

УДК 004.738.5:681.5:66

DOI <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.11>**Артем КАМЕНСЬКИЙ**

аспірант кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії,
Черкаський державний технологічний університет, a.o.kamenskyi.asp21@chdtu.edu.ua
ORCID: 0000-0001-7440-2860

Віра БАБЕНКО

доктор технічних наук, професор,
професор кафедри інформаційної безпеки та комп'ютерної інженерії,
Черкаський державний технологічний університет, v.babenko@chdtu.edu.ua
ORCID: 0000-0003-2039-2841

ДОСЛІДЖЕННЯ АКТУАЛЬНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ ЯК СКЛАДОВОЇ ЧАСТИНИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ХІМІЧНОЇ ГАЛУЗІ

Анотація. У роботі розглянуто результати досліджень актуальності впровадження в хімічну галузь такої інноваційної технології як Інтернет речей (IoT, Internet of Things). Сучасні хімічні підприємства особливу увагу приділяють автоматизації та засобам контролю. Це важливо, не тільки з точки зору отримання якісних кінцевих продуктів, а й для підтримки заданих технологічних режимів, аналізу стану обладнання та безпеки виробництва в цілому. Тому, більшість великих підприємств, що виробляють мінеральні добрива, хімічні реагенти і т.д., для автоматизації та моніторингу застосовують системи SCADA. Швидкий розвиток технологій дав можливість впровадження системи моніторингу IoT в різні напрями господарювання, що досліджено в статті. У роботі надано порівняльний аналіз відмінностей контролю виробничих процесів за допомогою SCADA – систем і сучасної інноваційної концепції IoT.

Метою статті є комплексне дослідження можливостей та перспектив впровадження технологій Інтернету речей (IoT) у хімічні виробництва шляхом застосування методів пошуку, аналізу, зіставлення та узагальнення даних з інформаційних джерел.

Методологія. Для досягнення поставленої мети було здійснено систематичний аналіз наукових публікацій, статей та технічних звітів, присвячених особливостям архітектури Інтернету речей (IoT), практиці його впровадження в різних галузях промисловості, а також перевагам і викликам, пов'язаним із використанням цієї технології. Такий підхід дозволив сформувати цілісне уявлення про потенціал IoT у сфері хімічного виробництва та об'єктивно оцінити актуальність його впровадження в контексті сучасних українських реалій. Застосований в роботі метод порівняння технологій контролю дає можливість оцінити подібності та розбіжності SCADA та IoT.

Наукова новизна. У статті представлено порівняльну характеристику технологій контролю за наступними параметрами: призначення та функції, архітектура, типи даних, управління та контроль, масштабованість, застосування в хімічній галузі. Окрему увагу приділено оцінці доцільності інтеграції IoT у вже діючі системи автоматизованого управління виробничими процесами.

Висновки. Кожна з систем контролю та управління, моніторингу та обробки даних (SCADA та IoT) має свої переваги та недоліки. Визначено, що для якісної роботи сучасного хімічного підприємства доцільно застосовувати переваги обох технологій, створюючи якісне середовище, оптимізоване як для автоматизації процесів, так і для аналізу даних.

Ключові слова: IoT, Інтернет речей, система SCADA, хімічна промисловість, автоматизація, цифрові технології.

Artem KAMENSKYI, Vira BABENKO. RESEARCH ON THE RELEVANCE OF IMPLEMENTING THE INTERNET OF THINGS AS A COMPONENT OF AUTOMATION IN THE CHEMICAL INDUSTRY

Abstract. The paper considers the results of research into the relevance of introducing such innovative technology as the Internet of Things (IoT) into the chemical industry. Modern chemical enterprises pay special attention to automation and control tools. This is important not only from the point of view of obtaining high-quality final products, but also for maintaining specified technological modes, analyzing the condition of equipment and production safety in general. Therefore, most large enterprises that produce mineral fertilizers, chemical reagents, etc. use SCADA systems for automation and monitoring. The rapid development of technologies has made it possible to introduce an IoT monitoring system into various areas of business, which is investigated in the article. The paper provides a comparative analysis of the differences in controlling production processes using SCADA systems and the modern innovative concept of IoT.

The purpose of the article is a comprehensive study of the possibilities and prospects for the implementation of Internet of Things (IoT) technologies in chemical production by applying methods of search, analysis, comparison and generalization of data from information sources.

Methodology. To achieve the set goal, a systematic analysis of scientific publications, articles and technical reports was carried out, devoted to the features of the Internet of Things (IoT) architecture, the practice of its implementation in various industries, as well as the advantages and challenges associated with the use of this technology. This approach allowed us to form a holistic picture of the potential of IoT in the field of chemical production and to objectively assess the relevance of its implementation in the context of modern Ukrainian realities. The method of comparing control technologies used in the work makes it possible to assess the similarities and differences of SCADA and IoT.

Scientific novelty. The article presents a comparative characteristic of control technologies according to the following parameters: purpose and functions, architecture, data types, management and control, scalability, application in the chemical industry. Special attention is paid to assessing the feasibility of integrating IoT into existing automated production process control systems.

Conclusions. Each of the control and management, monitoring and data processing systems (SCADA and IoT) has its own advantages and disadvantages. It has been determined that for the high-quality operation of a modern chemical enterprise it is advisable to apply the advantages of both technologies, creating a high-quality environment optimized for both process automation and data analysis.

Key words: IIoT, Internet of Things, SCADA system, chemical industry, automation, digital technologies.

Постановка проблеми в загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями. Сучасні інформаційні технології мають все більший вплив на всі сфери суспільного сьогодення. Завдяки стрімкому розвитку засобів цифровізації, що відбувається останніми роками, інформаційна складова суспільства нестримно змінюється, роблячи тим самим сильний вплив на всі сторони життя і діяльності людей. В промисловості, з розвитком технологій, все більше підприємств і секторів використовують новітні цифрові інновації, щоб зробити свої процеси ефективнішими, а автоматизацію виробництв більш сучасною. Інтернет речей (IoT) є однією з таких технологій, яка повільно, але впевнено стає все більш поширеною в суспільстві та займає значне місце в різних галузях промисловості. Зараз технологію IoT використовують в багатьох індустріях: медицині, сільському господарстві, тваринництві, логістиці, транспорті та виробництві.

Однією з таких галузей, яку доцільно розглянути, є хімічна. Хімічна промисловість – один із ключових секторів економіки України, охоплює хімічний, нафтохімічний та фармацевтичний сегменти. Якісний стан автоматизації, контролю та моніторингу технологічних процесів має пріоритетне значення для цієї галузі.

Впроваджуючи нові цифрові технології, хімічні виробництва, щоб залишатися конкурентоспроможними, включають в свою діяльність IoT і машинне навчання, щоб задовольнити потреби та тенденції світу, які постійно змінюються. Під терміном «Інтернет речей» (IoT, Internet of Things) розуміють мережу фізичних об'єктів, які мають вбудовані технології, що дозволяють здійснювати взаємодію з зовнішнім середовищем, передавати відомості про свій стан і приймати дані ззовні. 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 [7]. Складовою частиною, або підкатегорією, Інтернету речей є Індустріальний (або Промисловий) Інтернет речей (Industrial Internet of Things, IIoT). Він представляє собою промислову версію Інтернету речей і застосовується у виробничому та технічному середовищі. IIoT надає інформацію в режимі реального часу для кращого операційного контролю та більш ефективного виробництва, оптимізує процеси технічного обслуговування, скорочує час простоїв і більш ефективно використовує ресурси. Промисловий Інтернет речей можна масштабувати та адаптувати до вимог певного виробництва [10, 21].

Проблематикою роботи є дослідження питання необхідності та доцільності застосування Інтернету речей, як частини автоматизації виробництв в хімічній галузі. Потрібно зазначити, що хімічна промисловість України вважається однією з галузей економіки, що є пріоритетними для держави. Від рівня її розвитку прямо залежать загальні показники макроекономіки. Не зважаючи на складні умови та воєнні дії в Україні, сектор хімічної промисловості зберігає свої позиції, утворюючи приблизно 4% від національного ВВП і має потенціал для подальшого зростання [15]. Так як дана галузь має велике значення для життєдіяльності різних напрямів економіки, а впровадження Інтернету речей в хімічну промисловість є ще недостатньо вивченим процесом, то існує необхідність аналізу доцільності застосування новітніх цифрових технологій в автоматизований процес виробництва в реаліях українського сьогодення.

Об'єктом дослідження є застосування цифрових технологій в хімічній галузі. Предмет досліджень – аналіз впровадження технології Промислового Інтернету речей як частини автоматизації хімічного виробництва.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Огляд теми Інтернету речей проводилось багатьма авторами наукових та Інтернет – статей в різних галузях промисловості [19, 18, 11]. Дослідники зосереджують свою увагу на застосуванні Інтернету речей як невід'ємної частини автоматизації виробництва. Інтернет речей (IoT) – це система, яка об'єднує різні прилади, датчики та пристрої в одну мережу через доступні канали зв'язку. Вони взаємодіють між собою за допомогою різних протоколів та використовують єдиний протокол (IP) для підключення до глобальної мережі (мережа Інтернет). Це процеси безперервного збору, передачі та аналізу даних, що забезпечують автоматизоване управління пристроями без втручання людини. Архітектура Інтернету речей, в загальному вигляді, складається

з сенсорів, мережі та серверів для обробки даних. Сенсори збирають інформацію з навколишнього робочого середовища, а мережа передає ці дані до серверів, де вони обробляються та аналізуються для подальшого використання. В хімічній промисловості, в якості сенсорів, використовують датчики температури, тиску, вологості та якості повітря, рівнеміри, витратоміри і т.д. В якості мережі застосовують: Wi-Fi, Bluetooth, LoRaWAN, 5G тощо – залежить від вимог до дальності, швидкості передачі даних та енергоспоживання. Ця архітектура дозволяє здійснювати автоматичний контроль і керування різними системами та процесами. Хмарні сервіси забезпечують зберігання великих обсягів даних та їх обробку в режимі реального часу [2]. В роботах [11, 4, 14] представлені архітектурні рішення для побудови системи Інтернету речей і, в залежності від реалізацій, вони можуть відрізнятися.

Актуальність застосування IoT представлені в статтях, які давали оцінку впровадженню інновації в різні сфери господарювання: в енергетиці (для автоматизації та оптимізації енергоспоживання) [12], у сфері охорони здоров'я (поліпшення якості послуг, успіхи в технології біосенсорів, осучаснення діагностики) [6], економіці й сільському господарстві (аналіз ґрунтів, періодичність введення добрив, застосування дронів) [16, 1], логістиці (ефективна і точна доставка продукції, моніторинг та управління транспортними засобами) та адмініструванні (при впровадженні електронного урядування) [13, 5], будівельній сфері (розумні будинки, старт – будівництво, системи автоматизації) [3]. Автори охарактеризували в своїх роботах різні напрямки застосування Інтернету технологій та очікувані переваги та недоліки.

Мета статті – дослідити методами пошуку, аналізу, зіставлення та узагальнення даних інформаційних джерел можливості та перспективи впровадження Інтернету речей в хімічні виробництва. Створення порівняльної характеристики Інтернету речей та системи SCADA для хімічних виробництв.

Виклад основного матеріалу. В сучасній хімічній промисловості більшість процесів автоматизовані. **Для цього застосовують автоматизовані системи управління технологічними процесами (АСУТП)** – людино-машинну систему управління, що забезпечує автоматизований збір і обробку інформації, необхідної для оптимізації управління технологічним об'єктом відповідно до прийнятого критерію. **Впровадження АСУТП** обумовлюється наявністю сучасних автоматичних засобів збору та обробки інформації, насамперед засобів обчислювальної техніки. Людина, як суб'єкт праці, бере участь у прийнятті рішень з управління. Важливим аспектом є реалізація в системі процесу обробки технологічної та техніко-економічної інформації. Основною метою функціонування АСУТП є оптимізація роботи технологічного об'єкта управління за визначеними критеріями, шляхом правильного вибору керуючих впливів. Критерієм управління зазвичай є техніко-економічний показник (наприклад, собівартість вихідного продукту при заданій його якості) або технічний показник (наприклад, параметри процесу – тиск, температура, витрати або характеристики вихідного продукту) [8].

SCADA. Використання технології комп'ютерного контролю, моніторингу та регулювання дозволяє точно дозувати сировину, підтримувати заданий технологічний режим, ефективно контролювати постачання енергії та безпечно управляти процесами. Все це на сучасних заводах виконує система SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) – система диспетчерського контролю та збору даних програмного та апаратного забезпечення, яка дозволяє контролювати процеси виробництва та обробку інформації як з локальних, так і з віддалених місць. Основні структурні елементи SCADA – системи: людино-машинний інтерфейс, система нагляду, віддалені термінали, програмовано-логічні контролери (ПЛК), інфраструктура зв'язку, програмування SCADA. Усі ці елементи разом формують ефективну систему управління, в якій людино-машинний інтерфейс виконує функцію пристрою для введення та виведення даних, дозволяючи оператору керувати процесами. Комунікаційним центром системи є сервер диспетчеризації, який забезпечує зв'язок між інтерфейсом оператора та іншими компонентами, зокрема ПЛК і сенсорами. Віддалені термінали передають зібрані дані до систем моніторингу. ПЛК взаємодіють із сенсорами та датчиками, відіграючи ключову роль у забезпеченні безперервного контролю за промисловими процесами в реальному часі [9]. Система SCADA не є системою повного контролю виробництва, вона скоріше виконує наглядову функцію та має свої переваги і недоліки. Серед переваг можна відмітити: можливість збереження великої кількості даних, забезпечення інтерфейсу для підключення тисячі датчиків моніторингу та керування, можливість отримати симуляцію реальних даних, резервне копіювання даних в разі несправностей та збоїв, швидкість отримання відповідей, обробка даних в реальному часі; виявлення та локація несправностей і т.д. До недоліків можна віднести: складність SCADA на основі ПЛК, що потребує висококваліфікованих програмістів, аналітиків та операторів; високі витрати на монтаж; система підтримує обмежене програмне та апаратне обладнання; збій системи може призвести до критичних наслідків. Фактор скорочення людської сили можна віднести як до переваг, так і до недоліків.

IoT. Розвиток сучасних технологій змінює спосіб моніторингу, контролю та оптимізації хімічних процесів на підприємствах, розширюючи межі ефективності, безпеки та інновацій. Завдяки потужним цифровим з'єднанням нового покоління, зокрема технології IIoT (промислова версія), відбувається трансформація промислових процесів. Це передбачає інтеграцію датчиків, пристроїв і обладнання з Інтернетом для збору та обміну даними в режимі реального часу, що сприяє підвищенню рівня автоматизації виробництва та прийняттю рішень на основі об'єктивної аналітики [21]. Використання бездротових пристроїв з підтримкою IP-протоколу, включаючи смартфони, планшети, датчики, дає можливість швидкому прийняттю рішень. Архітектура IIoT не має стандартної кількості рівнів, але ключовими є [17, 21]:

1. Фізичний рівень (сенсорний) – групує датчики та виконавчі механізми, призначені для обміну даними з промислового процесу в реальному часі.
2. Мережевий рівень – включає технології, протоколи зв'язку (включаючи 5G, Wi-Fi, LoRaWan тощо) та інтерфейси для обміну даними між рівнями.
3. Рівень проміжного програмного забезпечення – призначений для збору та обробки даних, включаючи зберігання, фільтрацію, агрегацію, обчислення та аналіз інформації з мережевого рівня.
4. Рівень програми (прикладний рівень) – включає програмні рішення для візуалізації даних, управління виробництвом, моніторингу, прогнозування технічного стану обладнання, а також підтримки процесів прийняття рішень.

Найважливіші функції інтелектуального хімічного виробництва, за які відповідає Промисловий Інтернет речей [20]: автоматизований ланцюг поставок (аналіз рівнів запасів та стан доставки в реальному часі); управління запасами хімічних речовин у режимі реального часу (контроль рівня запасів сировини та матеріалів); попередження хімічних небезпек (витоків газів, хімікатів, підвищення рівня шуму і т.д.); послідовний контроль якості продуктів; швидке відстеження сировини (місцезнаходження та рух сировини й готової продукції); управління формулами на основі IoT (коригувати формули в режимі реального часу на основі змін наявності чи ціни матеріалів); прогнозне управління обладнанням (для прогнозування та запобігання поломкам або несправностям, оптимізації графіків технічного обслуговування та замовлення запасних частин в разі необхідності).

Такий сучасний підхід до автоматизації знижує витрати, мінімізує час простою та підвищує продуктивність виробників. Порівняльний аналіз основних характеристик системи SCADA та технології IoT для автоматизації виробництва хімічної галузі (табл. 1) дає змогу виявити ключові відмінності у підходах до збору, обробки та використання даних.

Таблиця 1

Порівняльний аналіз критеріїв впровадження системи SCADA та IoT (Інтернету речей) для хімічних виробництв

Критерії	SCADA	IoT (Інтернет речей)
1	2	3
Призначення та функції:	– Основне призначення – контроль, моніторинг та управління виробничими процесами в реальному часі. – SCADA системи використовуються для збору даних від датчиків, контролю та автоматизації процесів на промислових підприємствах, таких як хімічні заводи. Вони дозволяють операторам отримувати дані з різних джерел і приймати рішення на основі цих даних. – Зазвичай працюють з великими, централізованими системами управління, де контроль здійснюється з одного або кількох пультів управління.	– IoT у хімічній галузі застосовується для інтеграції численних датчиків та пристроїв, які можуть збирати дані не тільки в межах заводу, але й за його межами. – IoT дає можливість підключати різні пристрої до Інтернету, що дозволяє дистанційно моніторити та аналізувати дані. – IoT спрямований на з'єднання фізичних об'єктів та пристроїв в єдину мережу для обміну інформацією та автоматизації процесів.
Архітектура	– Має централізовану архітектуру, де дані збираються і обробляються на одному або кількох серверах, а операторам надаються інтерфейси для моніторингу та управління процесами. – Це система, орієнтована на специфічні промислові об'єкти і часто має великий набір спеціалізованих пристроїв.	– Має більш дистрибутивну архітектуру, де пристрої та датчики можуть бути частинами великої мережі, а обробка даних може здійснюватися не тільки на місці, але й у хмарі. Це дозволяє віддалено контролювати і аналізувати дані з різних точок по всьому світу.

Закінчення табл. 1

1	2	3
Типи даних	– Основна увага приділяється даним в реальному часі, таким як тиск, температура, рівень рідини, потік, концентрація хімічних речовин і т.д. – SCADA може забезпечувати контроль над аварійними ситуаціями або збоями в процесах, і часто використовує попередньо налаштовані пороги для активізації сигналів або запуску автоматичних дій.	– IoT може збирати набагато більше різноманітних даних, включаючи інформацію про стан пристроїв, умови навколишнього середовища, а також використання таких технологій як штучний інтелект, для аналізу трендів та прогнозування. – Дані з IoT можуть бути більш багатогранними і включати як інформацію в реальному часі, так і історичні дані для більш глибокого аналізу.
Управління та контроль	– Фокусується на безпосередньому управлінні процесами, надаючи операторам можливість здійснювати контроль в реальному часі за допомогою графічних інтерфейсів та автоматичних систем. – Основна мета – забезпечення безпеки і безперебійної роботи виробничих процесів.	– Орієнтовано на віддалене управління і моніторинг, а також на обробку великих обсягів даних для виявлення трендів, аномалій та прогнозування майбутніх потреб чи поломок. – IoT може бути частиною великої системи аналізу даних і включати автоматизацію на основі великих обсягів інформації, яку збирають датчики.
Масштабованість	Зазвичай використовується для моніторингу і управління конкретними об'єктами або секціями заводу. Розширення або модернізація системи SCADA часто вимагає значних інвестицій.	IoT є більш масштабованим і гнучким, дозволяючи інтегрувати пристрої по всьому підприємству або навіть на кількох підприємствах. Можна додавати нові пристрої та датчики без значних складнощів.
Застосування в хімічній галузі	Часто використовується для моніторингу та управління критичними процесами в хімічних реакціях, контролює температуру, тиск, рівень речовин, витрати та інші показники в реальному часі.	Може використовуватися для збору даних з безлічі точок на підприємстві, включаючи моніторинг стану обладнання, а також для аналізу даних для виявлення потенційних проблем (наприклад, знос обладнання) або для оптимізації витрат на енергію.

Висновки. Отже, хімічне виробництво – це не тільки процес отримання продукції певного напрямку, але й великий бізнес-проект, в який залучені великі кошти. На сьогодні, українські підприємства переживають складні часи через втрату логістичних зв'язків, порушення цілісності виробничих приміщень та обладнання за рахунок військових дій, підвищений контроль безпеки та різні енергетичні виклики. Всі ці фактори впливають на впровадження новітніх технологій таких як IIoT: з одного боку – це вкладення додаткових фінансів на оновлення системи контролю та керування, з іншого боку – це покращення якості виробництва в цілому.

Аналізуючи представлені технології автоматизації можна відзначити, що системи SCADA історично орієнтовані на централізований моніторинг і керування технологічними процесами в реальному часі, переважно в межах закритих, локальних мереж. Вони характеризуються високою надійністю, стабільністю та чітко визначеними функціями управління. Технологія IIoT – і, особливо її промислове відгалуження IIoT, – передбачає децентралізований підхід, розширення можливостей інтеграції з хмарними сервісами, аналітикою великих даних та штучним інтелектом. IIoT-системи мають гнучкішу архітектуру, підтримують значно більшу кількість підключених пристроїв та забезпечують масштабованість, що важливо в умовах швидкозмінних виробничих середовищ. Завдяки цим характеристикам, **IIoT-технології розширюють функціональність традиційних SCADA-систем**, дозволяючи реалізовувати нові моделі взаємодії з виробничими об'єктами, включно з віддаленим моніторингом, прогнозним обслуговуванням і адаптивним управлінням. Таким чином, аналіз демонструє, що IIoT не стільки замінює SCADA, скільки доповнює її, формуючи нову модель цифрового виробництва.

Список використаних джерел:

1. Дідич З. «Інтернет речей»: можливості та перспективи їх використання у сільському господарстві України. *Аграрна економіка*. 2018. Т. 11, № 1-2. С. 88–93. URL: <https://doi.org/10.31734/agrarecon2018.01.088>
2. Інтернет речей: що це і як він працює. URL: <https://gigatrans.ua/ua/news/internet-vesh-ey-chto-eto-takoe-i-kak-on-rabotaet> (дата звернення 18.01.2025).
3. Інтернет речей (IIoT) в будівництві та ремонті: Смарт-рішення. URL: <https://resheniya.com.ua/uk/internet-rechej-iiot-v-budivnictvi-ta-remonti-smart-rishennya/> (дата звернення 19.01.2025).

4. Коробейнікова Т., Іськович Т. Організація архітектури системи IoT в протокольному стекові. *Grail of Science*. 2023. № 27. С. 341–346. URL: <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.12.05.2023.053>
5. Круц А. О. Сучасні тенденції застосування технологій Інтернет речей при впровадженні електронного урядування на місцевому рівні. URL: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://ktpu.kpi.ua/wp-content/uploads/2019/12/naukovo-doslidna-robota-studentiv-kruts-2019.pdf> (дата звернення 19.01.2025).
6. Макаренко М. В. Особливості впровадження технологій Інтернету речей (Internet of Things, IoT; Internet of Medical Things, IOMT) у сфері охорони здоров'я. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: Державне управління*. 2021. Т. 32 (71), № 2. С. 64–68. URL: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-6468/2021.2/011>
7. Мішук Є., Мішук Д. Системи промислової автоматизації на основі IoT. *Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини*. 2020. № 96. С. 42–50. URL: <https://doi.org/10.32347/gbdmm2020.96.0501>
8. Посібник з лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи керування технологічними процесами» / Укладач: Карташов В. В. Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2017. 149 с.
9. Призначення, структура і основні функції SCADA – систем. URL: <http://www.votum.ua/old/uk/publications/scada.htm> (дата звернення 20.01.2025).
10. Промисловий Інтернет речей. URL: <https://www.phoenixcontact.com/uk-ua/tekhnohiiyi/promyslovyi-internet-rechey> (дата звернення 03.12.2024).
11. Самойленко М. Ю. Принципи застосування технологій Інтернет речей у сучасному світі техніки. *Вчені записки ТНУ імені В.І. Вернадського. Серія: технічні науки*. 2020. Т. 31 (70), № 6. С. 142–148. URL: <https://doi.org/10.32838/TNU-2663-5941/2020.6-1/24>
12. Сапожник Д. О., Плечистий Д. Д. Використання Інтернету речей для економії енергетичних ресурсів. *Вісник ВПІ*. 2023. Вип. 4. С. 39–45. URL: <https://doi.org/10.31649/1997-9266-2023-169-4-39-45>
13. Семененко Ю. С. Використання Інтернету речей у виробництві та логістиці. *Наукові інновації та передові технології*. 2024. № 4 (32). URL: <http://perspectives.pp.ua/index.php/auka/article/view/10514/10570> (дата звернення 19.01.2025).
14. Технології інтернету речей. Навчальний посібник: навч. посіб. для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 271 с.
15. Хімічна промисловість України. Найбільші підприємства та аналіз галузі. URL: <https://blog.youcontrol.market/khimichna-promislovist-ukrayini/> (дата звернення 03.12.2024).
16. Шапуров О. Інтернет речей (IoT): економічний розвиток та можливі наслідки. *Гуманітарний вісник Запорізької державної інженерної академії*. 2019. № 77. С. 199–202. URL: <https://doi.org/10.30839/2072-7941.2019.189298>
17. David Calderón, Francisco Javier Folgado, Isaías González, Antonio José Calderón Implementation and Experimental Application of Industrial IoT Architecture Using Automation and IoT Hardware/Software. *Sensors*. 2024. Vol. 24, Iss. 24. URL: <https://doi.org/10.3390/s24248074>
18. Khan W.Z., Rehman M.H., Zangoti H.M., Afzal M.K., Armi N., Salah K. Industrial Internet of Things: Recent Advances, Enabling Technologies and Open Challenges. *Computers & Electrical Engineering*. 2020. Vol. 81. URL: <https://doi.org/10.1016/j.compeleceng.2019.106522>
19. Onu Peter, Anup Pradhan, Charles Mbohwa Industrial internet of things (IIoT): opportunities, challenges, and requirements in manufacturing businesses in emerging economies. *Procedia Computer Science*. 2023. Vol. 217. P. 856–865. URL: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.12.282>
20. Smart Manufacturing With IoT: Benefits And Barriers of The Chemical Industry. URL: <https://www.intuz.com/blog/smart-manufacturing-iiot-in-chemical-industry> (дата звернення 25.04.2025).
21. Yarmilko A., Rozlomii I., Naumenko S. Dependability of Embedded Systems in the Industrial Internet of Things: Information Security and Reliability of the Communication Cluster. In: Faure, E., et al. *Information Technology for Education, Science, and Technics. ITEST 2024. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies*. 2024. Vol. 222. P. 235–249. Springer, Cham. URL: https://doi.org/10.1007/978-3-031-71804-5_16