

УДК 004.77:004.896

DOI: 10.31673/2412-9070.2025.022138

А. В. ЗАЯЧКОВСЬКИЙ, викладач;

ORCID: 0009-0004-2171-6451

В. О. ЗАВАЦЬКИЙ, викладач;

ORCID: 0009-0005-5297-4127

К. П. СТОРЧАК, доктор техн. наук, професор;

ORCID: 0000-0001-9295-4685

О. М. ТКАЛЕНКО, канд. техн. наук, доцент,

ORCID: 0000-0001-6313-5138

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, Київ

МОНІТОРИНГ ТА ВИКОРИСТАННЯ ІоТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ ПРОМИСЛОВИХ ПРОЦЕСІВ

Сучасні технологічні досягнення відкривають нові шляхи для автоматизації промислових процесів, що має вирішальне значення для підвищення продуктивності та ефективності виробництва. Інтернет речей (ІоТ) є однією з основних технологій, що сприяють цьому розвитку. Технології ІоТ дозволяють створювати інтелектуальні системи, які забезпечують збирання, аналіз та обробку даних у реальному часі, що сприяє підвищенню ефективності виробничих процесів, зменшенню витрат і покращенню безпеки. Використання мікропроцесорних систем у поєднанні з ІоТ забезпечує високу гнучкість та масштабованість у промислових автоматизованих рішеннях.

Ключові слова: Інтернет речей (ІоТ), мікропроцесорні системи, автоматизація промислових процесів, промислова автоматизація, інтелектуальні системи, реальний час, технології зв'язку, підвищення ефективності, промислові рішення, цифрова трансформація.

Вступ

Сучасний розвиток промисловості все більше орієнтується на впровадження новітніх технологій для підвищення продуктивності, ефективності та безпеки виробничих процесів. Одним із ключових напрямків цифрової трансформації промислових підприємств є інтеграція мікропроцесорних систем з технологіями Інтернету речей (ІоТ). Така взаємодія дозволяє автоматизувати процеси управління, моніторингу та аналізу даних, що в свою чергу оптимізує виробництво та забезпечує його безперервність.

Мікропроцесорні системи, які раніше використовувалися для обмежених завдань автоматизації, у поєднанні з ІоТ можуть взаємодіяти між собою, формувати великі мережі пристроїв, обмінюватися даними через хмарні сервіси та забезпечувати високий рівень контролю на різних рівнях виробництва. Така інтеграція відкриває нові можливості для моніторингу у режимі реального часу, прогнозування поломок обладнання, адаптивного налаштування виробничих ліній, а також створює основу для розвитку концепції "розумних фабрик" [1,6].

Огляд останніх досліджень та публікацій. Інтеграція мікропроцесорних систем з Інтернетом речей (ІоТ) для автоматизації промислових процесів є однією з найактуальніших тем у сучасній промисловій автоматизації. Останні дослідження показують значний прогрес у цій галузі, зокрема в аспектах ефективності, надійності та безпеки.

Дослідження показують, що впровадження ІоТ у промислові процеси дозволяє значно підвищити ефективність виробництва. Наприклад, використання датчиків та мікропроцесорів для моніторингу стану обладнання у режимі реального часу допомагає зменшити простой та оптимізувати технічне обслуговування [1].

Інтеграція ІоТ з мікропроцесорними системами також сприяє підвищенню надійності та безпеки промислових процесів. Сучасні дослідження зосереджені на розробці нових алгоритмів для

виявлення та запобігання аномаліям у роботі обладнання, що дозволяє знизити ризики аварій [2].

Впровадження IoT-рішень дозволяє знизити витрати на виробництво за рахунок оптимізації ресурсів та зменшення енергоспоживання. Дослідження показують, що підприємства, які впровадили IoT, можуть знизити операційні витрати до 30% [3].

У дослідженні А. Мокхтарі та М. Абід було проаналізовано архітектури інтегрованих IoT-систем для промислового застосування. Автори розглядають питання безпеки IoT-платформ, оскільки підключення великої кількості пристроїв до мережі створює загрозу кібератак. Вони пропонують підходи до посилення захисту даних та шифрування інформації на рівні мікропроцесорів.

Інші дослідження, такі як праці Б. Кумар і Р. Пател, приділяють увагу ролі штучного інтелекту (AI) у автоматизованих системах на базі IoT. Застосування AI дозволяє підвищити адаптивність виробничих процесів, автоматично коригуючи параметри роботи обладнання в залежності від отриманих даних.

Публікації демонструють важливість інтеграції мікропроцесорних систем та IoT для створення розумних виробництв, з фокусом на підвищення ефективності, безпеки та адаптивності виробничих процесів.

Метою даної статті є дослідження можливостей та переваг інтеграції мікропроцесорних систем з технологіями Інтернету речей (IoT) для автоматизації промислових процесів. У рамках дослідження проводиться аналіз сучасних технологічних рішень, архітектурних підходів та комунікаційних стандартів, які сприяють підвищенню ефективності, надійності та безпеки виробництва. Особлива увага приділяється вивченню шляхів оптимізації виробничих процесів за допомогою IoT-систем, розгляду практичних прикладів їхнього впровадження, а також аналізу перспектив розвитку інтеграції в умовах цифровізації промисловості.

Основна частина

Автоматизація промислових процесів є ключовим елементом сучасного виробництва, що сприяє підвищенню ефективності, зниженню витрат і покращенню якості продукції (рис. 1). Інтеграція мікропроцесорних систем з технологіями Інтернету речей (IoT) розширює можливості автоматизації, забезпечуючи більш гнучке та інтелектуальне управління виробничими операціями.

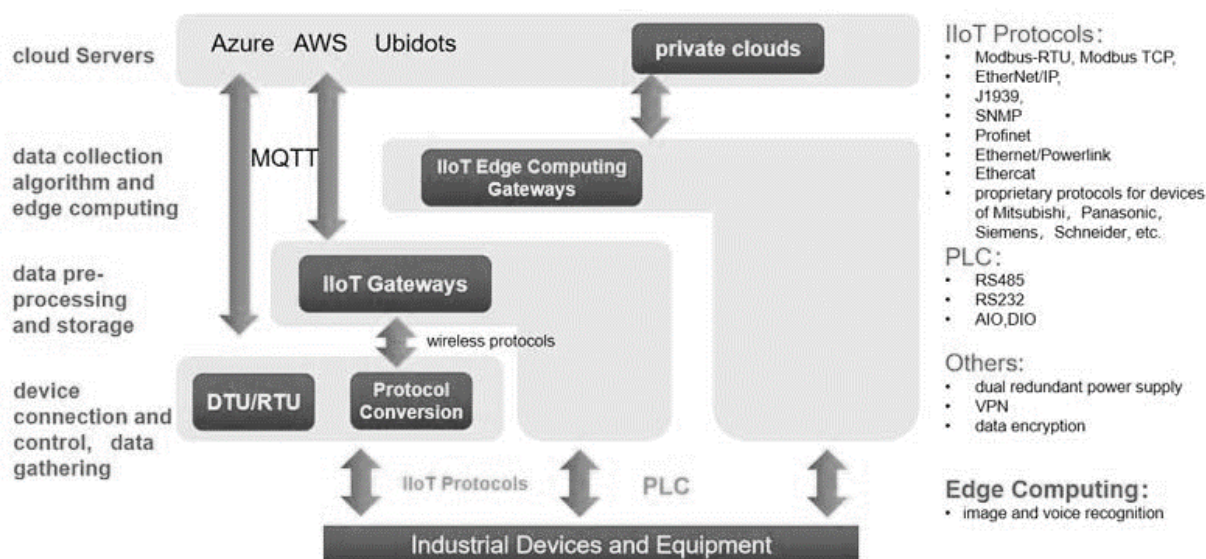


Рис. 1. Промислові шлюзи IoT (IIoT)

Ключові аспекти автоматизації промислових процесів за допомогою IoT включають:

- використання розумних сенсорів для збору інформації про стан обладнання та виробничі процеси;
- віддалений контроль і управління через IoT-платформи;

- аналіз даних для прогнозування можливих поломок і збоїв обладнання за допомогою IoT-шлюзів;
- скорочення часу простою та витрат на ремонт;
- ефективне споживання енергії та матеріалів;
- зниження виробничих витрат;
- автоматичне оновлення даних про виробництво у системах управління підприємством;
- підвищення точності планування і управління ресурсами;
- забезпечення кібербезпеки для захисту даних та систем;
- висока надійність і стійкість до збоїв.

Основна мета впровадження автоматизованих систем полягає у підвищенні ефективності, мобільності та спрощенні робочих процесів для персоналу, що сприяє підвищенню конкурентоспроможності підприємства на ринку та ефективному залученню ресурсів.

Автоматизація виробничих процесів може реалізовуватися різними способами:

Часткова автоматизація включає впровадження обладнання для виконання кількох завдань, які важко або неможливо виконати вручну.

Складна автоматизація охоплює виробничий ланцюг одного цеху або вузла, вирішуючи кілька специфічних завдань.

Повна автоматизація передбачає повне передавання управління та контролю спеціалізованому обладнанню, яке контролює всі етапи виробництва.

Мікропроцесорні системи є ключовою основою багатьох сучасних технологій, зокрема автоматизації промислових процесів. Вони складаються з мікропроцесора, що виконує обчислення і управління, а також інших елементів, таких як пам'ять, порти вводу-виводу та периферійні пристрої [6].

Основні компоненти мікропроцесорної системи:

Мікропроцесор – центральний елемент для обчислень, який виконує інструкції програми, включаючи арифметико-логічний блок (АЛП), регістри та блок управління.

Оперативна пам'ять (ОЗП) використовується для тимчасового зберігання даних та інструкцій, а постійна пам'ять (ПЗП) зберігає програмне забезпечення і дані, які не змінюються.

Порти вводу-виводу – інтерфейси для підключення зовнішніх пристроїв, таких як сенсори, актуатори та інші периферійні елементи.

Периферійні пристрої, такі як таймери, контролери переривань, аналогово-цифрові перетворювачі (АЦП) та інші компоненти, що розширюють можливості системи [5].

Інтернет речей (IoT) змінює промисловість, підключаючи різноманітні пристрої та сенсори до мережі для збору й обміну даними. Дає можливість оптимізувати виробничі процеси, підвищувати ефективність та знижувати витрати. Основні IoT-протоколи, які використовуються для автоматизації:

MQTT – легкий протокол для обміну повідомленнями у системах з обмеженими ресурсами.

CoAP – протокол з низькою затримкою для ефективного передавання даних.

HTTP/HTTPS – стандартний протокол для передавання даних в Інтернеті.

AMQP – забезпечує надійне передавання повідомлень між системами.

LoRaWAN – енергоефективний протокол для передавання даних на великі відстані [6].

Сенсорні мережі збирають дані про фізичні параметри (температура, вологість, тиск, тощо) і використовуються для моніторингу процесів та виявлення аварійних ситуацій. Архітектура таких мереж включає вузли датчиків, базову станцію і сервер для обробки та аналізу даних.

В Інтернеті речей (IoT) використовуються різноманітні мікропроцесорні системи, які забезпечують обробку даних, управління пристроями та комунікацію. Основні типи мікропроцесорних систем, що застосовуються в IoT, включають:

Мікроконтролери:

- відкриті платформи, що широко використовуються для створення прототипів і проєктів IoT. Arduino має безліч модулів для підключення сенсорів і актуаторів;
- мікроконтролери з вбудованим Wi-Fi (ESP8266) та Bluetooth (ESP32), що ідеально підходять для IoT-додатків завдяки своїй низькій вартості та енергоефективності [7].

Одноплатні комп'ютери:

- Raspberry Pi – популярні комп'ютери, що використовуються в IoT-проєктах для обробки даних, управління мережею та виконання складніших завдань, таких як машинне навчання;
- BeagleBone використовуються для IoT-додатків, особливо у проєктах, де потрібні більш потужні обчислювальні ресурси;
- FPGA (Field-Programmable Gate Array) використовуються для специфічних IoT-додатків, що вимагають гнучкості в обробці даних та високої швидкості.

Системи на кристали (SoC):

- Nordic Semiconductor nRF52 – мікросхеми, що підтримують Bluetooth Low Energy, часто використовуються у носимих пристроях;
- Qualcomm Snapdragon використовуються в IoT-пристроях з високими вимогами до обробки даних, таких як розумні камери та дрони.

Мікропроцесори з низьким енергоспоживанням:

- ARM Cortex-M використовуються в багатьох IoT-пристроях для забезпечення ефективності споживання енергії;
- Texas Instruments MSP430 мікроконтролери, що мають низьке енергоспоживання та часто використовуються в сенсорах.

Спеціалізовані мікросистеми Intel Edison, розроблені для IoT-додатків, поєднують в собі потужність Intel з простотою використання у проєктах IoT [8].

Висновки

У статті досліджено важливість інтеграції мікропроцесорних систем з Інтернетом речей (IoT) для автоматизації промислових процесів. Така інтеграція дозволяє суттєво підвищити ефективність виробництва, знизити витрати та покращити безпеку. Використання IoT відкриває нові можливості для моніторингу обладнання в реальному часі, прогнозування поломок та автоматичного регулювання робочих параметрів. Автори підкреслюють, що впровадження IoT-рішень у промисловість сприяє цифровій трансформації, що є важливим етапом у розвитку "розумних фабрик". Важливим аспектом є також забезпечення кібербезпеки і надійності систем, що використовуються для управління виробничими процесами.

Список літератури

1. Автоматизація робочого процесу III: розблокування ефективності та інновацій. URL: <https://julienflorkin.com/uk/автоматизація-робочого-процесу-штучного-інтелекту>.
2. Вивчення інтеграції IoT із системами PLC. URL: https://plctr.com/exploring-iot-integration-with-plc-systems/#google_vignette.
3. Датчики і приводи в IoT - забезпечення промислової автоматизації. URL: <https://www.telesphera.net/blog/datchiki-i-privodi-v-iot.html>.
4. Інтернет речей (IoT) з мікроконтролерами: вступ. URL: https://ra-electronics.com/internet-of-things-iot-with-microcontrollers-introduction/#31_Overview_of_Microcontrollers.
5. Основи мікропроцесорної техніки. URL: <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/4667b67b-3d31-44fa-9dd5-0041d6ebd2bb/content>.
6. Підвищення ефективності та рентабельності підприємства URL: <https://www.se.com/ua/uk/work/solutions/industrial-automation-solutions/>
7. Рішення IoT: розширення можливостей майбутнього з революційним впливом. URL: <https://dusuniot.com/uk/blog/iot-solution-empowering-the-future-with-revolutionary-impact/>

8. Структура та функціонування мікропроцесорів URL: <https://web.kpi.kharkov.ua/ser/wp-content/uploads/sites/217/2024/01/Struktura-ta-funktsionuvannya-mikroprotsesoriv.pdf>.

V. Zayachkovskiy, V. Zavatsky, K. Storchak, O. Tkalenko

MONITORING AND USE OF IoT FOR INDUSTRIAL PROCESS AUTOMATION

Recent technological advances offer innovative methods for automating industrial processes, which play a critical role in enhancing productivity, efficiency, and overall competitiveness in the manufacturing sector. The Internet of Things (IoT) has emerged as one of the primary technologies driving this transformation. By enabling the connection and communication of devices and machinery, IoT technologies provide a foundation for creating intelligent systems that support the real-time collection, processing, and analysis of data. This capability is particularly valuable in manufacturing environments, where it facilitates informed decision-making, optimizes resource allocation, and enables predictive maintenance, leading to a significant reduction in operational costs. Additionally, IoT-driven automation enhances safety by enabling the early detection of anomalies and potential hazards, reducing human intervention in high-risk tasks.

The integration of microprocessor systems with IoT introduces a new level of flexibility and scalability in automated industrial solutions. These systems can be customized to meet the specific needs of various industries, such as automotive, pharmaceuticals, and energy, where production processes demand high precision and reliability. By leveraging the power of IoT and microprocessors, industries can achieve real-time monitoring and adaptive control of machinery, optimizing the manufacturing workflow and ensuring consistent product quality. Furthermore, IoT applications in industrial automation offer a modular approach, allowing manufacturers to expand or reconfigure production systems without significant downtime or resource investment.

Implementing IoT solutions in industrial environments requires robust communication protocols and data security measures to ensure the safe and efficient exchange of information between connected devices. Secure data handling and storage are essential to protect sensitive information and maintain system integrity, especially in large-scale operations. Consequently, industrial IoT solutions often incorporate advanced cybersecurity practices, including encryption and authentication mechanisms, to safeguard against potential breaches or disruptions.

Overall, the use of IoT and microprocessor-based systems in industrial process automation represents a paradigm shift in manufacturing, promoting sustainability and operational efficiency. As industries increasingly adopt IoT-enabled automation, they are better positioned to meet the demands of a rapidly changing market, adjust to resource constraints, and minimize environmental impact. By capitalizing on real-time insights and intelligent control systems, IoT technology is paving the way for a future where automated industrial processes are smarter, more adaptive, and economically viable.

Keywords: Internet of Things (IoT), microprocessor systems, industrial process automation, smart systems, real-time data, predictive maintenance, cybersecurity.
