує глобальне покриття, де інші види зв'язку недоступні.

Висновки

Розглянувши аспекти класифікації пристроїв та систем IoT охоплюють широкий спектр критеріїв від типів систем за функціональним призначенням, способів та методів опрацювання даних до класифікацій за енергоспоживанням, середовищем розгортання, сумісністю, продуктивністю, організацією інтерфейсу користувача тощо. Кожен зі згаданих аспектів відіграє важливу роль при розробці та імплементації систем IoT, накладає відповідні обмеження та визначає їх ефективність, адаптивність, зручність використання тощо.

Відправною точкою доцільно вважати функціональне призначення яке безпосередньо пов'язане зі сферою використання, зокрема моніторинг, оповіщення, управління і т.д. Способи та методи опрацювання інформаційно-вимірювальних сигналів та даних визначає структурну організацію компонентів та систем IoT, вимоги до апаратного та програмного забезпечення а також обмеження щодо енергоспоживання. Класифікація за експлуатаційними умовами визначає особливості вибору оптимальних рішень щодо особливостей виготовлення та захисту таких компонентів з врахуванням середовища в якому вони будуть функціонувати а також можливі обмеження при інтеграцію з іншими системами. Загалом, запропонована класифікація дозволяє з різних сторін оцінити та визначити ключові параметри та обмеження, що необхідно враховувати при розробці та імплементації пристроїв та систем IoT.

Вибір конкретних технологій, платформ, та методик розробки залежить від багатьох факторів, і гнучке застосування різних класифікацій дозволяє створювати ефективні, надійні та користувацько-

орієнтовані рішення. Враховуючи швидкий розвиток технологій пристроїв та систем IoT, такий комплексний підхід є важливим для задоволення зростаючих потреб у різних сферах застосування.

References

1. Gaikwad S. V. IoT in Healthcare Domain. *International Journal for Research in Applied Science & Engineering Technology (IJRASET)*. 2024. Vol. 12, Issue II. P. 864-868. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.58473>.
2. IoT Fundamentals: Networking Technologies, Protocols, and Use Cases for the Internet of Things / [D. Hanes, G. Salgueiro, P. Grossetete et al.]. Indianapolis, USA: Cisco Press, 2017. 543 p.
3. Swamy, S.N., Kota, S.R. An empirical study on system level aspects of internet of things (IoT). *IEEE Access*. 2020. Vol. 8. P. 188082–188134.
4. Lea, Perry. *IoT and Edge Computing for Architects*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2020. 606 p.
5. Lea, Perry. *Internet of Things for Architects*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2018. 499 p.
6. Smeenk, Harry G. *Internet of Things for Smart Buildings*. Birmingham, UK: Packt Publishing Ltd., 2023. 298 p.
7. Al-Fuqaha, A., Guizani, M., Mohammadi, M., Aledhari, M., & Ayyash, M. Internet of Things: A Survey on Enabling Technologies, Protocols, and Applications. *IEEE Communications Surveys & Tutorials*. 2015. Vol. 17, No. 4. P. 2347-2376. <https://doi.org/10.1109/COMST.2015.2444095>.
8. Harvesting System, The Internet of Things: A survey. *Computer Networks*. 2010. Vol. 54, No. 15. P. 2787-2805.
9. Gubbi, J., Buyya, R., Marusic, S., & Palaniswami, M. Internet of Things (IoT): A vision, architectural elements, and future directions. *Future Generation Computer Systems*. 2013. Vol. 29, No. 7. P. 1645-1660. <https://doi.org/10.1016/j.future.2013.01.010>.
10. Buyya, Rajkumar; Dastjerdi, Amir Vahid. *Internet of Things: Principles and Paradigms*. Cambridge, USA: Elsevier, 2016. 354 p.
11. Bessis, N., Dobre, C. *Big Data and Internet of Things: A Roadmap for Smart Environments*. Springer, 2014. 470 p.
12. Shi, Weisong; Cao, Jie; Zhang, Quan; Li, Youhuizi; Xu, Lanyu. Edge computing: Vision and challenges. *IEEE Internet of Things Journal*. 2016. Vol. 3, No. 5. P. 637–646. <https://doi.org/10.1109/JIOT.2016.2579198>.
13. Barker, Peter; Hammoudeh, Mohammad. "A survey on low power network protocols for the Internet of Things and wireless sensors networks". *ICFNDS '17: Proceedings of the International Conference on Future Networks and Distributed Systems*. 2017. No. 44. P. 1-8.
14. Pattanayak, B.K., Nohur, D., Cowlessur, S.K. An IoT-Based System Architecture for Environmental Monitoring. *Progress in Advanced Computing and Intelligent Engineering*. 2021 P. 507–514. https://doi.org/10.1007/978-981-33-4299-6_42.
15. Tong, Raymond Kai-Yu. *Wearable Technology in Medicine and Health Care*. London, UK: Elsevier, 2018. 340 p.