

ВИМІРЮВАЛЬНІ СИСТЕМИ

ПРОБЛЕМИ ТА ПЕРСПЕКТИВИ ЗАСТОСУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ДЛЯ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ

PROBLEMS AND PROSPECTS FOR INDUSTRIAL ENTERPRISES IoT TECHNOLOGY APPLICATION

Майданюк Н. В., аспір.,

*Міжнародний науково-навчальний центр інформаційних технологій та систем
Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, Україна*

Nadiia Maidaniuk, Ph. D. student,

*International Research and Training Center of Information Technologies and System of the National
Academy of Sciences (NAS) of Ukraine and Ministry of Education and Science (MES) of Ukraine, Ukraine;
e-mail: n.maidanyuk@ukr.net*

<https://doi.org/10.23939/istcmtm2019.01.027>

Анотація. Досліджено питання, пов'язані із застосуванням технологій Інтернету речей на промислових підприємствах, а також показано визначальну роль цієї платформи. Комплексно розглянуто основні характеристики й особливості підвищення конкурентоздатності підприємства в сучасних умовах, з використанням уже накопиченого теоретичного арсеналу і практичного досвіду.

Інтернет речей передбачає підключення до глобальної комп'ютерної мережі побутових предметів за допомогою вбудованих модулів зв'язку, завдяки чому вони отримують можливість взаємодіяти один з одним, із зовнішнім середовищем, обмінюватися даними і здійснювати операції без участі людини. Сенсори консоліднують дані в режимі реального часу і дають можливість прямої інтеграції із базами даних і сховищами даних та ERP-системами тощо. Вивчено можливість підключення сенсорів до мережі зв'язку, зокрема бездротовим методом. Вибір стандартів інтернет-з'єднань залежить від декількох факторів, таких як наявна інфраструктура, досвід ІТ-команди з роботи із зазначеними стандартами і пристроями тощо.

Загалом технологіям Інтернету речей притаманний потенціал, який надає змогу підприємствам досягти вищого рівня розвитку, стрімко збільшуючи конкурентоспроможність.

Ключові слова: віртуальний простір, Інтернет речей, конкурентоспроможність, промислові підприємства, розумні підприємства.

Abstract. The issues connected with the use of IoT technologies in industrial enterprises are studied in the article. The main features of increasing the competitiveness of the enterprise are considered in a comprehensive manner, using accumulated experience allowing access more complete list of possibilities in usage of characteristics. IoT is a network consisting of interconnected physical objects or devices that have built-in sensors as well as software that allows the transmission and exchange of data between the physical world and computer systems using the standard protocols. Apart from the sensors, the network may have actuators built into physical objects and interconnected by wired and wireless networks. These interconnected objects have the ability to read and to execute, the function to program and identify as also to eliminate the need for human participation through the intelligent interfaces.

Smart IoT is the development of “domestic” IoT in relation to industrial production – with its protocols of the information transfer, requirements for the safety and reliability of connections. Sensors consolidate data in real time and have the ability to integrate directly from databases and data warehouses and ERP-systems, etc. The choice of standards for Internet connections depends on several factors, such as the existing infrastructure, the experience of the IT team to work with these standards and IoT devices, and so on.

The main task for the IoT platform is to connect an access point and data network for the end-user applications to the new Internet ecosystem of Things. Internet technologies have practical capabilities that allow enterprises to enter up to the higher level of development and to increase their competitiveness rapidly.

Key words: Virtual Space, Internet of Things, Competitiveness, Industrial Enterprise, Smart Enterprise.

Вступ

Останніми роками в промисловості все активніше впроваджують процеси роботизації, автоматизації, вдосконалення управління підприємством, підвищення ступеня інтелектуалізації. Такі процеси – це необхідність, безпосередньо пов'язана із розвитком підприємств.

Велика частина активів взаємодії суб'єктів переноситься у віртуальний простір, в умовах інтен-

сивного використання глобальної інформаційної інфраструктури, зокрема розумних підприємств. У цих умовах на новий рівень виходять питання ефективності промислових підприємств. Для підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств вкрай необхідні системні рішення в сфері організаційного, математичного та програмного забезпечення управлінської діяльності. В умовах нестабільної економіки загальні економічні параметри

істотно й безперервно змінюються. Фактично можуть ставитися під сумнів будь-які стратегічні, а іноді й тактичні рішення, оскільки до моменту прояву результатів цього рішення зовнішні умови можуть змінитися, що неприпустимо для цілісності управління. Отже, “змінність” ринкових процесів практично “ставить під удар” керованість конкурентоспроможності цілих підприємств, а це позначається на соціальній сфері всієї держави, тому що будь-яке підприємство – це десятки, сотні та більше робочих місць. Доцільно комплексно розглянути основні характеристики й особливості підвищення конкурентоздатності підприємства в сучасних умовах, використовуючи вже накопичений теоретичний арсенал, і сформулювати на цій основі повніше його визначення.

IoT – це, безумовно, новий напрям у традиційній сфері збирання, оброблення і передавання даних. Для концепції розумного підприємства IoT – це ідеальна інформаційна технологія самоорганізації мережі інфраструктурного типу, пов’язана із інтелектуалізацією розумних підприємств як об’єкта управління [1].

IoT – це мережа, що складається із взаємозв’язаних фізичних об’єктів або пристроїв, які мають вбудовані сенсори, а також програмне забезпечення, що дає змогу здійснювати передавання і обмін даними між фізичним світом і комп’ютерними системами за допомогою використання стандартних протоколів зв’язку. Крім сенсорів, мережа може мати виконавчі пристрої, вбудовані у фізичні об’єкти і пов’язані між собою через дротові й бездротові мережі. Ці взаємопов’язані об’єкти мають можливість зчитування та приведення в дію функції програмування та ідентифікації, а також дають змогу обійтись без участі людини за рахунок використання інтелектуальних інтерфейсів [2].

Ринок IoT набуває усе більшої популярності, стає модним, пов’язуючи різні аспекти життя з розумними рішеннями. Розумні будинки, розумний транспорт, розумні підприємства – ці новинки приголомшують сучасних підприємців.

Недоліки

Технології IoT поєднують підключені точки доступу та стандарти мережі передавання даних для застосування кінцевого користувача, що дає можливість підвищувати продуктивність роботи промислових підприємств, здійснювати трансформацію економічних процесів. Проте також потрібно звернути увагу на виклики, зумовлені розвитком технологій IoT, зокрема: кібербезпеку, оскільки з розвитком ринків IoT можливі атаки на цілі підприємства; юридичні загрози – захист даних у глобальній мережі й атаки технологій IoT;

відсутність стандартів – потрібно працювати над адаптацією технологічних стандартів і протоколів до нових технологічних умов тощо.

Розглянемо основні з чинних стандартів.

IEEE 802.15.4

Стандарт IEEE 802.15.4 [3] є сьогодні основним у сфері сенсорних мереж, описує фізичний і канальний рівні еталонної моделі OSI. Вищі рівні доповнюються в інших стандартах, наприклад, ZigBee [4]. Стандарт передбачає роботу в трьох частотних діапазонах: один канал 868,0–868,6 МГц, десять каналів у діапазоні 902–928 МГц і 16 каналів у діапазоні 2400–2483,5 МГц.

Мережа стандарту IEEE 802.15.4 містить два типи пристроїв – повнофункціональні (FFD – Full Function Device) і пристрої зі зменшеною функціональністю (RFD – Reduced Function Device). За принципом FFD працюють координатор і маршрутизатори мережі, за принципом RFD – кінцеві пристрої. Кожна мережа має свій ідентифікатор (PAN ID – Personal Area Network ID).

ZigBee/ZigBee Pro

Стандарт ZigBee [4] доповнює верхні рівні еталонної моделі OSI, використовуючи IEEE 802.15.4 як основу. Зокрема, специфікація визначає алгоритми маршрутизації в комірчастій мережі, коли між парою вузлів може бути кілька маршрутів.

З огляду на істотну обмеженість у ресурсах сенсорних вузлів і невелику пропускну здатність каналу зв’язку, що унеможливають регулярний обмін службовою інформацією, використовується спеціальний протокол маршрутизації AODV з обчисленням маршруту на вимогу. Відповідно до цього протоколу, перед тим, як відправити дані віддаленого вузла, виявляють найкращий шлях, розсилаючи спеціальний запит на передавання. Це дає змогу уникнути постійного зберігання великих за обсягом таблиць маршрутизації в пам’яті вузлів.

Специфікою стандарту ZigBee є також детальний опис сервісів, призначених для користувачького рівня, спрямований на забезпечення сумісності обладнання різних виробників. З цієї метою під конкретні цільові додатки розроблено профілі, наприклад Smart Energy, Home Automation, Healthcare та інші.

EnOcean

Появі стандарту EnOcean [5] сприяли два основні чинники:

1. Створення мікроконтролерів і приймачів із дуже малою споживаною потужністю, вимірюваною нановатами.
2. Створення перетворювачів альтернативної енергії малих розмірів (Micro Energy Harvesters, МЕН). Сьогодні найефективніші 25 конверторів на основі п’єзомеханічних генераторів, фотоелементів, термоелектричних перетворювачів Пельтьє.

Як наслідок, уможливилось створення повністю автономних пристроїв збирання даних. Пристрої на основі стандарту EnOcean можуть працювати на різних частотах, найбільшого поширення набули ті з них, які використовують діапазон 868 МГц.

Цифровий пакет даних стандарту EnOcean – повідомлення розміром 14 байт, передане зі швидкістю 120 кбіт/с. Випадковий алгоритм доступу до середовища, що витрачає на безпосереднє передавання даних менше ніж 5 мс, характеризується низькою ймовірністю виникнення колізій. Однак, незважаючи на всі переваги автономної роботи, цей стандарт поки не набув значного поширення через низку причин:

- Вища вартість обладнання через використання перетворювачів альтернативної енергії.
- Малі розміри мереж.
- Низька швидкість і невелика дальність передавання (типові значення – до 30 м у приміщеннях і 300 м на відкритій місцевості).

Мета роботи

Мета роботи – дослідження технологій IoT, пов'язаних із проблемами і перспективами їхнього застосування для промислових підприємств та їхньої цифрової трансформації, а також розбудови розумних підприємств.

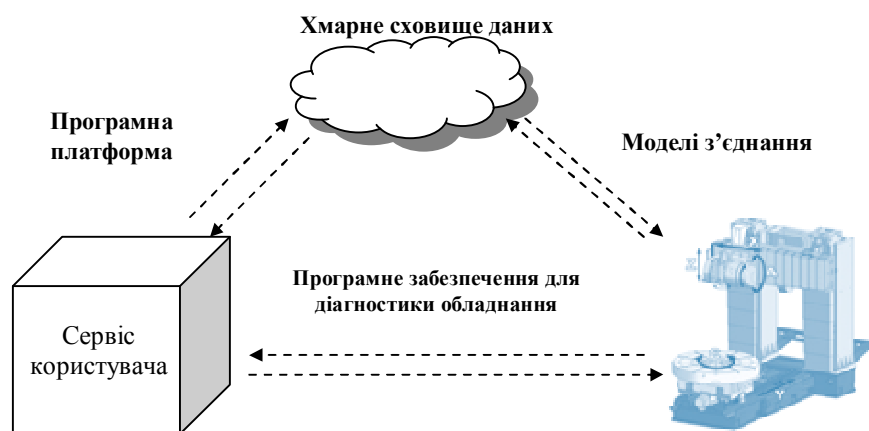
IoT для підтримки діяльності промислових підприємств

В умовах розбудови цифрової економіки виникає необхідність підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств, що є запорукою їх процвітання і розвитку в глобальному економічному просторі. В умовах інтенсивного використання глобальної інформаційної інфраструк-

тури, зокрема розумних підприємств, велика частина активів взаємодії суб'єктів переноситься у віртуальний простір. Виникає необхідність застосування нових методів і засобів прийняття рішень у реальному часі [2]. На думку багатьох експертів (державні експерти, керівники підприємств та фінансових установ, IT-директори тощо), IoT змінить економічну систему та модель нашого суспільства. Вже сьогодні IoT – це сфера, вартість якої оцінюється в мільярди доларів, й щороку кількість зацікавлених і залучених до неї збільшується.

Концепція Industry 4.0 передбачає децентралізацію виробничого процесу. Це означає, що продукт, який випускається, в процесі виробництва активно взаємодіє із технологічним обладнанням, системами логістики й іншими об'єктами інфраструктури, даючи змогу тим самим “на льоту” оптимізувати виробничий процес залежно від поточної ситуації, вносити коригування до плану виробництва. Нова промислова революція полягає в появі та бурхливому розвитку таких технологій, як Інтернет речей, хмарні обчислення, оброблення великих обсягів даних, адитивне виробництво, використання нового покоління “розумних” роботів, які й створюватимуть нові виробничі реалії.

IoT передбачає підключення до глобальної комп'ютерної мережі побутових предметів за допомогою вбудованих модулів зв'язку, завдяки чому вони отримують можливість взаємодіяти один із одним, зовнішнім середовищем, обмінюватися даними і здійснювати операції без участі людини. Складовою частиною IoT і його головною на сучасному етапі розвитку технологій рушійною силою є промисловий (або індустріальний) IoT (Industrial Internet of Things, IIoT). IIoT є розвитком “побутового” IoT стосовно промислового виробництва – зі своїми протоколами передавання інформації, вимогами до безпеки і надійності з'єднань (див. рисунок).



Основні програмні елементи системи

The main program elements of the system

IIoT – це система об'єднаних комп'ютерних мереж і підключених до них промислових (виробничих) об'єктів з вбудованими сенсорами і програмним забезпеченням для збирання та обміну даними, з можливістю віддаленого контролю і управління в автоматизованому режимі, без участі людини.

На першому етапі впровадження IIoT на промислове обладнання встановлюють сенсори, виконавчі механізми, контролери та людино-машинні інтерфейси. В результаті уможливується збирання інформації, яка дає змогу керівництву отримувати об'єктивні й точні дані про стан виробництва. Оброблені дані надаються всім підрозділам підприємства, це допомагає налагодити взаємодію між працівниками різних підрозділів і приймати обґрунтовані рішення.

Отриману інформацію можна використати для запобігання позаплановим простоюванням, поломкам устаткування, скороченню позапланового технічного обслуговування і збоїв в управлінні ланцюгами поставок, тим самим сприяючи ефективнішому функціонуванню підприємства.

У разі оброблення величезного масиву неструктурованих даних, що надходять із сенсорів, їх фільтрація і адекватна інтерпретація стають пріоритетними завданнями. Тому особливого значення набуває подання інформації в зрозумілому користувачеві вигляді. Для цього використовують передові аналітичні платформи, призначені для збирання, зберігання і аналізу даних про технологічні процеси і події, що працюють у реальному часі [6].

Зокрема, розглянемо автоматизовану систему на прикладі задачі управління технічним обслуговуванням підприємства із застосуванням технологій Інтернету речей для промислових підприємств.

Основні характеристики системи:

§ для роботи необхідно використовувати діагностичне обладнання (сенсори, АЦП, контролери, ПК, модеми тощо);

§ прогнозування стану обладнання ведеться на основі аналізу поточних і архівних статистичних даних;

§ на монітор оператора або механіка надходить сповіщення про деградацію обладнання, результатом якої може бути його пошкодження або відмова.

На підставі розробленої моделі система автоматично вносить зміни в план ремонтів управлінської системи промислового підприємства.

Отже, користувач отримує для користування готовий сервіс прогнозування ремонтів.

Функції рішення:

- рання діагностика стану обладнання (до досягнення граничних значень контрольованих параметрів) дає змогу запобігти аваріям, здійснивши завчасне технічне обслуговування;

- можливість побудови моделі для кожної конкретної одиниці обладнання з урахуванням умов експлуатації;

- постійний моніторинг роботи обладнання як джерело надійної інформації щодо поточного стану обладнання;

- повідомлення про критичні події надходять операторам у режимі 24/7, запобігаючи швидкоплинним аварійним подіям;

- можливість прогнозування залишкового робочого ресурсу обладнання і оптимальних термінів планованого обслуговування або ремонту.

Вигоди, які забезпечує впровадження системи прогнозування ремонтів на платформі IIoT:

- збільшення ефективного часу роботи обладнання;

- планування витрат на ТОРО з урахуванням ризиків відмови обладнання;

- зниження поточних витрат на ремонт обладнання і точніше прогнозування планових витрат на ТОРО;

- оптимізація складських запасів;

- формування системи управління надійністю обладнання.

Отже, IIoT створює нові можливості для промислових підприємств із розширенням спектра своїх послуг, посиленням їх бізнес-ідей за допомогою точних і своєчасних даних, поліпшенням бізнес-процесів і диференціацією їхніх пропозицій на ринку. Насправді з'єднані цим IIoT виробничі одиниці наближають промислові підприємства до своїх клієнтів, забезпечуючи режим реального повернення інвестицій і їх окупність.

Накопичення критичного масиву даних, мільярд під'єднаних сенсорів і машин, розвиток технологій та програмних платформ – все це підвищує інтерес до питання IIoT. Інформація стає основною “кров'ю” економіки та промисловості.

Розвиток IIoT пов'язаний із прогресом у сфері сенсорних мереж і сенсорів. Сенсори – це основна рушійна сила екосистеми технологій IIoT у виробництві. Вони консолідують дані в режимі реального часу і надають можливість прямої інтеграції з системами баз даних, ERP-системами або сховищами даних.

Підключення сенсорів IIoT до мереж зв'язку, зокрема бездротових, – друге важливе нововведення. На відміну від того, що було кілька років тому, інтернет-з'єднання стали надійними і доступними, що дає змогу підприємствам розгорнути їх у своїх підрозділах. Наявні стандарти, такі як Bluetooth, Wi-Fi, BLE, RFID, ZigBee і сім'я IPv6, нині широко використовуються і підтримують технології IIoT на підприємствах. Інші стандарти, що розвиваються, – 6LoWPAN і 802.11ah, які просувають деякі виробники пристроїв, створюють необхідну конкуренцію і приводять до здешевлення рішень і поліпшення

якості зв'язку. У підприємств, зацікавлених у реалізації технології IoT на своїх підприємствах, є можливість вибрати з низки продуктів, вироблених на основі мережевих стандартів і вирішити, які з них підходять для конкретних промислових підприємств. Цей вибір залежить від декількох факторів, таких як наявна інфраструктура, досвід IT-команди щодо роботи із зазначеними вище стандартами і сумісність пристроїв тощо. Разом з іншими компонентами так формується конкретна промислова платформа рішень IoT, яку можна вже називати PoT.

IoT можна розглядати як глобальну мережеву інфраструктуру, що складається із безлічі підключених пристроїв, які використовують сенсорні, комунікаційні, мережеві й інформаційні технології [6].

Основною технологією для IoT є технологія ідентифікації та стеження (RFID), що дає змогу мікрочипам за допомогою бездротового зв'язку передавати зі зчитувачів ідентифікаційну інформацію. Друга технологія для IoT – бездротові сенсорні мережі (WSN), які переважно використовують інтелектуальні сенсори, які взаємодіють, для спільної роботи і моніторингу. В результаті технології IoT істотно впливають на нові інформаційні та комунікаційні технології (IKT) і технології корпоративних систем.

Зокрема, сучасні технології дають змогу об'єднувати в межах інформаційної взаємодії різноманітні, по суті, за змістом та існуванням об'єкти. В результаті такої взаємодії формуються, функціонують із певним ступенем ефективності, системи, орієнтовані на комплекс стратегічних цілей та оперативних завдань суб'єктів ринку. В контур IoT входять дві складові: бізнес-складова (зв'язок з іншими промисловими підприємствами; ризик-менеджмент; моделювання процесів; стратегічне планування) і технологічна складова (протоколи обміну; безпека мережі; керування даними; платформа взаємодії).

Для IoT як для глобального технологічного та економічного тренду характерні такі риси:

- база (платформа) – це загальні інформаційні, технічні, економічні, управлінські та інші технології, важливі для будь-якої предметної області, реалізуються у межах IoT;

- тематика (сегменти) – це технології, характерні для конкретної, певної предметної області, яка реалізується у межах IoT;

- оточення (інфраструктура) – це технології, що не належать безпосередньо до IoT, але дають змогу активно використовувати його загалом або за сегментами, поєднуючи з іншими інформаційними, економічними, гуманітарними або технічними системами.

Результати й обговорення

Експерти стверджують, що IoT є однією з найперспективніших технологій останніх років, що вже сьогодні фактично створює сотні нових продуктів і приводить до появи нових компаній на ринку, які диктують свої умови IT-гігантам [1]. Для реалізації багатьох сценаріїв використання IoT необхідне впровадження мереж 5G. Мережі п'ятого покоління дадуть змогу знизити затримки, одночасно підтримувати величезну кількість підключень, продовжити службу “розумних” пристроїв до десяти років, а також добитися неймовірних за нинішніми мірками швидкостей мобільного передавання даних. Особливість 5G у тому, що в межах однієї мережі одночасно підтримуватиметься робота додатків і пристроїв із широким спектром характеристик. Як кажуть, від кожного за здібностями, кожному – за потребами! Це досягається завдяки “сегментації” мережі на фрагменти, кожен з яких призначений для певних потреб.

Платформа IoT рішень є найважливішою частиною розумного підприємства. Перед тим як безпосередньо розпочати реалізацію технологій на базі IoT, дуже важливо переконатися, що є сприятлива, відкрита архітектура. Для промислового підприємства порушення правил безпеки і відсутність зв'язку можуть бути критичними вадами, які можна відвернути розумінням, що необхідний стратегічний підхід до ініціатив щодо технологій IoT на виробництві.

Основне завдання для платформи IoT – з'єднання точки доступу та мережі передавання даних для додатків кінцевого користувача в нову екосистему IoT. Це дає змогу компаніям автоматизувати свої процеси і аналізувати дані. Інакше кажучи, платформи IoT діють як проміжні програмні рішення, які з'єднують дані, зібрані на місцях, і призначені для користувача додатка (APP) на мобільних пристроях або в SaaS-додатках. Рішення IoT об'єднуватимуть велику кількість функцій, які забезпечуватимуть: сенсори і контролери, пристрій шлюзів для збирання даних і відправлення їх на сервер, мережа зв'язку для передавання даних, засоби аналізу даних і програмного забезпечення для візуалізації даних тощо [7].

Отже, технології IoT володіють практичним потенціалом, що дає змогу підприємствам виходити на новий рівень розвитку. IoT здатний об'єднувати індустрію та державу в єдиний ефективний механізм, всі учасники якого зможуть добитися поставлених цілей. Підприємства зможуть стрімко збільшувати свою конкурентоспроможність.

PoT дає змогу створювати виробництва, які виявляються ощадливішими, гнучкішими й ефективнішими, ніж теперішні. Бездротові пристрої з підтримкою протоколу IP, зокрема смартфони,

планшети і давачі, вже активно використовують на виробництві. Наявні провідні мережі сенсорів найближчими роками будуть розширені й доповнені бездротовими мережами, завдяки чому на підприємствах істотно розширяться зони застосування систем моніторингу та управління. Наступний етап оптимізації виробничих процесів характеризуватиметься все тіснішою конвергенцією кращих інформаційних і операційних технологій.

У міру становлення цифрових екосистем виробничі підприємства з ізольованих систем, що самостійно виконують усі необхідні для виробництва продукції виробничі та бізнес-процеси, перетворюватимуться на відкриті системи, що поєднують різних учасників ринку; управляти засобами виробництва в системах буде не персонал, а хмарні сервіси, кінцева мета всіх цих трансформацій – не випускання продукції, а надання послуг споживачеві [8].

Автори в роботі [2] стверджують, що ПоТ-рішення дозволяють підвищити ефективність виробництва в кілька разів, а термін окупності таких проєктів здебільшого не перевищує декількох місяців.

Головними складовими ПоТ стають передові аналітичні інструменти, штучний інтелект і машинне навчання. Багато підприємств давно використовують платформи бізнес-аналітики (BI) та інструменти інтелектуального виробництва (EMI). Тепер, завдяки ПоТ, розробники зможуть використовувати передові аналітичні інструменти (advanced analytics), штучний інтелект і машинне навчання для оперативного управління із попередженням і прийняттям рішень на основі поглибленої аналітики. Завдяки цьому ПоТ стає стратегічним інструментом, спрямованим на поліпшення виробничих показників.

Завдяки впровадженню технологій ПоТ стає можливим створення цифрової копії фізичного об'єкта, яку іноді називають "цифровий двійник". Цю копію використовують для моделювання, тестування і оптимізації фізичного об'єкта у віртуальному середовищі перед тим, як застосовувати його в реальному середовищі. Аналогічно дані, що надходять у реальному масштабі часу від інтегрованих у фізичні об'єкти сенсорів або від інших джерел, можуть використовуватися для вирішення аналітичних завдань, таких як моніторинг стану, діагностика відмов, відповідно до якої і прогнозує аналітик. Отримане в результаті знання може підвищити цінність виробничих активів підприємства за рахунок:

- § підвищення ефективності їх використання;
- § скорочення часу простою;
- § запобігання відмовам;
- § забезпечення безперервного поліпшення продукції під час проєктування і виробництва.

Отже, технології ПоТ допомагають розвивати технології доповненої та віртуальної реальності.

Висновки

Проведене дослідження показало, що технології Інтернету речей є основним імперативом розвитку цифрової економіки, дають змогу розвивати розумні підприємства. Найперспективнішими сьогодні є технології сенсорних мереж. Для промислових підприємств потрібно приділити особливу увагу розробленню програмних платформ IoT, таких як автоматичний моніторинг, контроль, управління, експлуатація і технічне обслуговування. Саме тому питання, пов'язані із проблемами та перспективами застосування технологій IoT для промислових підприємств, є актуальними, тому їх потрібно досліджувати і надалі.

Подяка

Автор висловлює вдячність науковому керівнику, завідувачу відділу кіберфізичних систем в управлінні, старшому науковому співробітнику Міжнародного науково-навчального центру інформаційних технологій та систем Національної академії наук України та Міністерства освіти і науки України, доктору технічних наук Тимашовій Ліані Анатоліївні за надану допомогу та всебічне сприяння у підготовці статті.

Список літератури

- [1] В. И. Гриценко, Л. А.Тимашова, "Интеллектуальные сенсорные системы – техническая основа умного предприятия цифровой экономики", *УСМ*, № 1, с. 19–25, 2017.
- [2] J. Zhong Ray, Xu Xun, E. Klotz, Stephen T., "Newman Intellectual production in the context of Industry 4.0", *Engineering* 3, pp. 616–630, 2017.
- [3] IEEE 802.15.4d-2009 Standard, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-2009.pdf>
- [4] ZigBee specification overview, ZigBee Alliance, 2012. [Online]. Available: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>.
- [5] Energy Harvesting Wireless Technology, EnOcean GmbH, 2012. [Online]. Available: <http://www.enocean.com/en/energy-harvesting-wireless>.
- [6] L. Tan, N. Wang, Future internet: The internet of Things, in *Proc. 3rd Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng. (ICACTE)*. China, Chengdu, 2010.
- [7] 10 Ways Machine Learning Is Revolutionizing Manufacturing, 2016. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2016/06/26/10-ways-machine-learning-is-revolutionizing-manufacturing/#57d0ec792d7f> Retrieved: Oct, 2016.
- [8] Industrial_Internet_of_Things, TADVISER Государство. Бизнес. ИТ., 2018. [Электронный ресурс]. Режим доступа: [www.tadviser.ru/index.php/Статья:ПоТ_-_Industrial_Internet_of_Things_\(Промышленный_интернет_вещей\)](http://www.tadviser.ru/index.php/Статья:ПоТ_-_Industrial_Internet_of_Things_(Промышленный_интернет_вещей)).

References

- [1] V. Gritsenko, L. Timashova “The Internet of Things in the Structure of the Clever Enterprise”, *Control Systems and Computers*, no. 1, 2017, pp. 19–25 (In Russian).
- [2] J. Zhong Ray, Xu Xun, E. Klotz, Stephen T., “Newman Intellectual production in the context of Industry 4.0”, *Engineering* 3, pp. 616–630, 2017.
- [3] IEEE 802.15.4d-2009 Standard, Institute of Electrical and Electronics Engineers, 2009. [Online]. Available: <http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.15.4d-2009.pdf>.
- [4] ZigBee specification overview, ZigBee Alliance, 2012. [Online]. Available: <http://www.zigbee.org/Specifications/ZigBee/Overview.aspx>.
- [5] Energy Harvesting Wireless Technology, EnOcean GmbH, 2012. [Online]. Available: <http://www.enocean.com/en/energy-harvesting-wireless>.
- [6] L. Tan, N. Wang, Future internet: The internet of Things, in *Proc. 3rd Int. Conf. Adv. Comput. Theory Eng. (ICACTE)*. China, Chengdu, 2010.
- [7] 10 Ways Machine Learning Is Revolutionizing Manufacturing, 2016. [Online]. Available: <http://www.forbes.com/sites/louiscolombus/2016/06/26/10-waysmachine-learning-is-revolutionizing-manufacturing/#57d0ec792d7f> Retrieved: Oct, 2016.
- [8] Industrial_Internet_of_Things, TADVISER Gosudarstvo. Biznes. IT, 2018. [Online]. Available: www.tadviser.ru/index.php.