

УДК 621.874; 69.059

Системи промислової автоматизації на основі IoT

Євген Міщук¹, Дмитро Міщук²

Київський національний університет будівництва і архітектури,
Повітрофлотський проспект 31, Київ, Україна, 03680
¹mischuk.eo@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-7850-0975>,
²mischuk.do@knuba.edu.ua, <https://orcid.org/0000-0002-8263-9400>

Received: 01.12.2020; Accepted: 21.12.2020
<https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0501>

Анотація. Підходи «інтернету речей» в порівнянні з класичною промисловою автоматизацією дозволяють створювати системні архітектури, які виявляються більш ощадливими, гнучкими, продуктивними і ефективними, що досягається за рахунок комунікації і взаємодії з промисловими пристроями автоматизації (промисловими контролерами), датчиками, виконавчими пристроями, приводами, системи машинного зору, відео, роботизованими системами.

Основою «інтернету речей» (IoT) є технологія взаємодії машин (M2M), коли машини за допомогою мобільних мереж обмінюються інформацією між собою або передають її в системи обробки і накопичення даних. Технологія M2M ефективно використовується в системах охорони здоров'я та безпеки, у виробництві, житлово-комунальному господарстві, енергетики, банківському секторі.

Активний розвиток технології IoT потребує дослідження та аналізу механізмів їхнього ефективного впровадження в промисловість, зокрема, будівництво, і розробки концепцій промислової автоматизації та управління, які міститимуть набір правил, що визначають відповідні контрольні дії для кожного важливого комплексу подій, що базуються на даних у реальному часі, повідомлених пристроями IoT.

В даному дослідженні пропонується дослідити відомі технічні рішення реалізації IoT в промисловості та запропоновано автоматизувати промислову систему електроприводу будівельної машини із застосування мережевих технологій.

Ключові слова: інтернет речей, промислова автоматизація, IoT.

ВСТУП

Автоматизація підприємств будівельного виробництва є актуальною задачею, яка вирішує ряд важливих проблем – це зниження ручної праці, мінімізація впливу «людського фактору» на якість готової продукції і виробничий процес, зниження частки браку при виробництві та зниження собівартості готової продукції. Існує безліч рішень, які допомагають автоматизувати виробництво серед яких перспективним є «Інтернет речей», за рахунок якого можна підвищити ефективність виробництва в кілька разів при незначному терміні окупності проектів, що в більшості випадків не перевищує декількох місяців.

Промисловий «Інтернет речей» (Internet of Things, IoT) – це комп'ютеризація всіх робочих місць на підприємстві шляхом створення єдиної інформаційної мережі в яку об'єднано всі виробничі об'єкти, враховуючи технологічне обладнання та робочі місця, за рахунок чого створюється екосистема, де всі її складові компоненти починають «розуміти» своє оточення і взаємодіяти між собою по інтернет-протоколу, самостійно вирішуючи питання підвищення ефективності або запобігання позаштатних ситуацій.

Промислова автоматизація також починає досліджувати та впроваджувати концепцію і технології «Інтернету речей» розвинувши його до концепцій: пристрій-пристрій (M2M), «Інтернет всього», «Інтернет речей краю».

На сьогодні існує велика кількість «розумних» пристроїв, зокрема датчиків з виходом в мережу Internet і здатних передавати інформацію по IP-протокол, забезпечуючи доставку пакетів даних від одного постачальника іншому орієнтуючись виключно на IP-адреси в заголовках пакетів. Такий підхід дозволяє виробнику та клієнтам віддалено контролювати роботу виробничих майданчиків, своєчасно проводити регламентні роботи, передбачати аварії і проводити планово-попереджувальний ремонт або, наприклад, заздалегідь підготувати необхідні деталі на заміну, а знаючи фактичне і плановане завантаження виробничого обладнання, з'єданого з мережею, можна організувати автоматичну мережу замовлень між різними виробництвами, оптимізуючи таким чином логістичний ланцюг від постачальників до споживачів. Наприклад, обладнання заводу Philips в Голландії працює в неосвітленому приміщенні, де всю роботу виконують 128 роботів, а всі процеси заводу контролює персонал, який складається з дев'яти робітників. В компанії Harley Davidson, Volkswagen також застосовано підхід IoT, що дозволило в результаті підвищити реакцію виробництва на запити споживачів в умовах зростаючої конкуренції та підвищити систему якості продукції.

МЕТА РОБОТИ

Проаналізувати існуючі системи IoT і технології автоматизації промислового виробництва.

АНАЛІЗ ВІДОМИХ РІШЕНЬ

Одним з прикладів ефективного впровадження технології IoT у промисловість є застосування в сучасних верстатах з числовим програмним керуванням (ЧПК) систем комп'ютеризованого управління. Наприклад програмна платформа IoT Winum (Рис. 1), яка заснована на Java EE, є інтегрованим середовищем збору, зберігання і обробки великих обсягів даних, що надходять від різних мережевих пристроїв та виконує підтримку користувацьких додатків для роботи з ними [1].

Компанія Fanuc пропонує систему комп'ютерного програмного забезпечення MT-LINKi, яка працює як локальний сервер обладнання для управління, збору, візуалізації даних з верстатів на підприємстві [2]. Система дозволяє підключати не тільки верстати з ЧПК FANUC, а й інші периферійні пристрої (наприклад, промислові контролери ПЛК). MT-LINKi може бути основою для підключення обладнання до IoT, так як дозволяє підключити різні датчики і збирати з них інформацію (Рис. 2) та передавати дані далі на сервери мережі.

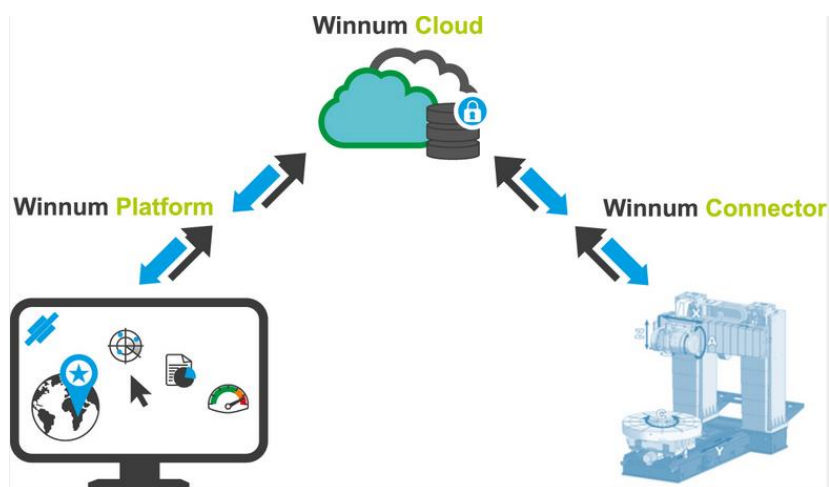


Рис. 1. Основні програмні компоненти Winum

Fig. 1. The main software components of Winum

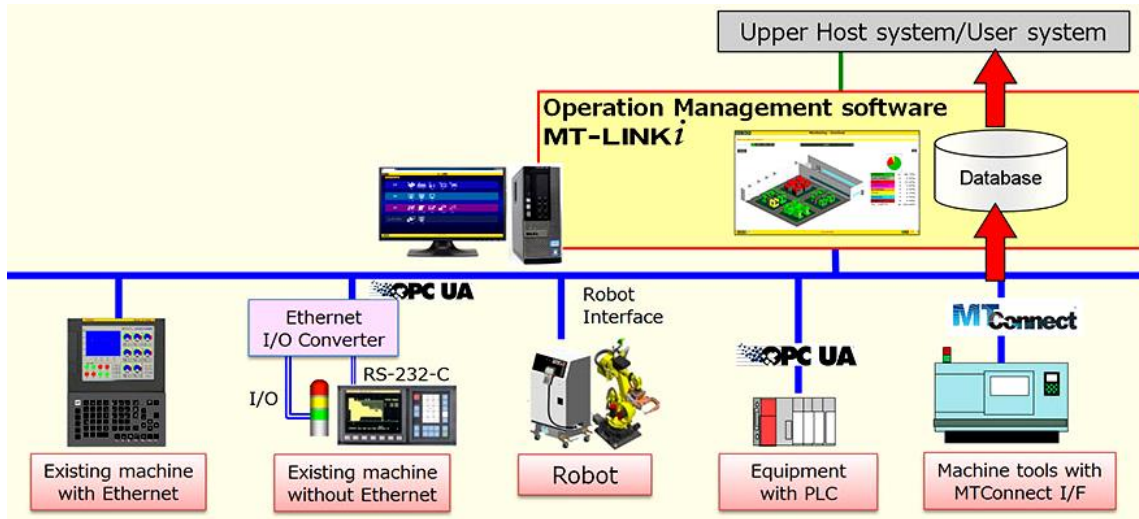


Рис. 2. Комунікація на рівні системи MT-LINKi: OPC Unified Architecture (OPC) – специфікація, що визначає передачу даних в промислових мережах і взаємодію пристроїв в цих мережах

Fig. 2. Communication MT-LINKi system: OPC Unified Architecture (OPC) – specification of defines the data transmission in industrial networks and the interaction of devices in these networks

Інша система для контролю виробництва та управління продуктивністю верстатів – OMATIVE Pro, яка встановлюється на сервер заводської комп’ютерної мережі і з’єднується з системами керування верста-

тів. Програма показує стан верстату: тривалість повного циклу обробки і окремих операцій, час знаходження інструменту в матеріалі, динамічні зміни подачі і навантаження, а також програма здійснює стати-

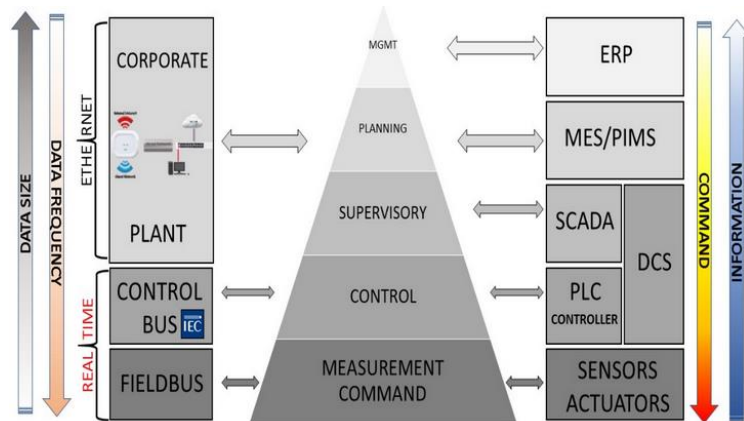


Рис. 3. Ієрархічні рівні системи комплексного автоматизованого виробництва CIM:

sensors, actuators – рівень датчиків, перетворювачів і виконавчих механізмів; PLC, DCS – рівень мікроконтролерів, розподілених систем керування або терміналів віддаленого управління мікропроцесорами (Remote terminal unit RTU); SCADA – рівень систем збору, обробки, відображення та архівування інформації про об’єкт моніторингу або управління в реальному часі через людино-машинний інтерфейс; MES – рівень синхронізації управління виробничої системи шляхом об’єднання рівнів планування і контролю для оптимізації процесів і ресурсів; ERP – рівень програмного забезпечення управління та планування діяльністю

Fig. 3. Levels of the complex automated production system CIM

sensors, actuators – the level of sensors, transducers and actuators; PLC, DCS – the level of microcontrollers, distributed control systems or remote control terminals of microprocessors (Remote terminal unit RTU); SCADA – the level of systems for collecting, processing, displaying and archiving information about the object of monitoring or control in real time through the human-machine interface; MES – the level of synchronization of production system management by combining levels of planning and control to optimize processes and resources; ERP - the level of software management and planning activities

стичний збір даних.

Для стандартизації рішень автоматизації виробництва на сучасних заводах застосовують CIM (computer-integrated manufacturing) підхід [3-6] (Рис. 3) при якому комп'ютери повинні керувати всіма виробничими процесами: проектування, аналіз, планування, закупівлі, облік витрат, управління запасами і логістика за допомогою комп'ютерних систем з функціями виробничого підрозділу, такими як обробка матеріалів, що забезпечує прямий контроль і моні-

тинг всіх етапів життєвого циклу.

Компанія Amazon – активний постачальник послуг по обслуговуванню пристроїв IoT на своїх сервісах AWS Cloud пропонує декілька сценаріїв використання промислового Інтернету речей.

1. Аналітика та прогнозування якості продукції і послуг компанії. Згідно даного сценарію, промислова компанія на своїх виробничих лініях повинна інтегрувати IoT у власне обладнання та здійснити підключення до локального сервіс AWS IoT

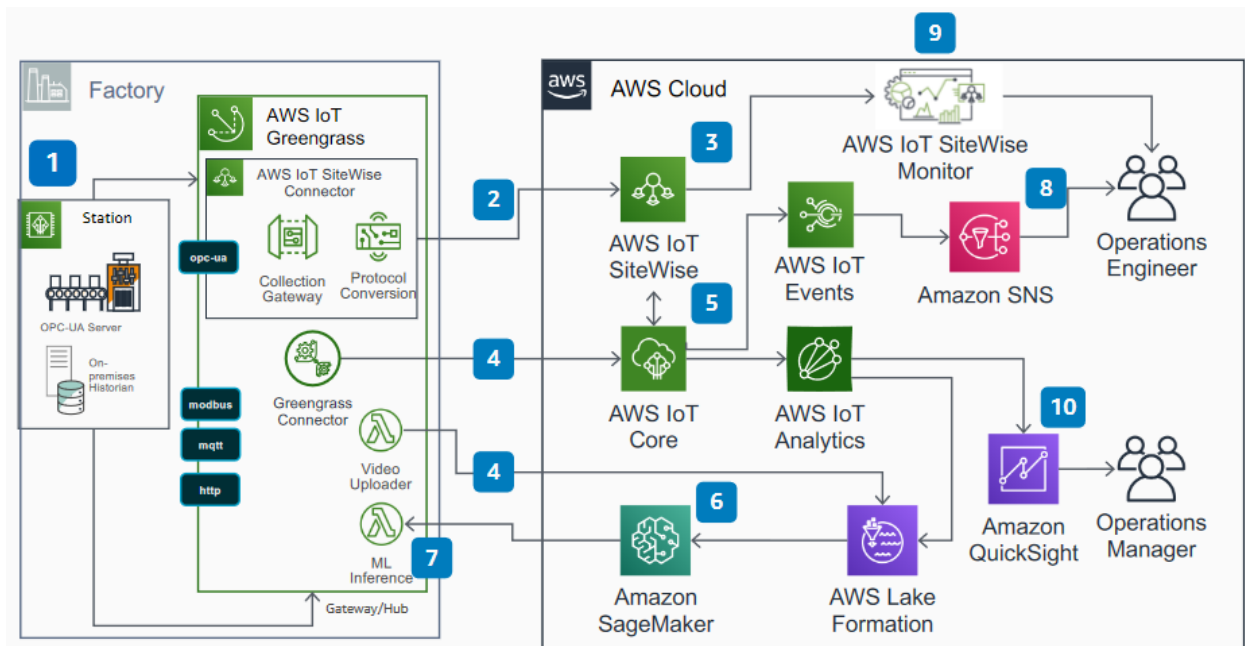


Рис. 4. Архітектура сервісів AWS Cloud для рішення аналітики та прогнозування:

1 – промислове обладнання з IoT; 2 – канал для підключення та збору даних із заводських машин за допомогою OPC-UA та комунікації між локальним AWS IoT SiteWise Connector та мережовим AWS IoT SiteWise; 3 – сервіс мережової системи масштабування та зберігання даних AWS IoT SiteWise; 4 – головний канал підключення локального сервера AWS IoT Greengrass для обміну повідомленнями з глобальною мережею Amazon AWS IoT Core; 5 – сервіс обміну даними між AWS IoT Core та AWS IoT Event, який використовується для реагування на дані про дії IoT та аналітичні дані; 6 – сервіс прогнозування якості моделлю машинного навчання за допомогою Amazon SageMaker на основі зображень, що зберігаються в AWS Lake Formation; 7 – локальна система машинного навчання в шлюзі AWS IoT Greengrass Edge; 8 – канал сповіщень у службі Amazon Simple Notification Service (SNS); 9 – веб-портал для візуалізації даних в реальному часі; 10 – портал статистики проаналізованих даних

Fig. 4. AWS Cloud service architecture for analytics and forecasting solutions:

1 – Industrial equipment with IoT; 2 – channel for connection and data collection from factory machines with OPC-UA and communication between the local AWS IoT SiteWise Connector and the network AWS IoT SiteWise; 3 – service of network system of scaling and data storage AWS IoT SiteWise; 4 – main connection channel of the local AWS IoT Greengrass server for messaging with the Amazon AWS IoT Core global network; 5 – data exchange service between AWS IoT Core and AWS IoT Event, which is used to respond to IoT action data and analytical data; 6 – service for predicting the quality of the machine learning model using Amazon SageMaker based on images stored in AWS Lake Formation; 7 – local machine learning system in the gateway AWS IoT Greengrass Edge; 8 – notification channel in the Amazon Simple Notification Service (SNS); 9 – web portal for real-time data visualization; 10 – portal of the analyzed data

Greengrass, який розміщується на серверах підприємства. AWS IoT Greengrass дозволяє на основі моделей машинного навчання та фільтрації зібраних даних про пристрої, здійснювати їх програмування в локальній мережі та акумулювати і зберігати незначну кількість даних (Рис. 4), при цьому в даному сервісі реалізовано окремо протоколи для обміну даними по OPC-UA, MQTT, HTTP, MODBUS.

HTTP (HyperText Transfer Protocol) – протокол передачі гіпертексту, тобто даних у вигляді символів рядка і відповідно до специфікації OSI є протоколом прикладного (верхнього, 7-го) рівня.

MQTT (Message queuing telemetry transport) – спрощений мережевий протокол, який працює поверх TCP/IP, орієнто-

ваний на обмін повідомленнями між пристроями (по принципу видавець-підписник без обмеження на формат передавання даних і застосовується для роботи з датчиками та пристроями IoT.

Modbus – комунікаційний протокол, заснований на архітектурі ведучий-ведений і використовує для передачі даних через стандарти RS-485, RS-422, RS-232, а також Ethernet мережі TCP/IP.

Таким чином дана система дозволяє отримувати інформацію з промислового обладнання, навколишнього середовища і візуального спостереження (комп'ютерного зору (ML)). Завдяки AWS IoT промислові виробники можуть створювати прогностичні моделі для контролю якості, які допомагають підвищити якість продукції.

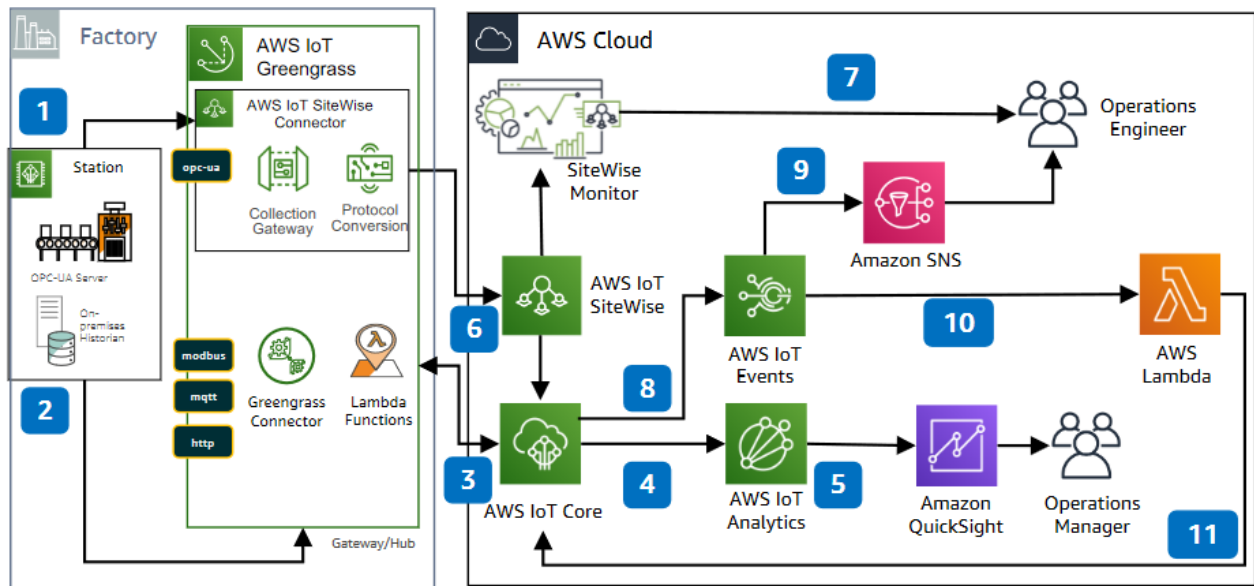


Рис. 5. Архітектура системи AWS Cloud моніторингу ресурсів:

1 – промислове обладнання з IoT; 2 – сервіс локальної обробки та аналізу даних на підприємстві; 3 – канал мережевого ядра AWS IoT Core, що ініціює події, які надсилаються до AWS IoT Events та AWS IoT Analytics; 4 – канал передачі даних до мережевих служб швидкого аналізу даних; 5 – передача даних до сервісу масштабування, статистики та аналітики даних; 6 – сервіс моделей для збереження та відслідковування змін даних; 7 – веб-портал AWS IoT SiteWise Monitor для візуалізації даних реальному часі; 8 – канал служби повідомлень та відслідковування подій; 9 – служба публікації та розсилки повідомлень на основі подій; 10 – сервіс мережевих розрахунків; 11 – канал зв'язку між AWS IoT Core та AWS Lambda

Fig. 5. Architecture of AWS Cloud resource monitoring system:

1 – industrial equipment with IoT; 2 – local data processing and analysis service at the enterprise; 3 – channel of the AWS IoT Core network core, which initiates events that are sent to AWS IoT Events and AWS IoT Analytics; 4 – data transmission channel to network services for fast data analysis; 5 – data transfer to the service of scaling, statistics and data analytics; 6 – model service for saving and tracking data changes; 7 – web portal AWS IoT SiteWise Monitor for real-time data visualization; 8 – channel of message service and event tracking; 9 – event-based publication and mailing service; 10 – network payment service; 11 – the communication channel between AWS IoT Core and AWS Lambda

2. Архітектура системи моніторингу ресурсів (Рис. 5) дозволяє збирати дані про стан машин і устаткування, наприклад показники температури, вібрацій, коди помилок, які вказують, чи працює обладнання оптимальним чином та прогнозувати можливості використання ресурсу обладнання та заводу.

3. Архітектура система аналітики технічного обслуговування обладнання (Рис. 6) дозволяє збирати дані про стан промислового обладнання, виявляти потенційні несправності до того, як вони вплинуть на виробництво. Така система допомагає продовжити термін роботи обладнання, забезпечити безпечні умови праці робітників, оптимізувати логістичні процеси підприємства, безперервно відстежувати і аналізувати стан і продуктивність обладнання реальному часі.

Таким чином проведений аналіз розро-

бок систем IoT дає підстави стверджувати, що для застосування подібних рішень в промислових системах потребує реалізації підключення промислового обладнання до засобів комунікації з Internet протоколами або з протоколами систем автоматики, як наприклад MQTT протокол. В подальшому таке обладнання легко підключається до готових промислових захищених сервісів.

В подальших дослідженнях запропоновано дослідити систему управління електродвигуном із запропонованою архітектурою реалізації IoT, яка містить: Частотний перетворювач DELFA VFD004EL43A, Модуль arduino D1 WiFi UNO R3 ESP8266 ESP-12E, Енкодер Opkon PRI-40-A-R6-HLD-360-ZZ-V3-2M5-R, Локальний сервер Raspberry Pi 4 Model B (див. Рис. 7.). Дана система керування може бути реалізована в роботизованій системі [7, 8] з незначними змінами та в промисловості для будівель-

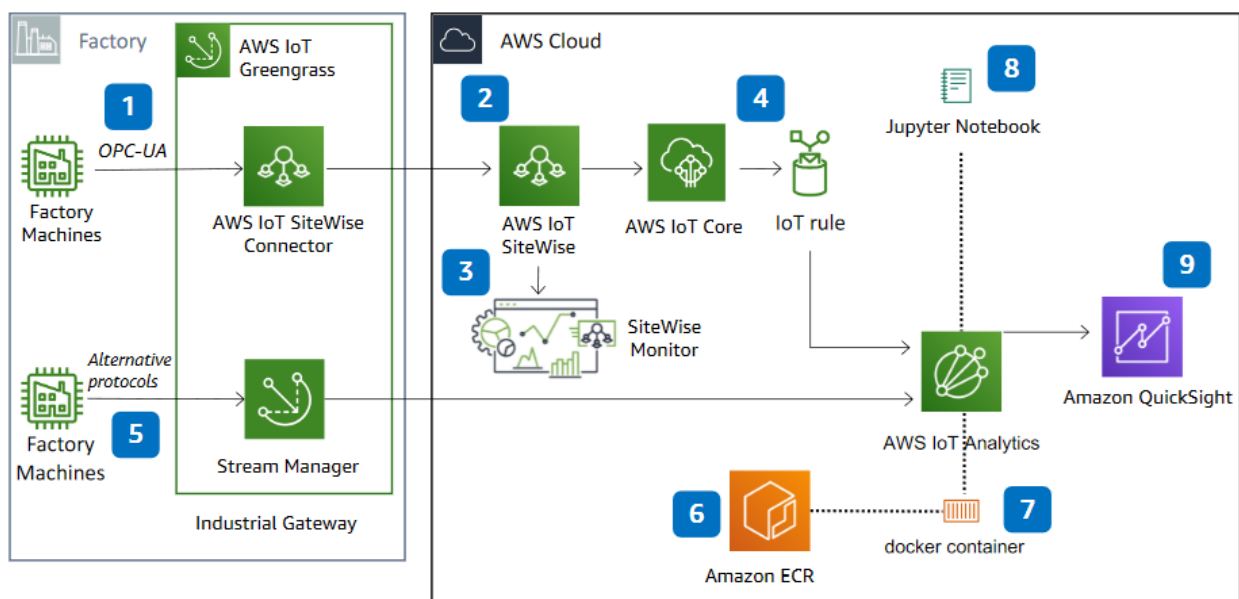


Рис. 6. Архітектура системи AWS Cloud аналітики технічного обслуговування:

1 – канал комунікації для підключення та збору даних із заводських машин за допомогою OPC-UA; 2 – сервіс моделей для збереження та відслідковування змін даних; 3 – веб-портал для візуалізації заводських даних та показників промислової продуктивності в режимі реального часу; 4 – сервіс резервного копіювання та передачі повідомлень до аналітики; 5 – менеджер потоків для паралельної та швидкої обробки даних; 6 – менеджер контейнерів-стану системи для оброблених даних; 7 – Docker container; 8, 9 – додаткові інструменти для взаємодії з користувачами

Fig. 6. Architecture of AWS Cloud system of maintenance analytics:

1 – communication channel for connection and data collection from factory machines using OPC-UA; 2 – service models for storing and tracking data changes; 3 – web portal for visualization of factory data and indicators of industrial productivity in real time; 4 – service of backup and transfer of messages to analytics; 5 – flow manager for parallel and fast data processing; 6 – manager of container-state system for processed data; 7 – Docker container; 8, 9 – additional tools for interaction with users

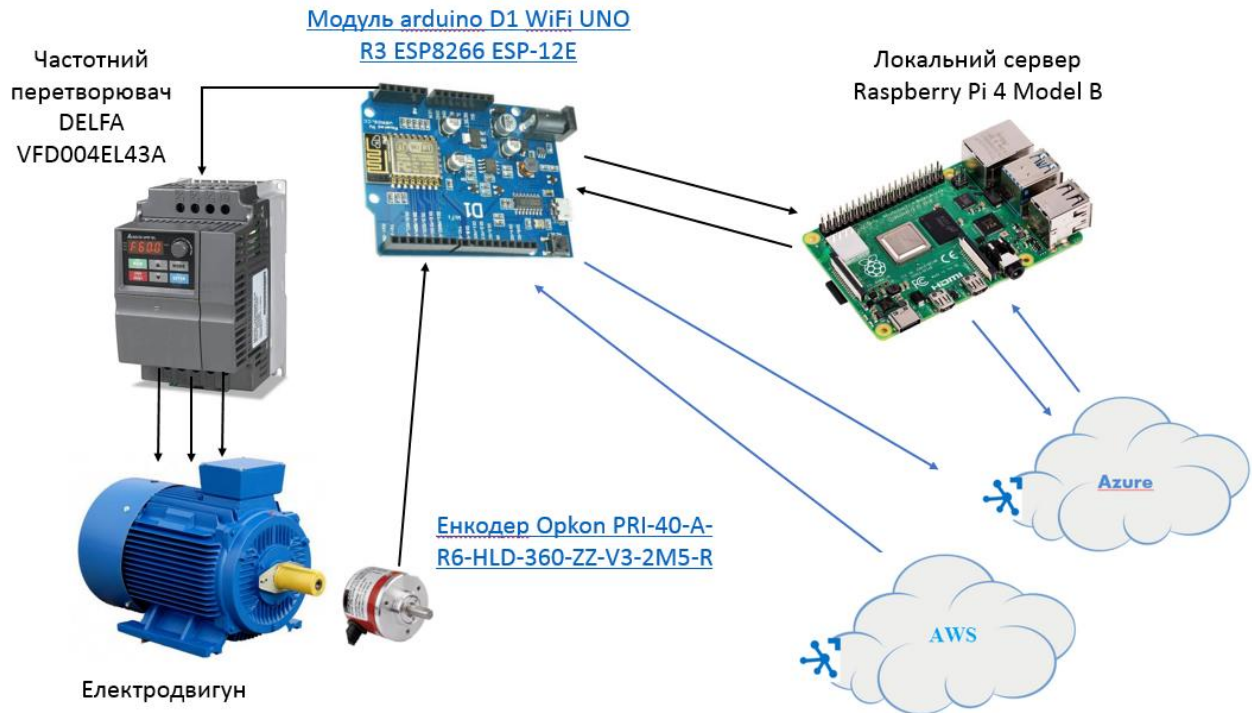


Рис. 7. Запропонована система автоматизації промислового електродвигуна засобами з IoT

Fig. 7. The system of automation of the industrial electric motor by means of IoT

них кранів, машин для дроблення матеріалів [9] та ущільнення.

ВИСНОВКИ

В процесі аналізу існуючих рішень пристроїв та систем IoT зрозуміло, що системи автоматизації на даній технології мають перспективу подальшого дослідження, яка є актуальною для промисловості [10]. Існуючі рішення компаній дозволяють реалізувати автоматизацію та інтеграцію в мережеві технології, проте потребують значних витрат коштів, а захищеність даних, які будуть передані в мережу не гарантується самою технологією. Для забезпечення власної інформаційної безпеки підприємства необхідно розробляти власні технічні рішення та мережеву архітектуру та подальшого її впровадження у виробництво.

ЛІТЕРАТУРА

1. Кулагин М., Волков И. Промышленный интернет на практике: удаленная диагностика станков с ЧПУ с помощью технологии

Winnun / Control Engineering Россия, IoT, 2016, – С. 74-77.

2. **PC software for collecting and visualizing the machine information in the factory FANUC MT-LINKi** / Рекламний проспект компанії Fanuc. https://www.fanuc.co.jp/en/product/cnc/f_mt-linki.html.
3. **Groover Mikell P.** Automation. Encyclopedia Britannica, (Accessed 2020), <https://www.britannica.com/technology/automation>.
4. **Saadaoui, Safa & Tabaa, Mohamed & Monteiro, Fabrice & Chehaitly, Mouhamad & Dandache, Abbas.** (2019). Discrete Wavelet Packet Transform-Based Industrial Digital Wireless Communication Systems. Information. – № 10. – P. 104. 10.3390/info10030104.
5. <https://www.wikiwand.com/en/Computer-integrated-manufacturing>.
6. **Simeonovova I., Hofman R.** Automation, simulation and optimization, smart factories as part of the Industry 4.0 concept. Automa. May 2016, – pp. 22-23, ISSN 1210-9592.
7. **Мищук Д., Бойченко А.** Розробка концепції системи керування роботом для штукатурних робіт на основі нейронної мережі / Д. Мищук, А. Бойченко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2019. –

- №93. – С. 46-60. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>.
8. **Бойченко А., Мищук Д.** Возможности использования библиотеки проектирования нейронных сетей TensorFlow для кинематического исследования манипулятора / А. Бойченко, Д. Мищук // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні. 2020. – №95. – С. 14-24. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0201>.
 9. **Мищук Є., Назаренко І.** Дослідження динаміки вібраційної щокрової дробарки двосторонньої дії / Д. Мищук, І. Назаренко // Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2019. – № 94. – С. 5-15. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0101>.
 10. **Internet of Things** based Durability Monitoring and Assessment of Reinforced Concrete Structures. 16th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (Mobispc 2019), the 14th International Conference on Future Networks and Communications (Fnc-2019), the 9th International Conference on Sustainable Energy Information Technology <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.096>.
- [Development of the concept of control system work for plaster works based on neural network]. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 93, 46-60. – (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.93.0501>.
8. **Boychenko A., Mishchuk D.** (2020). Possibilities of using the packet TensorFlow neural network design library for the kinematic study of a manipulator. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 95. 14-24. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.95.0201>.
 9. **Mischuk Ye., Nazarenko I.** (2019). Research of the dynamics of a vibratory jaw crusher of bilateral action. Girnichi, budivelni, dorozhni ta meliorativni mashini [Mining, construction, road and reclamation machines], Nr. 94, 5-15. <https://doi.org/10.32347/gbdmm2019.94.0101>.
 10. **Internet of Things** based Durability Monitoring and Assessment of Reinforced Concrete Structures. 16th International Conference on Mobile Systems and Pervasive Computing (Mobispc 2019), the 14th International Conference on Future Networks and Communications (Fnc-2019), the 9th International Conference on Sustainable Energy Information Technology <https://doi.org/10.1016/j.procs.2019.08.096>.

REFERENCES

1. **Kulagin M., Volkov I.** (2016). Industrial Internet in practice: Remote diagnostics of CNC machines using Winnum. Control Engineering technology Russia, IIoT, 74-77.
2. **PC software for collecting and visualizing the machine information in the factory** FANUC MT-LINKi / Company brochure Fanuc. https://www.fa-nuc.co.jp/en/product/cnc/f_mt-linki.html.
3. **Groover Mikell P.** Automation. Encyclopedia Britannica, (Accessed 2020), <https://www.britannica.com/technology/automation>.
4. **Saadaoui, Safa & Taba, Mohamed & Monteiro, Fabrice & Chehaitly, Mou-hamad & Dandache, Abbas.** (2019). Discrete Wavelet Packet Transform-Based Industrial Digital Wireless Communication Systems. Information, Nr.10, 104. 10.3390/info10030104.
5. https://www.wikiwand.com/en/Computer-integrated_manufacturing.
6. **Simeonovova I., Hofman R.** (2016). Automation, simulation and optimization, smart factories as part of the Industry 4.0 concept. Automa, 22-23.
7. **Mischuk, D., Wojchenko A.** (2019). Rozrobka koncepciyi sistemi keruvannya robotom dlya shtukaturnih robit na osnovi nejronnoyi merezhi

IoT-based industrial automation systems

Yevhen Mishchuk¹, Dmytro Mishchuk²

*Kyiv National University
Construction and Architecture*

Abstract. "Internet of Things" approaches in comparison with classical industrial automation allow to create system architectures which appear more economical, flexible, productive and effective that is reached at the expense of communication and interaction with industrial devices of automation (industrial controllers), sensors, actuators, drives, machine vision systems, video, robotic systems.

The basis of the "Internet of Things" (IoT) is the technology of interaction of machines (M2M), when machines use mobile networks to exchange information with each other or transmit it to data processing and storage systems. M2M technology is effectively used in health and safety systems, in manufacturing,

housing and communal services, energy, and the banking sector.

The active development of IoT technology requires research and analysis of the mechanisms of their effective implementation in industry, in particular, construction, and the development of concepts of industrial automa-

tion and management, which will contain a set of rules defining appropriate control actions for each important set of events. real-time data reported by IoT devices.

Keywords: Internet of Things, industrial automation, IoT.