

DOI: <https://doi.org/10.36910/6775-2524-0560-2022-46-07>

УДК 612.087.1

Ткачук Анатолій Анатолійович, к.т.н., доцент

<https://orcid.org/0000-0001-9085-7777>

Свіржевський Костянтин Миколайович, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-8738-8436>

Грисюк Ольга Анатоліївна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0001-8250-4576>

Трохимчук Іванна Михайлівна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0002-0737-6452>

Ткачук Валентина Вікторівна, аспірант

<https://orcid.org/0000-0003-3296-3111>

Луцький національний технічний університет

## АНАЛІЗ ІНТЕРФЕЙСІВ МЕРЕЖ ТА СИСТЕМ ПРОМИСЛОВОГО ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ

**Ткачук А.А., Свіржевський К.М., Грисюк О.А., Трохимчук І.М., Ткачук В.В. Аналіз інтерфейсів мереж та систем промислового Інтернету речей.** Концепція Інтернету речей (IoT), передбачає активне впровадження вбудованих технологій в сучасні інфокомунікаційні мережі зв'язку. Дана концепція охоплює все більше число областей людської життєдіяльності. В рамках концепції IoT розвивається напрямок - промисловий Інтернет речей (Industrial Internet of Things – IIoT), який охоплює питання створення гетерогенної інтелектуальної системи автоматизації роботи промислових об'єктів та підприємств. Системи IIoT використовуються в різних областях виробництва, таких як інтелектуальне виробництво, сільське господарство, виробництво електронних пристроїв, машинобудування, виробництво верстатів, автоматизація збору та обліку даних тощо. Відповідно до ІТУ-Т Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things», IIoT – це концепція перетворення промисловості, яка використовує для цього існуючі і нові інформаційні та телекомунікаційні технології і заснована на концепції Інтернету речей. В рамках концепції IIoT проводиться автоматизація роботи промислового обладнання, розрахунки економічних показників, забезпечення безпеки працівників. Основною відмінністю систем цього типу є їх тісний контакт з хмарними технологіями і використання систем здатних самостійно навчатися та створювати нейронні зв'язки для поточної оцінки роботи підприємства та планування його розвитку.

**Ключові слова:** контроль, моніторинг, архітектура, додаток, протокол, база даних, Industrial Internet of Things.

**Ткачук А.А., Свіржевський К.М., Грисюк О.А., Трохимчук І.М., Ткачук В.В. Анализ интерфейсов сетей и систем промышленного Интернета вещей.** Концепция Интернета вещей (IoT), предполагает активное внедрение встроенных технологий в современные инфокоммуникационные сети связи. Данная концепция включает все большее число областей человеческой жизнедеятельности. В рамках концепции IoT развивается направление – промышленное Интернет вещей (Industrial Internet of Things – IIoT), которое охватывает вопросы создания гетерогенной интеллектуальной системы автоматизации работы промышленных объектов и предприятий. Системы IIoT используются в различных областях производства, таких как интеллектуальное производство, сельское хозяйство, производство электронных устройств, машиностроение, производство станков, автоматизация сбора и учета данных. Согласно ИТУ-Т Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial things», IIoT – это концепция преобразования промышленности, использующая для этого существующие и новые информационные и телекоммуникационные технологии и основанная на концепции Интернета вещей. В рамках концепции IIoT производится автоматизация работы промышленного оборудования, расчет экономических показателей, обеспечение безопасности работников. Основным отличием систем этого типа является их тесный контакт с облачными технологиями и использование систем, способных самостоятельно учиться и создавать нейронные связи для текущей оценки работы предприятия и планирования его развития.

**Ключевые слова:** контроль, мониторинг, архитектура, приложение, протокол, база данных, Industrial Internet of Things.

**Tkachuk A.A., Svirzhevsky K.M., Grisyuk O.A., Trokhimchuk I.M., Tkachuk V.V. Analysis of network interfaces and industrial Internet of things systems.** The concept of the Internet of Things (IoT) involves the active introduction of embedded technologies in modern infocommunication networks. This concept includes an increasing number of areas of human life. Within the framework of the IoT concept, a direction is being developed - the Industrial Internet of Things (IIoT), which covers the issues of creating a heterogeneous intelligent system for automating the operation of industrial facilities and enterprises. IIoT systems are used in various areas of production, such as smart manufacturing, agriculture, electronic device manufacturing, mechanical engineering, machine tool manufacturing, automation of data collection and accounting. According to ITU-T Y.4003 "Overview of smart manufacturing in the context of the industrial things", IIoT is the concept of industrial transformation, using existing and new information and telecommunication technologies for this, and based on the concept of the Internet of things. As part of the IIoT concept, industrial equipment operation is automated, economic indicators are calculated, and worker safety is ensured. The main difference between systems of this type is their close contact with cloud technologies and the use of systems that can independently learn and create neural connections for the current assessment of the enterprise and planning its development.

**Keywords:** control, monitoring, architecture, application, protocol, database, Industrial Internet of Things.

### **Постановка наукової проблеми.**

Впровадження технологій, які відносяться до ІоТ, пов'язане з проблемами інтеграції цих технологій з застарілими рішеннями для промислової автоматизації та з недоскональностями систем автоматизації на підприємствах [1]. Рішення даних проблем полягає в розробці єдиних технологічних стандартів для інтеграції систем промислової автоматизації, обладнання, що не має цифрових інтерфейсів управління, з системами ІоТ [2]. На промислових підприємствах існує ряд напрямків, робота яких підлягає автоматизації. Крім очевидної автоматизації роботи виробничого устаткування (фрезерні верстати, токарні верстати, зварювальне обладнання, промислові маніпулятори), існує ряд напрямків, які підлягають автоматизації в рамках підприємства і пов'язаних з безпекою та діяльністю [3]. В якості основних сегментів автоматизації доцільно виділити наступні області:

1. Автоматизація роботи виробничого обладнання дозволяє автоматизувати повсякденні операції, які виконує людина: збирати інформацію про стан обладнання від вбудованих датчиків, проводити аналіз отриманого значень і на основі результатів аналізу давати рекомендації по експлуатації обладнання. Для такого випадку автоматизації необхідно розробити і реалізувати сценарії підключення різних типів обладнання до систем ІоТ :

- обладнання, що не має цифрових систем контролю роботи;
- обладнання, що не має вбудованої підтримки мережевої взаємодії зі сторонніми промисловими системами, такими як OPC UA, SCADA;
- устаткування, що підтримує взаємодію з промисловими системами контролю роботи обладнання.

2. Автоматизація моніторингу та управління станом продукції підприємства. Моніторинг стану продукції підприємства дозволяє оцінити реальні експлуатаційні характеристики продукції і дозволяє контролювати технологічні процеси її виробництва, в залежності від результатів аналізу даних моніторингу.

3. Автоматизація роботи бізнес-додатків, таких як системи планування ресурсів підприємства (ERP), управління взаємодії з клієнтами (CRM), управління життєвим циклом продукту (PLM), виконання виробничих процесів (MES), управління людськими ресурсами (HRM). Збір і акумуляція даних з бізнес-додатків в єдину систему моніторингу та управління промисловим підприємством на основі ІоТ дозволяє зробити комплексну оцінку роботи підприємства з точки зору економічної рентабельності і генерувати рекомендації з економічного планування та логістики.

4. Автоматизація роботи мультимедійних систем моніторингу безпеки промислового підприємства. Такі системи у формі відеомоніторингу, використовуються для контролю дотримання правил забезпечення безпеки працівників підприємства і контролю доступу на територію. Інтеграція цього типу обладнання з системами ІоТ дозволяє забезпечити надійну ідентифікацію, аутентифікацію і авторизацію персоналу підприємства і безперервний контроль дотримання техніки безпеки в виробничих приміщеннях.

5. Системи локального і глобального позиціонування можуть використовуватися для збору даних про місцезнаходження того чи іншого об'єкта на території підприємства. Їх впровадження в системи ІоТ дозволяє відстежувати місцезнаходження і технічний стан обладнання або продукції і на основі отриманої інформації створювати рекомендації по експлуатації обладнання або продукту, а також розробляти інженерні методики управління життєвим циклом продукції.

6. Автоматизація збору і аналіз даних з відкритим доступом з мережі Інтернет. Отримана інформація може використовуватися для вирішення завдань позиціонування промислових систем, для взаємодії з клієнтами підприємства, для збору статистики про функціональні якості готової продукції. Таким чином інтеграція систем ІоТ є стратегічним завданням розвитку промисловості, але для цього потрібно виконання ряду заходів з розроблення нормативної бази та гармонізації існуючих стандартів.

### **Аналіз досліджень.**

Технології ІоТ є складовою частиною концепції ІоТ, і перед описом існуючих еталонних архітектур ІоТ доцільно розглянути загальну еталонну архітектуру ІоТ, яка регламентується стандартом ІТУ-Т Y.4000 / Y.2060 «Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models», зображену на рис. 1 [4].

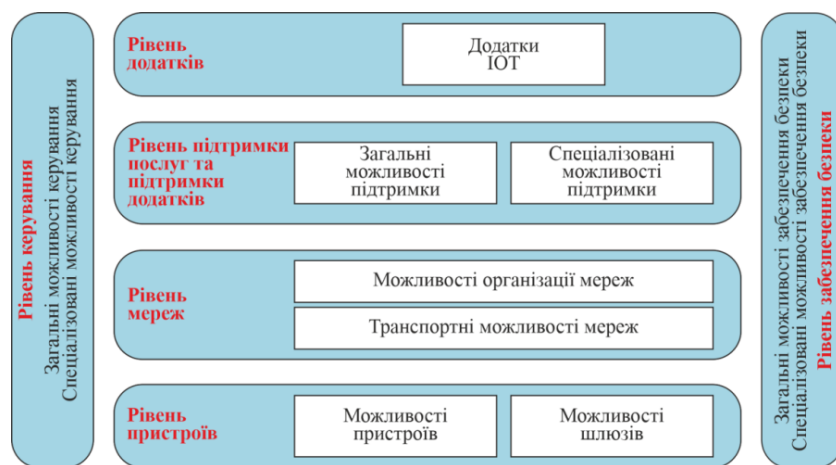


Рис. 1. Класична архітектура ІоТ

Дана архітектура складається з чотирьох функціональних і двох не функціональних рівнів. У число функціональних входять такі рівні:

1. Рівень додатків, що включає в себе програмне забезпечення кінцевих пристроїв, серверів, шлюзів та інших елементів мереж ІоТ.

2. Рівень підтримки послуг і підтримки додатків, включає в себе наступні елементи:

- Загальні можливості підтримки, які можуть бути використані різним програмним забезпеченням ІоТ, таким як системи управління базами даних або системи аналізу даних. Дані можливості можуть бути використані для забезпечення підтримки спеціалізованих можливостей підтримки.

- Спеціалізовані можливості підтримки, які призначені для задоволення вимог різних комплексних програмних систем.

3. Рівень мережі включає в себе наступні елементи:

- Можливості організації мереж, які надають функції управління мережевими з'єднаннями, такими як функції управління доступом, транспортним ресурсом, мобільністю, функціями ААА (аутентифікація, авторизація, облік мережесих ресурсів).

- Можливості транспортування, надають сполуки для передачі інформації по мережах у вигляді пакетів даних, що відносяться до послуг і додатків ІоТ, а також передачі керуючих повідомлень.

4. Рівень пристрою, включає в себе наступні елементи:

- Пропускна здатність включають в себе наступні функції:

А) Пряма взаємодія з мережею зв'язку. Пристрої ІоТ здатні відправляти інформацію безпосередньо, без використання можливостей шлюзів ІоТ, з мереж зв'язку загального користування (МЗК) і отримувати інформацію з МЗК.

В) Непряма взаємодія з мережею зв'язку. Пристрої ІоТ здатні відправляти інформацію в МЗК непрямо, за допомогою можливостей шлюзів ІоТ і отримувати інформацію з МЗК.

С) Організація спеціальних мереж. Пристрої ІоТ можуть підтримувати можливість будувати мережі довільним, динамічним способом.

Д) Сплячий режим і пробудження. Пристрої ІоТ можуть підтримувати вискоєфективні енергозберігаючі механізми (такі як «глибокий сон») і можливості їх пробудження.

- Можливості шлюзу включають в себе наступні функції:

А) Підтримку множин мережесих інтерфейсів. Шлюз ІоТ може підтримувати відразу кілька провідних і бездротових технологій для передачі даних між пристроями ІоТ на каналному (CAN, ZigBee, Bluetooth, Wi-Fi) і мережевому (2G, 3G, 4G, 5G, DSL, супутникові мережі) рівнях.

В) Підтримку перетворення протоколів. Шлюз ІоТ повинен забезпечувати можливість взаємодії пристроїв ІоТ шляхом взаємного перетворення мережесих повідомлень на каналному, мережевому, транспортному і прикладному рівнях.

До числа не функціональних входять такі рівні:

1. Рівень управління. Системи ІоТ повинні надавати методи управління мережами зв'язку ІоТ, забезпечувати обробку виникаючих помилок, облік мережесих ресурсів, надання звітів про роботу мережевого обладнання. Найважливішими функціями даного рівня є:

- Управління пристроями ІоТ: діагностика, дистанційне керування активацією і деактивацією пристроїв, оновлення програмного забезпечення пристроїв, управління станом пристроїв.

- Управління структурою локальної мережі IoT.
- Управління трафіком і перевантаженнями: виявлення перевантажень, їх причинг, резервування ресурсів.

2. Рівень забезпечення безпеки. Системи IoT повинні включати в себе основні загальні можливості забезпечення безпеки передачі призначених для користувача даних і підтримку опціональних спеціальних методів забезпечення безпеки мережі. Найважливішими функціями даного рівня є:

- На прикладному рівні: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних додатків, захист недоторканності призначених для користувача даних, контроль безпеки і антивірусний захист.
- На рівні мережі: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних про роботу мережі і сигналізації, а також захист цілісності даних сигналізації.
- На рівні пристрою: аутентифікація, авторизація, захист конфіденційності і цілісності даних про пристрій, управління доступом.

На основі еталонної архітектури IoT в ІТU-T була розроблена функціональна архітектура систем «smart production», заснована на рішеннях ІoT, описана в стандарті ІТU-T Y.4003 «Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things» і зображена на рис. 2 [2].



Рис. 2. Функціональна архітектура систем ІoT

Представлена на рис. 2 архітектура ділиться на наступні рівні:

1. Рівень управління життєвими циклами. Даний рівень відповідає за управління життєвими циклами роботи підприємства і охоплює системи виробничого підприємства, наприклад системи для проектування, виробництва, управління і технічного обслуговування продукції. В якості основних життєвих циклів підприємства можна виділити наступні:

- Цикл продукту, що включає в себе проектування та розробку відповідної виробничої системи, проектування, розробку, виробництво, тестування, технічне обслуговування продукції, що випускається, використання продукту користувачем, переробку або утилізацію відходів виробництва.
- Цикл виробничої системи, що включає в себе проектування, збір, експлуатацію, технічне обслуговування та виведення з експлуатації всієї виробничої системи.
- Цикл реалізації, що включає в себе функції, пов'язані із взаємодією постачальника і клієнта.
- Інші життєві цикли, які також можуть бути включені в дану систему, при наявності особливих вимог до «smart production».

2. Рівень інтеграції забезпечує інтеграцію всіх ресурсів, систем і процесів, що беруть участь в різних життєвих циклах, пов'язаних з виробництвом продукції, через всі рівні виробничої системи для створення середовища для додатків. Цей рівень включає наступні види інтеграції:

- Вертикальна інтеграція, що відповідає за те, щоб нові технологічні рішення були включені в уже існуючу систему через вищі рівні виробничої системи.
- Горизонтальна інтеграція, що відповідає за те, щоб нові технологічні рішення були інтегровані у вже існуючу систему на одному системному рівні.

• Наскрізна інтеграція, що дозволяє з'єднати кожну фазу життєвого циклу продукту, що виробляється через весь ланцюжок реалізації продукту, в тому числі через різні підприємства.

3. Рівень додатків, який відповідає за реалізацію кінцевих додатків, що застосовуються для вирішення різних завдань. Як приклад можна навести такі програми:

• Інноваційне виробництво є одним з видів «smart production» і включає в себе такі додатки, як віртуальне виробництво, гнучке виробництво і індивідуальне виробництво.

• Обслуговування відповідає за аналіз даних, що надходять від виробничих інструментів, обладнаних різного роду датчиками, які збирають інформацію про поточний стан обладнання, і за прийняття рішень на основі результатів аналізу, що може запобігати збоєм обладнання.

Таким чином, ІТУ-Т не виділяє окрему еталонну архітектуру для опису систем ПоТ, а використовує вже раніше розроблену архітектуру ІоТ, додаючи до неї нові вимоги, пов'язані зі специфікою роботи промислових підприємств.

На відміну від ІТУ-Т ІС виділяє спеціальну еталонну архітектуру ПоТ в стандарті «The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture», що визначає еталонну архітектуру, як результат застосування шаблону архітектури до існуючих систем для управління, ідентифікації, аналізу та рішень загальних архітектурних проблем [5]. Еталонна архітектура може використовуватися як шаблон для конкретної реалізації систем ПоТ під час проектування.

На рис. 3 наведена структура взаємодії між рівнями ПоТ, промисловими секторами і життєвими циклами товарів, тут можна виділити чотири рівні:

1. Рівень бізнес-процесів – включає в себе проблеми визначення зацікавлених сторін, їх завдань, цілей, бізнес-планів при створенні системи ПоТ в її діловому і правовому контексті. Далі на цьому рівні визначається, яким чином система ПоТ досягає цілей, за допомогою зіставлення з основними можливостями системи.

2. Рівень взаємодії – включає в себе проблеми, що виникають в ході використання системи користувачами (людьми або додатками).



Рис. 3. Загальна структура взаємодії між рівнями ПоТ, промисловими секторами і життєвими циклами товарів

3. Функціональний рівень – включає в себе проблеми, що виникають при роботі різних функціональних компонентів в системах ПоТ, в їх структурі, інтерфейси і механізми взаємодії між ними, а також при взаємодії системи з зовнішніми позасистемними елементами.

4. Рівень впровадження – розглядає проблеми, які пов'язані з роботою технологій, необхідних для реалізації функціональних компонентів (функціональний рівень), структури їх взаємодії і життєвого циклу. Ці компоненти координуються діями користувачів (рівень взаємодії) і підтримкою бізнес-процесів (рівень бізнес-процесів).

Дані рівні можуть бути реалізовані на різних етапах життєвого циклу продукту і можуть бути впроваджені в різні промислові сектори, що і відображено на рис. 3.

Даний документ цікавий тим, що в ньому представлено функціональний рівень. На рис. 4 зображено діаграма потоків даних на функціональному рівні ПоТ, де зелені стрілки позначають інформаційні потоки, червоні – керуючі потоки, а оранжеві – потоки прийняття рішень.

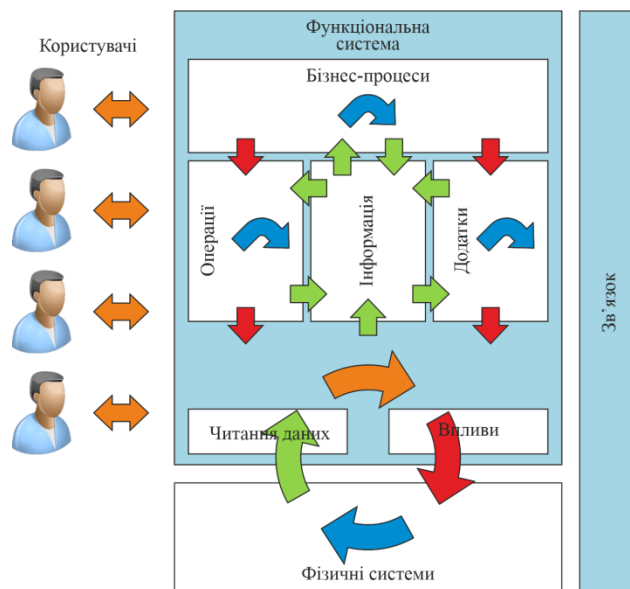


Рис. 4. Діаграма потоків даних на функціональній структурі еталонної архітектури ІоТ

Представлена діаграма (рис. 4) включає в себе наступні області:

1. Управління – це функціональна область, яка використовується для реалізації систем управління пристроями ІоТ. Вона є сукупністю функцій, які виконують промислові системи управління і автоматизації.

2. Операції – це функціональна область, яка використовується для управління додатками та пристроями, які відносяться до групи управління.

3. Інформація – це функціональна область, яка відповідає за обробку даних. Ця область складається з набору функцій для збору даних і різних областей, в першу чергу із області управління і перетворення, зберігання та моделювання або аналізу цих даних, для отримання зразкової інформації про всю систему в цілому.

4. Додатки – це функціональна область, яка використовується для реалізації логіки роботи програми. Ця область включає в себе набір функцій, які реалізують логіку роботи програми, що реалізує бізнес-процеси.

5. Бізнес-процеси – це функціональна область для реалізації логіки роботи бізнес-процесів. Ця область включає в себе функції, які підтримують бізнес-процеси, які система ІоТ повинна підтримувати для забезпечення наскрізних життєвих циклів всередині рішень ІоТ. Наприклад: ERP, CRM, PLM, MES, HRM.

6. Дана функціональна структура розширена областю «Зв'язок», опис якої є в документі «The Industrial Internet of Things Volume G5: Connectivity Framework» [6]. Ця область забезпечує можливість обміну інформацією між елементами в межах однієї функціональної області та між функціональними областями та між іншими системами.

#### **Виклад основного матеріалу й обґрунтування отриманих результатів дослідження.**

Системи ІоТ регламентуються вимогами до показників надійності доставки повідомлень, внаслідок чого дуже часто розробники систем ІоТ використовують спеціальні галузеві протоколи передачі даних, які використовуються в сфері промислової автоматизації. Для дослідження протоколів передачі ІоТ були обрані такі технології:

- CoAP (Constrained Application Protocol) [7].
- MQTT (Message Queuing Telemetry Transport) [8].
- XMPP (Controller Area Network) [9].
- HTTP (HyperText Transfer Protocol) [10].
- ModBus [11].
- OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) [12].

CoAP (Constrained Application Protocol) – протокол передачі даних прикладного рівня, заснований на клієнт-серверній архітектурі. CoAP є протоколом стеку TCP/IP, який підтримує протоколи IPv4, IPv6, 6LoWPAN і працює вище транспортного протоколу UDP.

Мережа CoAP має наступні типи пристроїв (рис. 5):

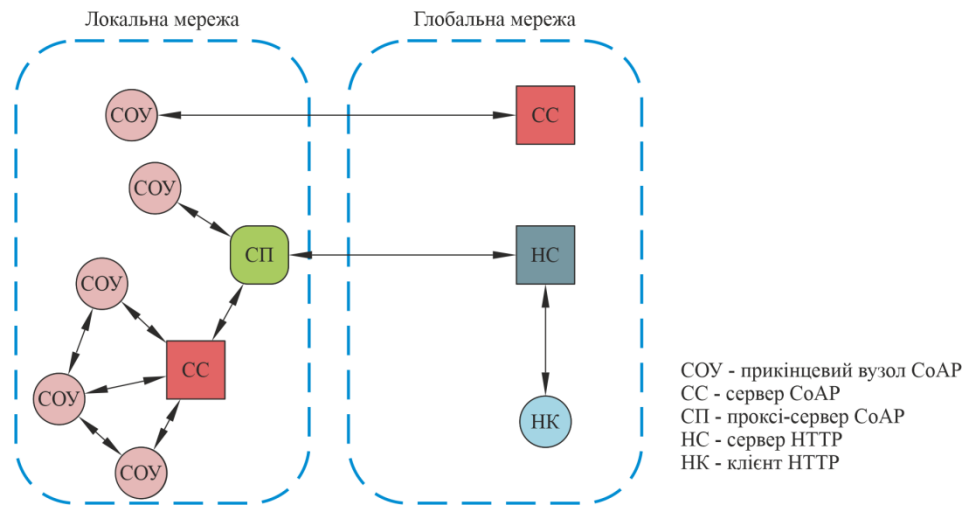


Рис. 5. Архітектура мережі CoAP

- Кінцевий вузол (CoAP Node). Може встановлювати з'єднання з прикінцевим вузлом (ПВ), сервером та проксі-сервером CoAP.
- Сервер (CoAP Server). Може встановлювати з'єднання з ПВ, сервером и проксі-сервером CoAP.
- Проксі-сервер CoAP (CoAP Proxy). Може встановлювати з'єднання з ПВ, сервером і проксі-сервером CoAP та з сервером HTTP.

CoAP має два рівня QoS:

- Доставка повідомлень без підтвердження.
- Доставка повідомлень із підтвердженням.

Ці протокол підтримують наступні типи повідомлень:

- GET - запит необхідної інформації у сервера за допомогою формування запиту у рядку URI.
- PUT - відправлення інформації до серверу вказаного в запиті URI.
- POST - відправка інформації до серверу вказаного в запиті URI.
- DELETE - видалення вказаного URI ресурсу.

Для забезпечення безпечної передачі даних протокол CoAP використовує алгоритм DTLS.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) - протокол передачі даних прикладного рівня, який функціонує на основі принципу «publisher-subscriber». MQTT має низьку обчислювальну складність і тому використовується у вбудованих пристроях, у тому числі пристроях ІоТ. MQTT є протоколом стеку TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 та працює поверх транспортного протоколу TCP.

Принцип «publisher-subscriber» реалізовано в MQTT наступним чином (рис. 6) [13]:

1. Видавець встановлює з'єднання з брокером.
2. Далі брокер чекає на запит з'єднання від підписника і при отриманні встановлює його.
3. Потім підписник підписується на певну тему (topic), MQTT-брокер прикріплює цього підписника до цієї теми.
4. Якщо у видавця оновлюється будь-яка інформація, пов'язана з цією темою, видавець автоматично повідомляє це брокеру.
5. Брокер, у свою чергу, передає цю інформацію всім підписаним на цю тему підписникам.

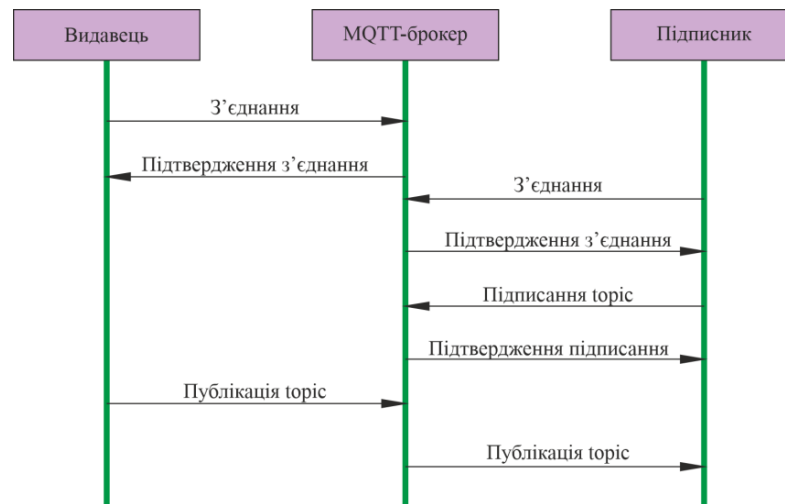


Рис. 6. Принцип взаємодії «видавць - підписник» для MQTT

Цей протокол має три рівні якості обслуговування (Quality of Service):

- Рівень 0 означає, що видавець і брокер намагаються виконати одноразову доставку повідомлення, але для підтвердження доставки використовують лише стандартні процедури підтвердження TCP/IP.
- Рівень 1 означає, що видавець і брокер перевіряють доставку повідомлення і воно може бути відправлено більше одного разу.
- Рівень 2 означає, що видавець і брокер перевіряють доставку повідомлення, що може бути відправлено лише один раз.

Для забезпечення безпеки передачі даних протокол використовується алгоритм SSL/TLS.

XMPP (Extensible Messaging and Presence Protocol) - відкритий децентралізований протокол передачі даних прикладного рівня, що спочатку призначений для сервісів миттєвого обміну повідомленнями та функціонує на основі принципу «видавць - підписник» (publisher-subscriber), який використовує формат XMP як основну форму передачі даних. Даний протокол використовується в сфері ІоТ.

XMPP є протоколом стека TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 та працює поверх транспортного протоколу TCP.

Мережа XMPP має наступні типи пристроїв (рис. 7):

- Сервер XMPP Може встановлювати з'єднання зі шлюзом XMPP та клієнтом XMPP.
- Клієнт XMPP. Може встановлювати з'єднання з сервером XMPP.
- Шлюз XMPP. Може встановлювати з'єднання з сервером XMPP та зовнішніми серверами.

Цей протокол має три рівні якості обслуговування (Quality of Service):

- Без підтвердження доставки.
- З підтвердженням доставки та можливістю багаторазового відправлення пакета.
- З підтвердженням доставки та одноразовою передачею пакета.

Для забезпечення безпеки передачі даних XMPP використовує алгоритм SSL/TLS.

HTTP (HyperText Transfer Protocol) - протокол передачі гіпертекстових даних прикладного рівня, що базується на клієнт-серверній архітектурі. Спочатку використовувався як протокол передачі гіпертекстової інформації, але зараз використовується передачі даних. Основним методом доступу до інформації є адреса ресурсу URI.

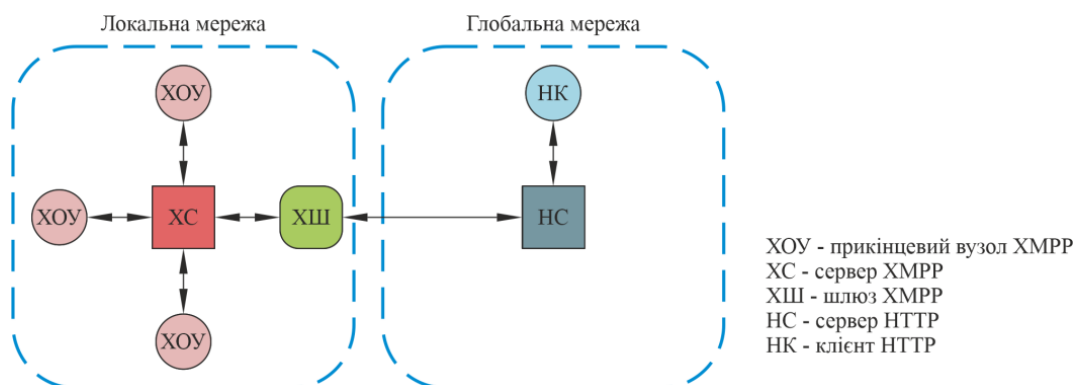




Рис. 7. Архітектура мережі XMPP

HTTP є протоколом стеку TCP/IP, підтримує протоколи IPv4, IPv6 і працює вище транспортного протоколу TCP.

Мережа HTTP має наступні типи пристроїв (рис. 8):

- Сервер HTTP - встановлює з'єднання з клієнтом HTTP.
- Клієнт HTTP - встановлює з'єднання з HTTP-сервером.

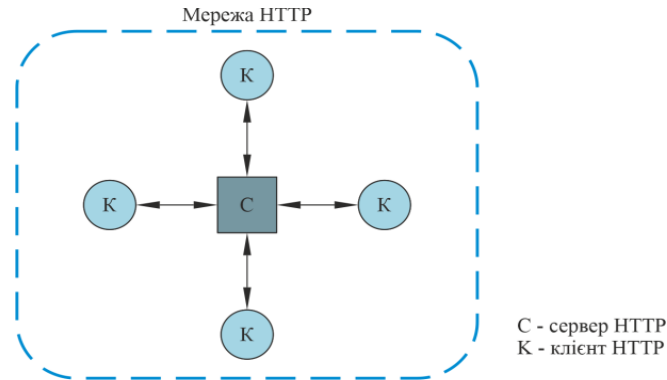


Рис. 8. Архітектура мережі HTTP

Для забезпечення безпеки передачі даних протокол HTTP використовує алгоритм SSL/TLS.

Modbus - відкритий промисловий комунікаційний стандарт, який використовується для передачі даних між електронними пристроями, що функціонує за моделлю взаємодії «ведучий - ведений». Він широко поширений і є одним із найбільш підтримуваних протоколів у промисловому обладнанні. Включає в себе три наступні види:

- Modbus ASCII (Modbus American standard code for information interchange) - різновид протоколу, в якому повідомлення кодуються за допомогою ASCII-символів. Повідомлення розділяються символами «:» і CR/LF. У якості каналу передачі даних використовуються технології для передачі даних через послідовні порти (наприклад, RS-232, RS-485, RS-422).

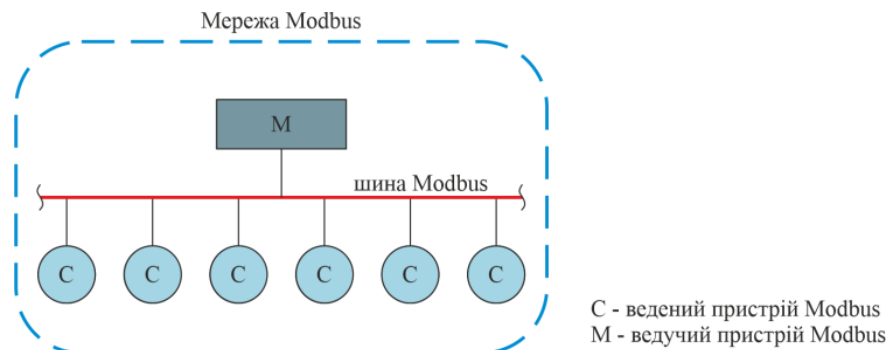


Рис. 9. Архітектура мережі Modbus

- Modbus RTU (Modbus Remote Terminal Unit) - різновид протоколу, в якому повідомлення кодуються в бітовому вигляді. Між собою повідомлення розділяються часовою паузою в 3,5 символи при заданій швидкості передачі. Він являється протоколом передачі в реальному часі. У якості каналу передачі даних використовуються технології для передачі даних через послідовні порти (наприклад, RS-232, RS-485, RS-422).

- Modbus TCP (Modbus over Transmission Control Protocol) - різновид протоколу для передачі повідомлень Modbus RTU поверх повідомлень TCP/IP. У якості каналу передачі даних використовуються технології пакетної передачі даних, що підтримують мережеві протоколи IPv4 і IPv6 (наприклад, Ethernet, WiFi).

З усього ряду протоколів Modbus в рамках IoT найбільш часто використовуються протоколи Modbus RTU, Modbus TCP.

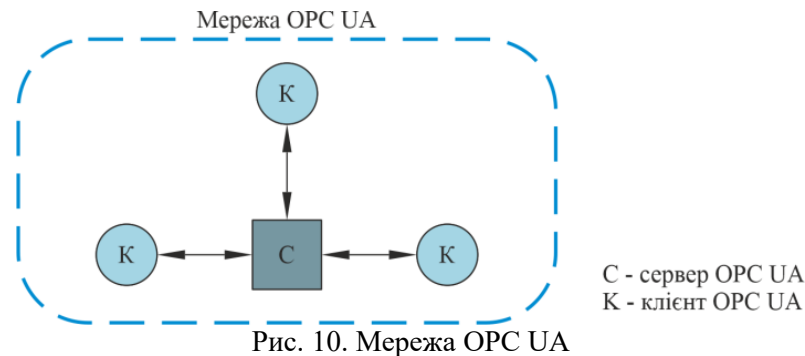
Мережа Modbus має наступні типи пристроїв (рис. 9):

- Ведучий пристрій Modbus (Modbus master) - являється активним пристроєм, встановлює з'єднання з веденими пристроями і виконує управління та збір даних з них.

• Ведений пристрій Modbus (Modbus slave) - являється пасивним пристроєм, очікує з'єднання з ведучим пристроєм і отримує від нього команди управління.

OPC UA (Open Platform Communications Unified Architecture) - промислова специфікація, яка описує передачу даних в локальних мережах промислових підприємств і взаємодію пристроїв у них між собою. Існує дві специфікації форматів передачі даних для повідомлень OPC UA: найбільш часто використовується бінарний формат і формат SOAP/XML. Передача даних в OPC UA, яка була організована на базі моделей мережевої взаємодії «сервер - клієнт». Цей стандарт активно розвивається в області загального впровадження в рішеннях ІоТ, наприклад, зараз іде активна розробка нової версії стандарту, що підтримує технології синхронізації в мережах зв'язку TSN (Time-Sensitive Networking). Найчастіші рішення OPC UA можна зустріти в різних реалізаціях SCADA-систем.

Мережа OPC UA має наступні типи пристроїв (рис. 10):



• Сервер OPC UA. Являється пасивним устроєм, очікує підключення клієнтів.  
• Клієнт OPC UA. Являється активним пристроєм, підключається до сервера і передає керуючі повідомлення та дані за мірою необхідності.

Пропонується використовувати для автоматизації роботи виробничих підприємств, такі як системи Supervisory Control And Data Acquisition (SCADA) [14, 15]. Система SCADA - це програмно-апаратний комплекс, що складається з розрахункового пристрою, який включає в себе різні фізичні інтерфейси для збору даних з промислового обладнання та з програмного забезпечення, що відповідає за взаємодію з обладнанням та обробкою даних, що отримуються від них.

Основне завдання системи SCADA - збір інформації з множини видалених пристроїв, зображення даної інформації в єдиному центрі контролю стану обладнання та при необхідності керування цим обладнанням.

Основні завдання системи SCADA є:

- взаємодія з промисловими розрахунковими пристроями в реальному часі;
- аналіз інформації в реальному часі;
- візуалізація отриманої інформації;
- зберігання інформації від кінцевого обладнання в спеціальних базах даних;
- сигналізація між пристроями в виробничих мережах, в тому числі в аварійних ситуаціях;
- генерація звітів про хід виробничого процесу;
- забезпечення взаємодії з зовнішніми системами (системи управління базами даних (СУБД), сервера).

Система SCADA складається з трьох основних компонентів (рис. 11):

• Віддалений термінал (Remote Terminal Unit – RTU) – підключається до керуючого обладнання здійснює управління та збір даних про його стан у режимі реального часу.

• Головний термінал (Master Terminal Unit – MTU) – здійснює збір даних з віддалених терміналів і забезпечує їх роботу, забезпечує людино-машинну взаємодію, а також управління всією системою.

• Комунікаційна система (Communication system – CS) – використовується для передачі даних між віддаленими та головними терміналами. Для передачі даних можуть використовуватися мобільні мережі, проводові мережі, бездротові мережі, аналогові телефонні лінії, ISDN-мережі.

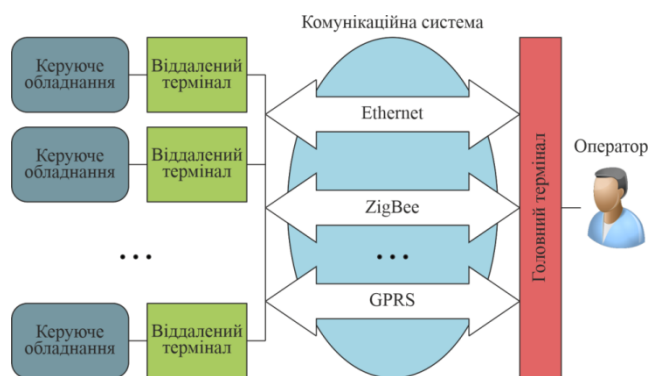


Рис. 11. Структура системи SCADA

Такі системи мають високі вимоги до безпеки та зберігання даних, до часу реакції системи в час аварійних ситуацій, до відмови стійкості та точності роботи. Раніше дані системи функціонували локально, без підключень до мереж зв'язку загального користування (МЗЗК), але постійна конкуренція, що виникає через впровадження нових технологій, змушує промислові підприємства залучати свої системи в загальну централізовану систему через МЗЗК. Для забезпечення безпеки передачі даних та реалізації додаткових алгоритмів аналізу та зберігання даних у рамках ІоТ пропонується використовувати такі технології, як хмарні, граничні та туманні обчислення.

Основною перевагою використання хмарних сервісів є знижене обчислювальне навантаження на обладнання користувача, зручний інструментарій для розробки власних рішень, доступ з будь-якого місця за допомогою МЗЗК.

Зазвичай, коли говорять про «хмарні обчислення», розглядають три типи віддалених послуг:

- Програмне забезпечення як послуга (software-as-a-service – SaaS). Даний тип послуг передбачає надання віддаленого доступу для використання програмного забезпечення, що функціонує на сервері постачальників послуг.

- Платформа як послуга (platform-as-a-service – PaaS). Користувачу надається доступ до віддаленого хмарного серверу для розміщення власного програмного забезпечення та розробки й надання власної віддаленої послуги. Зазвичай до складу таких систем входить певний набір інструментів для розробки програмного забезпечення, в залежності від типу платформ.

- Інфраструктура як послуга (infrastructure-as-a-service – IaaS). Даний тип послуг включає в себе великий набір різного програмного та апаратного забезпечення та дозволяє зробити в МЗЗК повністю робочу мережеву інфраструктуру, яка складається з таких елементів, як сервери обробки даних, бази даних, web-сервери, віртуальні машини.

Незважаючи на можливості, які хмарні сервіси надають своїм користувачам, виникають проблеми, пов'язані з віддаленим розташуванням обслуговуючих серверів. З найбільш поширених проблем слід відзначити:

- Показник мережевої затримки збільшується від розташування користувача від місця розподілу хмарного сервера (наприклад, індикатор мережевої підтримки при використанні web-сервісів Amazon з Європи може досягати значень 100...150 мс, коли для таких видів інформації, як голосова та відеотрафік, мережева затримка не повинна перевищувати 100 мс).

- Залежність користувача від роботи хмарних серверів. У разі неполадок в постачальника або мережевої недоступності рішення користувача, яке було створене на базі хмарного сервера, не буде функціонувати.

- Порушення конфіденційності інформації, особливо у випадку з комерційними підприємствами, у яких одним із важливих пунктів являється нерозголошення інформації про співробітників або клієнтів.

Через ці проблеми постачальники хмарних рішень створювали компромісні рішення, дозволяючи частково або повністю відмовлятися від використання хмарних сервісів.

Одним із таких рішень стала концепція граничних обчислень (edge computing - EC). Дана концепція передбачає використання, спільно з глобальними віддаленими хмарними серверами, локальні сервери для виконання частин функцій хмарних рішень. Наприклад, граничні сервери можуть виконувати функції збору та первинної обробки даних, потім передавати оброблену інформацію на хмарний сервер. Дане рішення зберігає переваги використання хмарних серверів для віддаленого користування, віддаленого моніторингу та управління з будь-якої точки мережі і в цей час дозволяє реалізувати локальну систему, частково або повністю незалежну від хмарної

платформи, наприклад, в області зберігання персональних даних, аварійної локальної роботи в разі втрати працездатності хмарного сервісу, виконання окремих чутливих для затримки задач.

Інша технологія, яка є розвитком ідей граничних обчислень застосовується до таких технологій, як 5G/ІМТ-2020, машинне навчання та ІоТ має назву «туманні розрахунки» (fog computing – FC). Дана технологія розвивається на базі груп стандартів OpenFog, що описують розподільну мережеву інфраструктуру, яка буде використовуватися розрахунковими можливостями кожного пристрою, підключеного до мережі для виконання різних завдань. Ця технологія використовує для розрахункових систем як хмарні і граничні сервери, так і кінцеві пристрої користувачів. Дане рішення було обґрунтовано появою і розвитком концепції ІоТ і активним розвитком ідей аналізу великих масивів даних (big data - BD) і машинного навчання (machine learning - ML), яке являється на сьогодні одним із самих поширених технологій в області штучного інтелекту.

Однією з причин появи цієї концепції є побоювання, що у разі збільшення частки міжмашинного трафіку, характерного для дедалі більшого числа пристроїв ІоТ, у глобальній мережі та використанні методів штучного інтелекту для їх обробки сучасні технології не дозволять виробляти необхідної кількості електроенергії, тому ця концепція передбачає енергоефективне використання всіх обчислювальних пристроїв у МЗЗК для інтелектуальної розподіленої обробки даних. На даний момент «fog computing» - можна виокремити як найбільш актуальний напрямок розвитку хмарних обчислень.

Туманні обчислення успадковують переваги таких технологій, як хмарні та граничні обчислення, але також вирішують безліч інших проблем, таких як:

- неефективне енергоспоживання;
- стандартизовано взаємодію із системами інтелектуальної обробки даних (або системами штучного інтелекту);
- впроваджено технології розподілених обчислень, розроблено систему управління цією процедурою;
- на базі даної технології можлива реалізація багаторівневої системи доступу до послуги через взаємодію групи серверів, що знаходяться на різних рівнях мережевої інфраструктури (на стороні постачальника послуги, на стороні магістрального провайдера, на стороні провайдера доступу до мережі Інтернет, на стороні користувача послуги).

### **Висновки та перспективи подальшого дослідження.**

Як системи зберігання даних на промислових підприємствах доцільно застосовувати бази даних реального часу (БДРЧ). Дані системи відрізняються від традиційних систем управління базами даних (СУБД) тим, що дані системи мають високу швидкість виконання операцій, пов'язаних із записом, читанням та виправленням даних, що зберігаються, оптимізовані на роботу з високошвидкісним апаратним забезпеченням і дозволяють працювати з величезними обсягами даних в рамках однієї бази даних (БД).

Бази даних реального часу повинні враховувати такі аспекти:

- Паралельна обробка. БДРЧ має забезпечувати паралельну обробку даних із різних джерел.
- Розподіл БДРЧ має бути динамічно розширюваним та підтримувати розподілене зберігання та пошук даних, а також обробку запитів.
- Логічна узгодженість даних БДРЧ повинна підтримувати функції логічного узгодження даних за різними типами пристроїв та їх призначенням, форматами даних, місцезнаходженням та ін.
- Часова узгодженість БДРЧ повинна забезпечувати тимчасову узгодженість як часу обробки операцій, так і тимчасову узгодженість даних.
- Черговість та обробка операцій БДРЧ повинна забезпечувати сувору послідовність обробки операцій та даних, що надходять із різних джерел.
- Керування потоками вводу/виводу та чергами обробки даних БДРЧ повинна динамічно підлаштовуватися під потоки даних, що надходять, і мати функції їх перерозподілу на інші потоки вводу/виводу, а також керувати чергами обробки даних.

Усі операції БДРЧ належать до трьох наступних типів запитів:

- запис даних у БД;
- читання даних із БД;
- оновлення змісту БД.

Також операції БДРЧ мають різні ступені якості обслуговування різних операцій і пристроїв у межах систем ІоТ. Зокрема, можна навести такі показники якості обслуговування:

- Жорсткий реальний час. Операція має найвищий пріоритет та має критичне значення для стабільності роботи системи.

- М'який реальний час. Ця операція завжди буде виконана один раз, навіть за умови її пізнього надходження.

- Толерантні до втрат. Ця операція після закінчення терміну, відведеного на її обробку, може бути відкинута з черги виконання.

Як приклади БДРЧ можна навести такі системи: IndustrialSQL Server, Wonderware Historian Server, RiakKV/RiakTS, OracleDB, RedisDB.

Проте якщо паралельно з базами даних реального часу застосувати системи допомоги прийняття рішень (СДПР, Decision Support System) – автоматизовані комп'ютерні системи, які використовуються для допомоги людям, відповідальним за прийняття рішень у складних умовах, коли оператор не може самостійно прийняти раціональне, обґрунтоване рішення за короткий проміжок часу підходи до керування проектами набувають нового розвитку та продуктивності.

Величезна кількість даних, що генеруються системами ПоТ, не можуть бути оброблені оператором системи у реальному часі. За обробку даних та їх подання у зручному для оператора вигляді відповідають системи СДПР. Оскільки аналіз такого обсягу даних від множин різних типів пристроїв у ПоТ є складним розрахунковим завданням, для допомоги у прийнятті рішень у рамках промислових підприємств пропонується використовувати більш сучасний вид систем допомоги прийняття рішень - інтелектуальні системи допомоги прийняття рішень (ІСДПР). ІСДПР відрізняються від систем СДПР тим, що дані системи використовують методи аналізу великих обсягів інформації, машинного навчання та моделювання процесів у реальному часі для допомоги прийняття рішення оператором системи, у разі потреби. Одним із найважливіших елементів ІСДПР є напрямок машинного навчання.

Машинне навчання (МН, Machine Learning) - це напрям в інформаційних технологіях, що відповідає за інтелектуальний аналіз інформації і заснований на застосуванні алгоритмів, що самонавчаються. Навчання систем МН відбувається в такий спосіб – на вхід системи надходить інформація, аналіз якої відповідає ядру системи МН (алгоритм обробки даних, наприклад багатоплановий перцептрон, метод опорних векторів, логістична регресія).

В даний час йде активний розвиток та впровадження такого класу пристроїв у мережах ІоТ та ПоТ, як шлюзів. Дані пристрої відповідають за забезпечення взаємодії специфічних технологій зв'язку та передачі даних ПоТ, як між собою, так і з МЗЗК. Існує ціла низка рішень, призначених для підключення пристроїв ПоТ в мережеву інфраструктуру промислових підприємств. Наприклад, до шлюзів ПоТ входять такі пристрої: Dell Edge Gateway 3001, ADLINK MXE-101i, NEXCOM NIO-100, ICP DAS UA-5231. Таким чином було проведено дослідження концепції ПоТ та перспектив її розвитку. Розроблено класифікацію сфер автоматизації для промислових підприємств у рамках впровадження систем ПоТ. Проведено огляд існуючих на даний момент міжнародних стандартів у галузі ПоТ з архітектурами систем ПоТ, розглянуто підходи до їх реалізації. Досліджено існуючі рішення, що реалізують функції гетерогенного шлюзу у межах мережевої інфраструктури промислових підприємств.

#### Список бібліографічного опису

1. Bakhovskyy, P., Yeysiuk, M., Zabolotnyi, O., Cagaňová, D., Tkachuk, A.: Stages of the Virtual Technical Functions Concept Networks Development. In: D. Cagaňová et al. (eds.), *Advances in Industrial Internet of Things, Engineering and Management, EAI / Springer Innovations in Communication and Computing*, pp. 119-135 (2021) [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1_7)
2. ITU-T Y.4003. Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things. - Введ. 2018-06-29. - 26 с.
3. Kostiuchko, S., Polishchuk, M., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A., Twarog, B.: The Auxiliary Parametric Sensitivity Method as a Means of Improving Project Management Analysis and Synthesis of Executive Elements. In: Miraz M.H., Southall G., Ali M., Ware A., Soomro S. (eds) *Emerging Technologies in Computing. iCETiC 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering*, vol 395 pp 174-184 Springer, Cham (2021). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8_12)
4. ITU-T Y.4000/Y.2060. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. - Введ. 2012-06-15. - 22 с.
5. IIC. The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. Version 1.9. June 19, 2019 – 58 p.
6. IIC. The Industrial Internet of Things. Volume G5: Connectivity Framework. IIC:PUB:G5:V1.0:PB:20170228 – 129 p.
7. IETF RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP). - Введ. 2014-06.
8. Kim, S.-M. IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices / S.-M. Kim, H.-S. Choi, W.-S. Rhee // in *Proceedings of the IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe 15)*. - 2015. - PP. 12–17. - <https://doi.org/10.1109/ICWISE.2015.7380346>.

9. Селезнев, С. П. Архитектура промышленных приложений IoT и протоколы AMQT, MQTT, JMS, REST, CoAP, XMPP, DDS / С. П. Селезнев, В. В. Яковлев // International journal of open information technologies. - Т. 7. - № 5. - 2019. - 115 с. - С. 17–28.
10. Yokotani, T. Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT / T. Yokotani, Y. Sasaki // 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). - 2017. - <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2016.7814989>.
11. W. You and H. Ge, "Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security," 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2019, pp. 420-423, <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8946996>.
12. A. Veichtlbauer, M. Ortmayr and T. Heistracher, "OPC UA integration for field devices," 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2017, pp. 419-424, <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104808>.
13. Toroshanko, Y., Selepyna, Y., Yakymchuk, N., Cherevyk, V.: Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket. International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. pp. 352-355, (2019). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847860>
14. M. M. Ahmed and W. L. Soo, "Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) based customized Remote Terminal Unit (RTU) for distribution automation system," 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008, pp. 1655-1660, <https://doi.org/10.1109/PECON.2008.4762744>.
15. ITU-T Y.4101/Y.2067. Internet of things and smart cities and communities – Requirements and use cases. - Введ. 2017-10-29. - 26 с.

#### References

1. Bakhovskyy, P., Yeysiuk, M., Zabolotnyi, O., Cagaňová, D., Tkachuk, A.: Stages of the Virtual Technical Functions Concept Networks Development. In: D. Cagaňová et al. (eds.), Advances in Industrial Internet of Things, Engineering and Management, EAI / Springer Innovations in Communication and Computing, pp. 119-135 (2021) [https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1\\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-69705-1_7)
2. ITU-T Y.4003. Overview of smart manufacturing in the context of the industrial Internet of things. - Введ. 2018-06-29. - 26 с.
3. Kostiuchko, S., Polishchuk, M., Zabolotnyi, O., Tkachuk, A., Twarog, B.: The Auxiliary Parametric Sensitivity Method as a Means of Improving Project Management Analysis and Synthesis of Executive Elements. In: Miraz M.H., Southall G., Ali M., Ware A., Soomro S. (eds) Emerging Technologies in Computing. iCETiC 2021. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 395 pp 174-184 Springer, Cham (2021). [https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8\\_12](https://doi.org/10.1007/978-3-030-90016-8_12)
4. ITU-T Y.4000/Y.2060. Next Generation Networks – Frameworks and functional architecture models. - Введ. 2012-06-15. - 22 с.
5. IIC. The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture. Version 1.9. June 19, 2019 – 58 p.
6. IIC. The Industrial Internet of Things. Volume G5: Connectivity Framework. IIC:PUB:G5:V1.0:PB:20170228 – 129 p.
7. IETF RFC 7252. The Constrained Application Protocol (CoAP). - Введ. 2014-06.
8. Kim, S.-M. IoT home gateway for auto-configuration and management of MQTT devices / S.-M. Kim, H.-S. Choi, W.-S. Rhee // in Proceedings of the IEEE Conference on Wireless Sensors (ICWiSe 15). - 2015. - PP. 12–17. - <https://doi.org/10.1109/ICWISE.2015.7380346>.
9. Seleznev, S. P. Arkhitektura promyshlennykh prilozheniy IoT i protokoly AMQT, MQTT, JMS, REST, CoAP, XMPP, DDS / S. P. Seleznev, V. V. Yakovlev // International journal of open information technologies. - Т. 7. - № 5. - 2019. - 115 p. - P. 17–28.
10. Yokotani, T. Comparison with HTTP and MQTT on required network resources for IoT / T. Yokotani, Y. Sasaki // 2016 International Conference on Control, Electronics, Renewable Energy and Communications (ICCEREC). - 2017. - <https://doi.org/10.1109/ICCEREC.2016.7814989>.
11. W. You and H. Ge, "Design and Implementation of Modbus Protocol for Intelligent Building Security," 2019 IEEE 19th International Conference on Communication Technology (ICCT), 2019, pp. 420-423, <https://doi.org/10.1109/ICCT46805.2019.8946996>.
12. A. Veichtlbauer, M. Ortmayr and T. Heistracher, "OPC UA integration for field devices," 2017 IEEE 15th International Conference on Industrial Informatics (INDIN), 2017, pp. 419-424, <https://doi.org/10.1109/INDIN.2017.8104808>.
13. Toroshanko, Y., Selepyna, Y., Yakymchuk, N., Cherevyk, V.: Control of Traffic Streams with the Multi-Rate Token Bucket. International Conference on Advanced Information and Communications Technologies, AICT 2019. pp. 352-355, (2019). <https://doi.org/10.1109/AIACT.2019.8847860>
14. M. M. Ahmed and W. L. Soo, "Supervisory Control and Data Acquisition System (SCADA) based customized Remote Terminal Unit (RTU) for distribution automation system," 2008 IEEE 2nd International Power and Energy Conference, 2008, pp. 1655-1660, <https://doi.org/10.1109/PECON.2008.4762744>.
15. ITU-T Y.4101/Y.2067. Internet of things and smart cities and communities – Requirements and use cases. - Введ. 2017-10-29. - 26 с.