

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ІНЖЕНЕРІЇ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ**

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
на тему: «ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ  
УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ПОСТАЧАННЯ ТОВАРІВ»**

на здобуття освітнього ступеня магістра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
(код, найменування спеціальності)  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології  
(назва)

*Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело*

\_\_\_\_\_ Ігор БУРИК  
(підпис) *Ім'я, ПРИЗВИЩЕ здобувача*

Виконав: Ігор БУРИК  
здобувач вищої освіти  
група ІСДМ-61

Керівник: Ірина СРІБНА  
*науковий ступінь,*  
*вчене звання* д.т.н. професор

Рецензент:  
*науковий ступінь,*  
*вчене звання*

**Київ 2023**

**ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ**  
**Навчально-науковий інститут інформаційних технологій**

Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем

Ступінь вищої освіти Магістр

Спеціальність Інформаційні системи та технології

Освітньо-професійна програма Інформаційні системи та технології

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедру ІІЗАС

\_\_\_\_\_ Каміла СТОРЧАК

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2023 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

\_\_\_\_\_ Бурик Ігор Дмитрович

*(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)*

1. Тема кваліфікаційної роботи: Дослідження систем ІОТ для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки.

керівник кваліфікаційної роботи Ірина Срібна д. т. н., професор,

*(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ науковий ступінь, вчене звання)*

затверджені наказом Державного університету інформаційно-комунікаційних технологій від «19» 10.2023р. №145

2. Строк подання кваліфікаційної роботи «29» грудня 2023 р.

3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: науково-технічна література, технічна документація автоматизації управління, вимоги до створення ланцюгів постачання в індустрії.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Науково-теоретичні засади управління систем ІОТ для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки

Апаратні складові систем іот для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки  
Моніторинг програмного забезпечення систем ІОТ для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки

5. Перелік графічного матеріалу: *презентація*

1. Теоретична частина
2. Апаратні складові систем
3. Моніторинг програмного забезпечення систем

6. Дата видачі завдання «19» жовтня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз наявної науково-технічної літератури	19.10-05.11.23	
2	Вивчення теоретичних основ автоматизації управління	05.11-12.11.23	
3	Дослідження технічних аспектів використання та створення ланцюгів постачання	13.11-18.11.23	
4	Аналіз проблем впровадження управління ланцюгами постачання в індустрії	19.11-23.11.23	
5	Огляд практичного впровадження та прикладів застосування автоматизації управління ланцюгом постачання	24.11-03.12.23	
6	Аналіз оптимальних технологій автоматизованого управління	04.12-10.12.23	
7	Оформлення роботи: вступ, висновки, реферат	11.12-20.12.23	
8	Розробка демонстраційних матеріалів	21.12-29.12.23	

Здобувач вищої освіти

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ігор БУРИК  
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

Керівник  
кваліфікаційної роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Ірина СРІБНА  
(Ім'я, ПРІЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Текстова частина кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня магістра: 70 стор., 39 рис., 70 джерел.

*Мета роботи* – дослідження та впровадження систем Інтернету речей (IoT) для автоматизації та оптимізації управління ланцюгами поставок у промисловості.

*Об'єкт дослідження* – є системи IoT, використовувані для автоматизації та оптимізації управління ланцюгами поставок у промисловості.

*Предмет дослідження* – системи IoT для управління ланцюгами поставок у промисловості, зосереджені на технологіях датчиків і зв'язку для покращення моніторингу виробництва, контролю якості та оптимізації процесів.

*Короткий зміст роботи:* У роботі розглядаються конкретні технологічні рішення та рекомендації для підприємств щодо покращення управління ланцюгами поставок за допомогою IoT, аналізуються інтеграція IoT на різних етапах ланцюга поставок від виробництва до кінцевої доставки.

**КЛЮЧОВІ СЛОВА:** ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГАМИ ПОСТАВОК, АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОМИСЛОВОСТІ, СИСТЕМИ ІОТ, ТЕХНОЛОГІЇ ДАТЧИКІВ.

## **ABSTRACT**

The text part of the qualifying work for obtaining a master's degree: 63 pages, 39 figures, 70 sources.

Purpose - to research and implement Internet of Things (IoT) systems for the automation and optimization of supply chain management in industry.

The object of research is the IoT systems used for automating and optimizing supply chain management in industry.

The subject of this research is the IoT systems for supply chain management in industry, focusing on sensor technologies and connectivity to improve production monitoring, quality control, and process optimization.

Summary of work: The work examines specific technological solutions and recommendations for enterprises to improve supply chain management through IoT, analyzing the integration of IoT at various stages of the supply chain from manufacturing to final delivery.

**KEYWORDS: INTERNET OF THINGS, SUPPLY CHAIN MANAGEMENT, INDUSTRIAL AUTOMATION, IOT SYSTEMS, SENSOR TECHNOLOGIES.**





## ЗМІСТ

ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ.....	10
1.1. Становлення та загальний огляд концепції Інтернету Речей у світовій практиці .....	10
1.2. Новітні підходи до Інтернету Речей через платформуного типу архітектуру.	12
1.3. Промисловий Інтернет речей: оптимізація підключених пристроїв у виробництві.....	15
1.4. Розуміння переваг ІоТ для оптимізації ланцюга постачання та доставки ...	17
1.5. Використання даних з ІоТ для впровадження стратегій "Just-In-Time" та "Lean" в ланцюгу постачання.....	28
РОЗДІЛ 2. АПАРАТНІ СКЛАДОВІ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ.....	31
2.1. Система взаємодії елементів в Інтернеті речей .....	31
2.1. Архітектура організації Інтернету Речей .....	33
2.3. Сенсори та виконавчі пристрої.....	35
2.4. Бездротові системи зв'язку ІоТ .....	55
РОЗДІЛ 3. МОНІТОРИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ.....	59
3.1. Моніторинг потоків постачання .....	59
3.2. Архітектура розподілу об'єктної інформації.....	61
ВИСНОВКИ.....	69
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	<b>Помилка! Закладку не визначено.</b>



## **ВСТУП**

У сучасному світі індустріальної трансформації, технології Інтернету речей (IoT) виявляються ключовим інструментом для автоматизації та оптимізації управління ланцюгом постачання. Від виробництва до доставки, використання систем IoT стає вирішальним фактором для підвищення ефективності, зниження витрат та вдосконалення загального управління ланцюгом постачання.

*Актуальність магістерської роботи* полягає в тому, що в сучасному світі індустрії відчувають потребу в ефективних інструментах автоматизації та оптимізації ланцюга постачання. Застосування технологій Інтернету речей у поєднанні з стандартами, які розглядаються у роботі, поліпшують управління та взаємодію між елементами ланцюга постачання.

*Об'єктом дослідження* є системи Інтернету речей (IoT), які використовуються для автоматизації та оптимізації управління ланцюгом постачання в індустрії. Детально розглянемо впровадження IoT на кожному етапі ланцюга постачання, від початкового виробництва до останньої ланки доставки.

*Предметом дослідження* є системи Інтернету речей (IoT) для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії, які використовують датчики та зв'язок для вдосконалення контролю за виробництвом, моніторингу якості та оптимізації процесів.

Дипломна робота спрямована на розробку конкретних технологічних рішень та рекомендацій для підприємств з метою покращення управління ланцюгом постачання через використання IoT.

*Метою магістерської роботи* є дослідження і впровадження систем Інтернету речей (IoT) для автоматизації та оптимізації управління ланцюгом постачання в індустрії, починаючи від етапу виробництва та закінчуючи доставкою, використання IoT для оптимізації маршрутів та моніторингу умов транспорту, що призводить до точних та своєчасних доставок.

*Джерелами дослідження* є наукова література, репортажі, дані з датчиків, результати опитувань та експертні оцінки, а також інформація аналіз стандартів та

рекомендацій, розроблених організаціями, такими як EPCglobal, з метою забезпечення відповідності розглянутих систем визначеним нормам, в галузі IoT, логістики та управління ланцюгом постачання через різноманітні веб-ресурси та новинні портали.

*Наукова новизна* полягає у впровадженні інтегрованого підходу до управління ланцюгом постачання за допомогою Інтернету речей (IoT) та використанні стандартів EPCglobal, аналіз застосування протоколів, а також впровадження датчиків для забезпечення ефективного відстеження та контролю параметрів у різних галузях промисловості.

*Практична цінність* полягає у впровадженні новітніх стратегій та технологій Інтернету речей для покращення управління ланцюгом постачання, ефективного відстеження товарів та впровадження стандартів EPCglobal, що слугуватиме практичним керівництвом для розробників та менеджерів, що прагнуть вдосконалити свої технологічні та управлінські процеси.

*Апробація дослідження* здійснювалась у формі участі в загальногалузевому науково-виробничому журналі «Зв'язок» та науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation»

*Структура роботи.* Загальний обсяг роботи 63 сторінок друкованого тексту. Дана робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаної літератури, що включає 70 одиниць. Текст містить 39 рисунків. Робота буде корисною, де результати дослідження відкривають можливості для впровадження технологій Інтернету речей в управлінні ланцюгом постачання, створює базу для подальших досліджень у цій області та розвитку сучасних підходів до управління ланцюгом постачання.

# РОЗДІЛ 1. НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМ ІоТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ.

## 1.1. Становлення та загальний огляд концепції Інтернету Речей у світовій практиці

Інтернет речей (ІоТ) є однією з ключових технологічних тенденцій, що формує сучасний обличчя технологічного прогресу. В останні роки вона відзначається стрімким розвитком і широким впровадженням у різні сфери людського життя та промисловості. За допомогою підключених пристроїв, датчиків та мережових з'єднань, Інтернет речей створює неабиякі можливості для автоматизації, оптимізації та покращення різноманітних процесів.

Концепція ІоТ виникла ще в кінці 20 століття, коли вчені та інженери обговорювали можливість підключення фізичних об'єктів до мережі для обміну даними.

Термін "Internet of Things" був запропонований Кевіном Ештоном, співзасновником Auto-ID Center у MIT, в 1999 році. Він використовував цей термін для опису мережі підключених об'єктів, що можуть збирати та обмінювати інформацією.

Розвиток технологій, таких як Radio-Frequency Identification (RFID), вніс суттєвий вклад у реалізацію концепції ІоТ. RFID дозволяє відстежувати об'єкти за допомогою бездротового зв'язку.

У першому десятиріччі 21 століття почали з'являтися різні проекти та ініціативи, спрямовані на розвиток ІоТ. Одним з найважливіших стали роботи зі стандартизації, такі як EPCglobal, що сприяли розвитку єдиної системи ідентифікації та обміну даними для об'єктів ІоТ.

У другій половині 2010-х років ІоТ почав активно впроваджуватися у промисловості. Великі компанії відстежують та контролюють своє обладнання та ланцюг постачання за допомогою рішень ІоТ [1, 2].

З ростом доступності Інтернету та розвитком бездротових технологій збільшилася кількість підключених пристроїв, включаючи різноманітні речі від побутових пристроїв до великої промислової техніки.

Огляд концепції Інтернету речей:

Інтернет речей визначається як мережа фізичних об'єктів, оснащених вбудованими технологіями збору та обміну даними через мережу.

Концепція включає в себе підключення будь-яких об'єктів – від розумних термостатів та носимих пристроїв до індустриальних датчиків та автомобілів.

Однією з ключових аспектів є здатність обробляти та аналізувати великі обсяги даних, які генеруються підключеними пристроями, для отримання цінної інформації.

ІоТ використовується у різних секторах, таких як медицина, промисловість, сільське господарство, транспорт та багато інших, для оптимізації процесів та поліпшення якості життя.

Розвиток ІоТ стикається з викликами щодо приватності та безпеки даних, стандартизації, а також потреби вдосконалення інфраструктури для підтримки збільшення кількості підключених пристроїв.

Застосування Інтернету речей (ІоТ) в різних секторах розкривають широкий спектр можливостей для покращення процесів, збільшення ефективності та забезпечення нових рівнів інновацій. Розглянемо детальніше, як ІоТ впливає на різні галузі:

- Застосування переносних пристроїв та медичних сенсорів для відстеження стану пацієнтів у реальному часі. Моніторинг роботи та діагностика медичного обладнання для попередження неполадок та уникнення аварій.
- Використання сенсорів для відстеження стану та ефективності промислового обладнання. Аналіз даних для оптимізації виробничих процесів, зменшення витрат і підвищення якості продукції.
- Використання сільськогосподарських сенсорів для відстеження стану рослин, ґрунту та погодних умов. Керування поливом за допомогою даних з сенсорів для ефективного використання води та підвищення врожаю.

Використання IoT для відстеження та моніторингу стану тварин, контролю харчування та здоров'я худоби.

- Використання сенсорів та GPS для відстеження руху транспортних засобів та вантажів для оптимізації маршрутів та зниження витрат. Впровадження IoT для систем безпеки, таких як відстеження транспортних пригод, виявлення неполадок транспортних засобів тощо.
- Використання IoT для вимірювання та аналізу споживаної енергії, що дозволяє оптимізувати використання ресурсів та знижувати витрати.
- Використання IoT для створення розумних систем у домі, таких як "розумне освітлення", "розумне опалення", які можна контролювати з використанням смартфонів або голосових асистентів [3, 4].

## **1.2. Новітні підходи до Інтернету Речей через платформу типу архітектуру**

У той час як багато постачальників намагаються адаптуватися до нових реалій та пропонують "IoT-платформи", вони суттєво відрізняються між собою. У багатьох випадках вони не є платформами в повному розумінні цього слова, але мають всі підстави вважати себе такими - вони взаємодіють з об'єктами IoT, обробляють та передають дані. Хоча точного і чіткого визначення терміну "IoT-платформа" не існує, ці постачальники ресурсів в Інтернеті активно взаємодіють з даними від об'єктів IoT та намагаються ефективно їх обробляти.

За думкою авторів з "IoT Analytics", повноцінною IoT-платформою слід вважати ту, що дозволяє створювати відповідні додатки та рішення (IoT Application Enablement Platform) [1].

Однак чотири типи платформ, які називають "IoT-платформами", не повністю відповідають цій класифікації IoT Analytics:

- Платформи зв'язку / M2M (Connectivity / M2M platforms). Дані платформи фокусуються на забезпеченні зв'язку між розумними об'єктами через телекомунікаційні мережі, але рідко займаються обробкою сигналів від

датчиків. Прикладом такої платформи є Sierra Wireless з продуктом AirVantage.

- Сервери Infrastructure-as-a-Service (IaaS). Це сервери, які надають хостинговий простір і обчислювальні потужності для додатків і сервісів. Раніше ці сервери були оптимізовані для десктопів і мобільних додатків, але зараз вони активно використовуються і в галузі Інтернету речей (наприклад, IBM Bluemix, хоча необов'язково IBM IoT Foundation).
- Програмні платформи (Hardware-specific software platforms), орієнтовані на апаратне забезпечення. Деякі компанії, які розробляють розумні пристрої, створюють власний програмний бекенд і вважають його IoT-платформою. Проте, оскільки платформа залишається закритою для інших, правомірність такого терміну може бути піддана сумнівам (наприклад, Google Nest).
- Додаткові розширення програмного забезпечення (Consumer / Enterprise software extensions) для споживачів/підприємств. Існуючі пакети корпоративного програмного забезпечення та операційні системи, такі як MS Windows 10, стають все більш доступними для інтеграції з IoT-пристроями. Наразі ця сфера ще не настільки розвинена, щоб бути визнаною як повноцінна IoT-платформа, але в її майбутньому є значний потенціал [5, 6].

"IoT Analytics" виділили вісім компонентів повноцінної IoT-платформи:

- З'єднання та стандартизація (Connectivity & normalization): об'єднання різних протоколів і форматів даних в єдиний "програмний" інтерфейс для забезпечення точної передачі даних та взаємодії з усіма пристроями.
- Управління пристроями (Device management) забезпечує належні функціональності підключених "Інтернет-речей", їх конфігурацію, надійну роботу, встановлення патчів і оновлень. Це охоплює не лише програмне забезпечення "речей", але і додатки, що працюють на пристрої або прикордонних шлюзах.
- База даних (Database) є сховищем даних від «речей», що масштабується. Здійснюється спроба встановити вимоги до цих даних, а також впорядкувати

обробку і переміщення інформації з різних «платформ» або інших інформаційних систем.

- Обробка та управління діями (Processing & action management) дозволяє даним, які отримуються від "речей", в кінцевому підсумку впливають на події в реальності. Таким чином, "платформа" повинна мати можливість конструювати процеси, "тригери подій" та інші "розумні дії" на основі конкретних даних датчиків.
- Аналітика (Analytics) дає можливість даним, отриманим від "речей", мають велику цінність самі по собі. Тому наявність комплексу інструментів для їх аналізу є необхідною вимогою до "платформи". Якщо додати сюди засоби кластеризації даних і глибокого машинного навчання, включаючи прогнозуючу аналітику, то цінність "платформи" очевидно зростає;
- Візуалізація (Visualization) створює всю зазначену вище аналітику було б корисно відображати так, щоб людям було зрозуміло, приємно і естетично. Побудова графіків, моделей та просто візуалізація того, що відбувається з "речами". Крім того, зручний інтерфейс також є важливою складовою [2].
- Додаткові інструменти (Additional tools) – комплект інструментів, який дозволяє розробникам IoT створювати прототипи, тестувати та експериментувати з різними системами.
- Зовнішні інтерфейси (External interfaces) дають можливість інтеграції за допомогою платформи є однією з ключових функцій. Сучасний світ розробки в інтернеті не приймає закритих рішень. Завжди може виникнути потреба у передачі та обміні даними зі сторонніми системами. Таким чином, справжня IoT-платформа повинна включати інтерфейси програмування застосунків (API), комплекти розробки програмного забезпечення (SDK) і шлюзи [7, 66].

### 1.3. Промисловий Інтернет речей: оптимізація підключених пристроїв у виробництві

Промисловий Інтернет речей (IoT) є одним із найбільших сегментів Інтернету речей за кількістю підключених пристроїв та ступенем корисності в сфері виробництва та автоматизації підприємств. Такий сегмент включає апаратні та програмні засоби для моніторингу фізичних пристроїв та вирішення операційно-технологічних завдань. Традиційно ОТ фокусується на продуктивності, часі безвідмовної роботи та безпеці, в той час як ІТ зосереджені на безпеці, групуванні, сервісах та забезпеченні даних (рис.1.1).

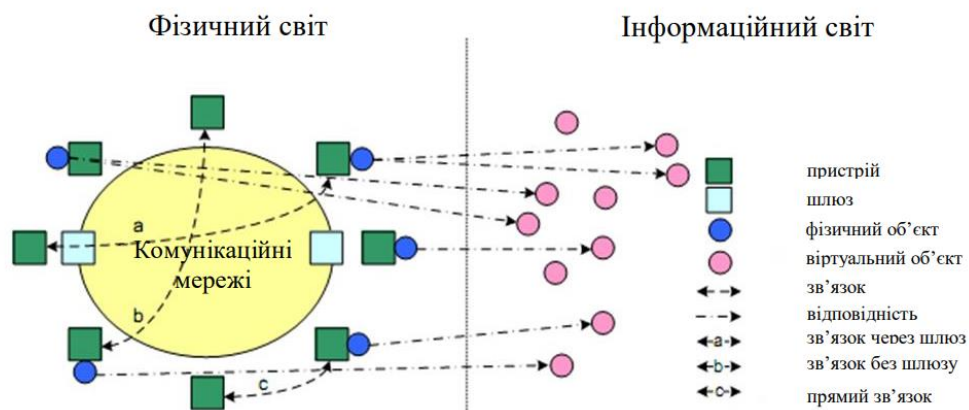


Рисунок 1.1 – Схема відображення фізичних і віртуальних речей

Провідну роль грають саме пристрої, які можуть збирати різну інформацію і поширювати її по комунікаційних мережах різними способами: через шлюзи і через мережу; без шлюзів, але через мережу; безпосередньо між собою [8, 15, 70].

З огляду на розвиток IoT, обидва світи ІТ і ОТ зближуються, зокрема у сфері діагностичного обслуговування виробничих машин і верстатів. Це відкриває можливість для обробки великої кількості даних у приватних та публічних хмарних інфраструктурах. Однією з ключових характеристик цього сегмента є потреба в готових рішеннях, що працюють в режимі реального часу чи майже в режимі реального часу. Специфічні параметри, такі як час відгуку, тривалість простою та безпека, визначають успішність IoT, а також вимагають наявності приватних хмарних мереж і сховищ даних. Цей сегмент є одним з найбільш швидко



розвиваючих на ринку, враховуючи його здатність інтегруватися зі старішими технологіями та вирішувати завдання виробничого сектору.

У загальному вигляді сутність Інтернету речей може бути зведена у вигляді символічної формули:

$$\text{Фізичні об'єкти} + \text{ідентифікатор, сенсори, контролери, виконавчі пристрої} + \text{Інтернет} = \text{IoT}$$

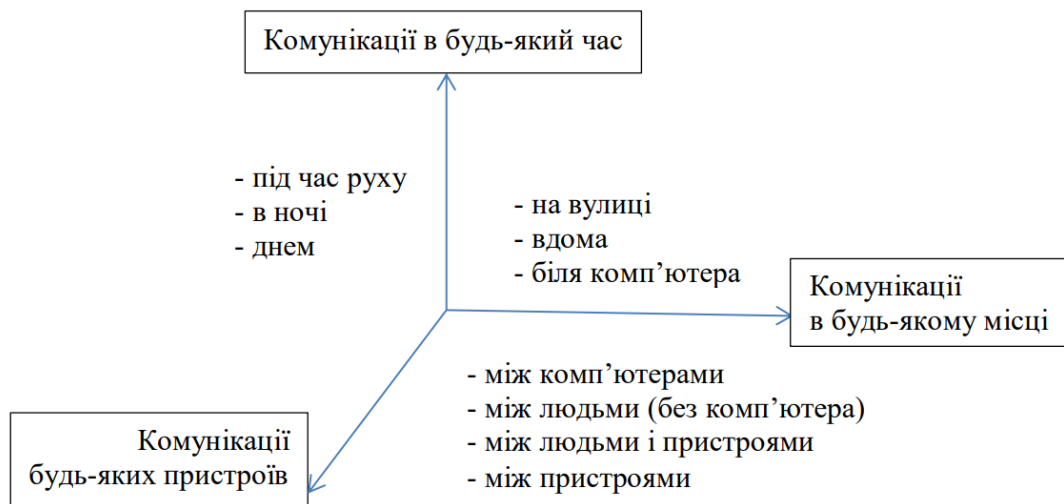


Рисунок 1.2 – Сучасний напрямок комунікацій, що реалізовується IoT

Концепція Інтернету речей включає ще один напрямок – комунікація будь-яких пристроїв або речей (рис. 1.2).

Застосування промислового Інтернету Речей включає:

- Системи попередження та технічного обслуговування промислового обладнання для уникнення непередбачених поломок.
- Підвищення продуктивності завдяки динамічному реагуванню на реальний попит.
- Енергозбереження шляхом ефективного використання енергоресурсів.
- Забезпечення систем безпеки, таких як вимірювання температури, контроль тиску та виявлення витоків газу.
- Експертні системи для управління виробничими процесами в цеху [15, 16]

#### **1.4. Розуміння переваг IoT для оптимізації ланцюга постачання та доставки**

Інтернет речей (IoT) вносить суттєві зміни у спосіб оптимізації ланцюга постачання та управління доставкою, забезпечуючи підприємствам широкий спектр переваг. Дана інноваційна технологія стала каталізатором для підвищення ефективності, збереження часу та ресурсів, а також зменшення негативного впливу на навколишнє середовище.

Однією із ключових переваг використання IoT в оптимізації ланцюга постачання та доставки є можливість повного відстеження всього ланцюга в режимі реального часу. За допомогою пристроїв з підтримкою IoT ведеться моніторинг відправлень та поставок, надаючи інформацію про місцезнаходження продуктів у ланцюгу постачання. Це дозволяє удосконалити управління запасами, уникати затримок та оперативно виявляти можливі проблеми, які можуть призвести до значних фінансових втрат.

Технологія IoT також дозволяє підприємствам автоматизувати багато процесів у ланцюгу постачання, включаючи обробку замовлень, управління запасами та планування доставок. Автоматизація цих процесів призводить до підвищення продуктивності та зниження необхідності вручну виконувати рутинні завдання, що, в свою чергу, призводить до економії часу та коштів і поліпшення якості обслуговування клієнтів [25, 11].

Крім того, IoT допомагає підприємствам зменшити вплив на навколишнє середовище. Завдяки реальному часу моніторингу ланцюга постачання, компанії виявляють неефективності та вносять зміни для зменшення вуглецевого викиду. Включає в себе скорочення транспортних відстаней, впровадження екологічно чистих методів доставки та використання екологічних матеріалів у пакуванні.

Загалом, підприємства, які прагнуть вдосконалити свої постачальні ланцюги, повинні серйозно враховувати можливості, які пропонує IoT. Дана технологія відкриває нові горизонти для зменшення витрат, підвищення ефективності та природоохоронних заходів [20, 19].

Розглянемо можливості та галузі використання сенсорів та маркерів IoT для реального часу моніторингу місцезнаходження та стану товарів у ланцюзі постачання:

1) *GPS-сенсори* надають точні дані щодо геолокації товарів та транспортних засобів у реальному часі за допомогою технології IoT.

Глобальна позиційна система (GPS) є ключовою технологією для моніторингу транспорту в реальному часі. GPS-сенсори вбудовуються в транспортні засоби, такі як вантажівки, кораблі, потяги або авіаційні засоби. Сучасні GPS-сенсори мають високу точність і здатні надавати координати з точністю до кількох метрів. Інформація від GPS передається через мережі зв'язку (зазвичай через мережу мобільного зв'язку) на сервер для обробки та відображення в реальному часі.

Для передачі даних в реальному часі використовують технології Інтернету речей (IoT). Це здійснюється через мобільну мережу, супутникове з'єднання або навіть мережу LoRaWAN (Long Range Wide Area Network), яка спеціально призначена для пристроїв IoT [12, 14].

IoT дозволяє транспортним засобам безперервно взаємодіяти з серверами, обмінюючись необхідною інформацією, що включає передачу координат, швидкості, стану пального, стану двигуна та інших важливих параметрів. Дані, які надходять від транспортних засобів через IoT, обробляються та відображаються в системі керування та моніторингу. Система керування вбудована в транспортній компанії або сторонньою платформою, яка надає послуги моніторингу. Карти в реальному часі, графіки та сповіщення відображають місце знаходження транспорту, його шлях, тривалість та ефективність маршруту. Зібрані дані аналізуються для вдосконалення логістики та ефективності транспортного процесу. Алгоритми аналізу враховують трафік, погодні умови, стан транспортних засобів і визначати оптимальні маршрути. Відомості про час прибуття та відправлення автоматично оновлені в системі, що дозволяє планувати робочий час та знижувати затримки. Системи IoT надсилають сповіщення або автоматично вживати заходів у випадку виникнення виняткових ситуацій, таких як затримки, ризики або зміни в

маршруті. Сповіщення надходять на мобільні пристрої диспетчерів або включати системи автоматизованого управління, щоб негайно реагувати на ситуації.

Дані з моніторингу транспорту інтегруються з іншими системами, такими як системи управління запасами, CRM (Customer Relationship Management) або системи прогнозування попиту, що дозволяє підприємствам отримувати комплексні дані для більш ефективного прийняття рішень та координації різних аспектів бізнесу. Забезпечення безпеки даних є ключовим елементом моніторингу транспорту через IoT. Використання шифрування для захисту переданих даних [21, 26, 59].

Застосування механізмів аутентифікації та авторизації для забезпечення тільки авторизованого доступу до інформації. Для ще більшої надійності та безпеки використовується технологія блокчейн.

Блокчейн служить для запису та підтвердження транзакцій, що сприяє недоступності до даних та недозволенному втручання.

Використання даних з IoT для передбачення потреб у технічному обслуговуванні транспортних засобів. Системи моніторингу збирають дані про стан двигунів, споживання пального та інші параметри для прогнозування часу до наступного технічного обслуговування. Моніторинг транспорту в реальному часі через IoT завжди вдосконалюється та адаптується до нових технологій. Впровадження нових сенсорів, розширення мереж зв'язку та використання аналітичних інструментів для постійного покращення системи моніторингу [27, 36, 59]. .

Наприклад, в доставці використовують для точного визначення місцезнаходження вантажів та планування оптимальних маршрутів доставки. Також Amazon використовує систему IoT для відстеження своїх доставок, щоб забезпечити точність і швидкість доставки.

Платформа Uber застосовує GPS-технологію та IoT для відстеження місцезнаходження та руху автомобілів у режимі реального часу. Клієнти можуть бачити приблизний час прибуття та шлях транспортного засобу до місця замовлення.

FedEx використовує IoT для моніторингу своїх вантажівок, літаків та складської логістики. Сенсори відстежують стан вантажу, температурні умови та рух транспортних засобів, забезпечуючи точні та ефективні перевезення.

Електромобілі Tesla використовують технології IoT для збору даних про стан автомобіля, енергоспоживання та стан батареї. Інформація дозволяє віддалено відстежувати та управляти автомобілем, а також забезпечує автоматичне оновлення програмного забезпечення.

Maersk, одна з найбільших компаній з контейнерованого морського перевезення, використовує IoT для відстеження своїх контейнерів. Сенсори моніторять місцезнаходження, температуру та вологість, що є критичним для перевезення товарів, таких як продукти харчування.

Авіакомпанія Delta використовує IoT для відстеження руху своїх літаків та стану обладнання, що дозволяє вчасно реагувати на технічні проблеми, планувати технічне обслуговування та забезпечувати безпеку польотів.

Додаток CityMapper використовує дані з різних джерел, включаючи GPS та відкриті дані транспортних систем міст, для надання користувачам актуальної інформації про розклади, затримки та найближчі транспортні засоби.

DHL використовує IoT для відстеження глобальних логістичних ланцюгів. Сенсори на пакетах та контейнерах дозволяють відслідковувати їхнє місцезнаходження та стан, що робить доставку більш ефективною [28, 30].

2) *RFID-мітки* дозволяють ідентифікувати та відстежувати товари за допомогою радіочастотної ідентифікації.

RFID (Radio-Frequency Identification) – це технологія, яка використовує радіочастотні хвилі для бездротового обміну даними між RFID-міткою та читачем. RFID-система складається з RFID-мітки, читача та програмного забезпечення для обробки зібраних даних.

Кожна RFID-мітка має унікальний ідентифікатор, який прочитаний читачем, що дозволяє ідентифікувати кожен товар чи об'єкт окремо. Унікальний ідентифікатор присвоєний кожній одиниці товару, забезпечуючи точну ідентифікацію навіть в умовах великих складів чи виробничих площ.

RFID-мітки можуть бути читаними та записуваними, що розширює їхню функціональність, що дозволяє змінювати або оновлювати інформацію на мітці. Деякі RFID-мітки мають можливість запису інформації, такої як дата виробництва, термін придатності або інші характеристики товару.

RFID використовується:

- для відстеження товарів на різних етапах ланцюга постачання, починаючи від виробництва і закінчуючи роздрібною торгівлею. Проходження товарів через різні точки зафіксується за допомогою читачів RFID, що дозволяє точно відстежувати їх рух та стан [31, 36, 49].
- спрощує процес інвентаризації, оскільки товари можуть бути швидко і точно зчитані безпосередньо з полиць чи складських раціонів. Автоматизовані системи інвентаризації забезпечують швидше та ефективніше збільшення точності даних.
- в роздрібній торгівлі для відстеження товарів, запобігання крадіжкам та забезпечення швидкої оплати товарів. Ідентифікація товарів під час покупки є автоматизованою, що зменшує час на стійці каси та підвищує точність обліку. RFID використовується для відстеження товарів при їх перетині кордонів та міжнародних транспортних маршрутах. Дані з RFID-міток дозволяють точно слідкувати за рухом товарів через кордони та полегшують митні процедури.
- для перевірки аутентичності продуктів та підтвердження їхнього походження. Завдяки унікальним ідентифікаторам RFID перевіряється, чи вироблено продукт у визначеному місці чи заводі, долучаючи дані про виробника та дистриб'ютора [34, 43, 57].
- для оптимізації управління запасами шляхом відстеження кількості та руху товарів на складі. Запаси можуть автоматично оновлюватися, коли товари пересуваються вздовж ланцюга постачання, забезпечуючи точний облік товарів та зменшуючи ризик нестачі чи переповнення .
- для відстеження модних товарів від виробництва до магазинів. RFID-мітки вбудовані в бірки або етикетки одягу, що дозволяє відстежувати кожен товар

окремо та спрощує інвентаризацію в магазинах. RFID використовується для відстеження та ідентифікації великих контейнерів чи палет під час перевезень.

- закріплені на контейнерах або товарах на палетах, дозволяючи точно відстежувати їх переміщення в межах транспортного ланцюга. RFID використовується для автоматизації обліку та видачі книг в бібліотеках. Кожна книга має вбудовану RFID-мітку, яка реєструється системою при видачі та поверненні, спрощуючи облік та управління фондом.
- для створення електронних пропусків та контролю доступу на території підприємств чи інших об'єктів. RFID-мітка вбудовується в картку або браслет, які надають доступ за допомогою читача, що дозволяє автоматизувати системи безпеки [41, 36, 69].

Наприклад, у виробництві та складах RFID використовується для швидкого визначення стану запасів та покращення точності інвентаризації.

Walmart використовує технологію RFID для управління запасами в своїх магазинах, що дозволяє підтримувати оптимальні рівні запасів і для відстеження товарів у своїй ланцюгу постачання та на полицях магазинів. RFID-мітки допомагають автоматизувати інвентаризацію, зменшуючи час та помилки в обліку товарів.

Zara використовує RFID для відстеження одягу від виробництва до магазинів. Кожна одиниця одягу має RFID-мітку, що дозволяє точно визначити місце та час кожного товару в ланцюгу постачання.

Amazon використовує RFID для ефективного управління запасами та відстеження товарів у своїх складах. Системи RFID допомагають прискорити процеси прийому товарів, виведення на полиці та доставки замовлень.

Delta використовує RFID для відстеження багажу пасажирів. RFID-мітки дозволяють авіакомпанії точно визначити розташування кожного вантажу в реальному часі.

Unilever використовує RFID для відстеження та контролю запасів продуктів. RFID-технологія допомагає уникнути нестачі та забезпечує ефективне управління запасами виробників.

DHL використовує RFID для відстеження та контролю логістичних операцій. RFID-мітки на вантажах дозволяють точно визначати місцезнаходження та стан доставки.

Бібліотеки використовують RFID для автоматизації видачі та повернення книг. Читачі можуть самостійно взяти та повернути книги за допомогою RFID-технології.

Maersk використовує RFID для відстеження контейнерів у морському транспорті. RFID допомагає у точному визначенні розташування та стану контейнерів під час транспортування.

3) *Сенсори температури* дозволяють вимірювати та моніторити температурний режим вантажу.

Сенсори температури є пристроями, які вимірюють та фіксують температуру в обраному середовищі. В логістиці та ланцюгу постачання вони використовуються для моніторингу та забезпечення стабільності температурного режиму під час транспортування товарів.

Типи сенсорів температури:

- інфрачервоні сенсори вимірюють температуру на відстані та використовуються для безконтактного вимірювання;
- провідні термометри засновані на ефекті теплопереносу та зазвичай використовуються для вимірювання температури поверхні;
- бездротові сенсори мають можливість передавати дані без проводу, що дозволяє їх використання в складних умовах;

Сенсори температури використовуються в усьому ланцюзі постачання, від виробництва до доставки, для забезпечення правильного температурного режиму товарів. Виробники використовують їх для контролю температурних умов під час виробництва та зберігання. В логістичних підприємствах вони встановлюються в транспортні засоби для моніторингу температури під час перевезення.



Системи моніторингу можуть автоматично сповіщати операторів або системи управління про будь-які зміни температури за певними параметрами.

В деяких галузях, таких як фармацевтична чи харчова промисловість, де товари можуть бути чутливими до температурних змін, сенсори температури використовуються для високоцінного вантажу. Такі сенсори дозволяють підтримувати оптимальні умови транспортування, забезпечуючи якість та безпеку товарів. У транспортних засобах із системами холодильного обладнання сенсори температури регулюють і підтримують необхідний температурний режим. Системи автоматично регулюють холодильні установки для уникнення перегріву або переохолодження товарів. Сенсори температури використовуються для забезпечення, що товари правильно зберігаються на складі або в роздрібних точках. Якщо температура змінюється, сенсори сповіщають про це, дозволяючи операторам приймати заходи щодо збереження якості товарів.

Наприклад, у ланцюгу постачання продуктів харчування це дозволяє забезпечувати оптимальні умови зберігання та транспортування, що підвищує якість продуктів.

Amazon Fresh, послуга доставки продуктів, використовує сенсори температури у своїх транспортних засобах для забезпечення правильного збереження свіжих продуктів протягом доставки.

Компанія Coca-Cola використовує сенсори температури для забезпечення оптимального температурного режиму при транспортуванні газованих напоїв та інших продуктів.

Maersk Line, компанія з морського транспорту, використовує сенсори температури для контролю за температурним режимом у рефрижераторних контейнерах під час морських перевезень.

DHL Supply Chain використовує сенсори температури для моніторингу та забезпечення правильного температурного режиму в логістичних центрах та під час доставки різноманітних товарів.

Cold Chain Technologies – компанія, яка спеціалізується на холодильних логістичних рішеннях, використовує сенсори температури для забезпечення стабільності температурного режиму вантажів під час транспортування.

4) *Сенсори вологості* використовуються для моніторингу та управління рівнем вологості в певних умовах зберігання.

Сенсори вологості є електронними пристроями, які вимірюють та передають інформацію про вологість в навколишньому середовищі. Використовуються для контролю та регулювання рівня вологості у приміщеннях або при зберіганні товарів.

Типи сенсорів вологості:

- Капацитивні сенсори вимірюють вологість за зміною ємності конденсатора, яка змінюється в залежності від кількості водяної пари в повітрі.
- Опірні сенсори вимірюють вологість на основі зміни електричного опору вологої повітря.

Сенсори вологості використовуються на різних етапах ланцюга постачання для збереження якості та безпеки товарів, особливо тих, які є чутливими до вологості. Використовуються в складах для контролю вологості та уникнення пошкодження товарів. Застосовуються у транспортних засобах для управління та моніторингу рівня вологості під час перевезення.

Дозволяють вчасно виявляти будь-які зміни вологості, що можуть призвести до псування або зниження якості товарів. Особливо важливо для продуктів, таких як харчові товари, фармацевтика, електроніка, які можуть псуватися або навіть стати небезпечними при збільшенні вологості.

Наприклад, у фармацевтиці є важливим для збереження ефективності лікарських препаратів.

Pfizer, фармацевтична компанія, використовує сенсори температури для моніторингу та забезпечення правильного температурного режиму при транспортуванні вакцин та лікарських препаратів.

У фармацевтичній галузі Johnson & Johnson використовує сенсори вологості для контролю та моніторингу умов зберігання медичних препаратів та медичного обладнання.

Компанія Chiquita, яка спеціалізується на постачанні бананів, використовує сенсори вологості для моніторингу умов зберігання та транспортування фруктів.

Nestlé застосовує сенсори вологості в своїх логістичних центрах для забезпечення оптимальних умов зберігання продуктів, таких як молочні продукти та харчові добавки.

Amazon використовує сенсори вологості у своїх складах та центрах обробки для забезпечення оптимальних умов для товарів під час зберігання та обробки замовлень.

Samsung Electronics застосовує сенсори вологості під час транспортування та зберігання електроніки, щоб уникнути ураження вологою та підтримати якість пристроїв.

Dole Food Company, що є однією з провідних компаній у сфері постачання фруктів та овочів, використовує сенсори вологості для моніторингу та керування умовами транспортування своєї продукції.

Авіакомпанія Delta використовує сенсори вологості в контейнерах для вантажів під час авіаперевезень для запобігання можливості пошкодження чутливих до вологості товарів.

Mars, виробник шоколаду та інших продуктів, впроваджує сенсори вологості для забезпечення оптимальних умов зберігання та транспортування своїх продуктів.

Siemens використовує сенсори вологості у своїх складських системах та логістичних рішеннях для підтримки оптимального середовища для товарів.

5) *Датчики руху* можуть визначати будь-які зміни положення товарів під час транспортування.

Датчики руху або акселерометри – це електронні пристрої, які вимірюють прискорення та зміни швидкості тіла, вбудовуються в упаковку або в контейнери. Вони виявляють рух чи зміну положення та передають цю інформацію системі моніторингу, використовуються для виявлення будь-яких непередбачених змін

положення товарів під час транспортування та для запобігання пошкодженням чи втратам. Зміни положення вантажу свідчать про неправильне вантажування, що може призвести до ушкодження товарів.

Датчики руху дозволяють виявляти будь-які непередбачені рухи або поштовхи під час транспортування, що є показником вантажопідйому, зіткнень чи непередбачених ситуацій, які вимагають особливих умов обробки чи безпеки.

Дані від датчиків руху легко інтегруються з системами Інтернету речей (IoT) та програмами моніторингу, що дозволяє отримувати реальний час і здійснювати дистанційне керування.

Наприклад, Coca-Cola застосовує IoT для відстеження рівнів вологості та температури в своїх складах для забезпечення якості продукції.

UPS (United Parcel Service) використовує датчики руху в своїх транспортних засобах для відстеження руху вантажів та моніторингу умов транспортування під час доставки.

FedEx застосовує технології датчиків руху для оптимізації логістичних процесів та виявлення будь-яких аномалій у русі вантажів.

В складах Amazon, де використовуються автономні роботи, встановлені датчики руху для управління їх рухом та уникнення зіткнень.

Caterpillar застосовує датчики руху в своїх будівельних машинах та обладнанні для відстеження їхнього руху та діяльності на будівельних майданчиках.

Maersk Line, в сфері морського транспорту, застосовує датчики руху в контейнерах для моніторингу їхнього положення та управління умовами транспортування.

Tesla використовує датчики руху та системи автопілота для автоматизованого керування автомобілями, що є важливим у логістичних операціях.

DHL Supply Chain застосовує датчики руху в своїх складських та логістичних операціях для відстеження та моніторингу переміщення товарів.

Samsung Electronics використовує датчики руху в транспортних засобах для відстеження руху електроніки та запобігання її пошкодженням.

Toyota Material Handling застосовує датчики руху в складській техніці для оптимізації роботи підйомників та транспортних засобів.

б) *Використання даних з IoT для автоматичного формування та обробки замовлень, враховуючи рівні запасів та прогнози попиту.*

Використання даних з IoT для автоматичного формування та обробки замовлень дозволяє компаніям впроваджувати стратегії "Just-In-Time" та "Lean", мінімізуючи запаси та оптимізуючи виробничі процеси. Завдяки використанню даних з IoT, компанії можуть отримувати комплексні звіти та аналітику щодо ланцюга постачання на глобальному рівні, спрощуючи прийняття стратегічних рішень. Автоматичне формування та обробка замовлень на основі даних з IoT допомагають зменшити людське втручання у процесі, що зменшує можливість помилок та прискорює виконання завдань.

Наведемо приклад використання IoT, тобто великий роздрібний ланцюг використовує сенсори RFID для відстеження товарів від виробництва до полиці магазину. Кожна одиниця товару обладнана RFID-міткою, яка дозволяє точно визначити його місцезнаходження в режимі реального часу. Це полегшує виявлення необхідності поповнення запасів, оптимізацію розташування товарів у магазинах та швидку ідентифікацію товарів для споживачів. Завдяки системі моніторингу за допомогою RFID-технологій, ланцюг постачання отримує більшу прозорість і ефективність у керуванні запасами та товарорухом.

Наприклад, Інтернет-магазин Alibaba використовує систему автоматизованої обробки замовлень, опираючись на дані з IoT для швидкого виконання доставок.

### **1.5. Використання даних з IoT для впровадження стратегій "Just-In-Time" та "Lean" в ланцюгу постачання.**

Стратегія "Just-In-Time" (JIT) визначається тим, що товари або матеріали надходять на виробництво або у склад саме в той момент, коли вони необхідні для виробництва або задоволення попиту. Системи IoT постійно відстежують рівні запасів в реальному часі, надаючи точну інформацію про наявність товарів та матеріалів. Аналіз даних з IoT дозволяє виробникам прогнозувати попит на товари,

що дозволяє вчасно генерувати лише необхідні замовлення. На основі рівнів запасів та прогнозів попиту, системи автоматично формують замовлення у постачальників або внутрішні переміщення товарів.

ЛТ передбачає доставку товарів у потрібний момент. IoT дозволяє відстежувати маршрути та терміни доставки, забезпечуючи точні та своєчасні поставки. Завдяки точній інформації з IoT про стан запасів, компанії можуть прагнути до мінімізації запасів, зменшуючи затрати на їх зберігання та уникнення застарілих запасів.

Стратегія "Lean" орієнтована на усунення зайвих витрат і оптимізацію процесів, а також на підтримання якості та швидкості виробництва. Датчики IoT дозволяють в реальному часі моніторити ефективність та продуктивність обладнання та працівників.

Використання IoT для автоматизації процесів, від формування замовлень до виробництва, дозволяє уникнути зайвого людського втручання та помилок.

Дані з IoT допомагають виявляти неефективності та зайві витрати у реальному часі, що дає можливість оперативно втручатися та виправляти проблеми, дозволяє оптимізувати логістичні процеси, забезпечуючи швидку та ефективну поставку матеріалів на виробництво та вивезення готової продукції. Використання датчиків якості виробництва забезпечує автоматичне виявлення дефектів та зменшення кількості бракованих товарів.

Використання IoT дозволяє узгоджувати процеси ЛТ та Lean, створюючи збалансований та оптимізований ланцюг постачання. Завдяки IoT, компанії можуть швидко адаптуватися до змін в попиті, виробництві та постачанні, що є ключовим для успішного впровадження стратегій ЛТ та Lean.

*У першому розділі «Науково-теоретичні засади управління систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки»* магістерської роботи були розглянуті науково-теоретичні засади управління системами Інтернету Речей (IoT) з метою автоматизації ланцюга постачання в промисловості, від виробництва до доставки. Згадано про становлення та загального огляду концепції Інтернету Речей у світовій практиці.

Представлена історія розвитку Інтернету Речей від його виникнення до сучасності. Розглянуто становлення та ключові аспекти концепції IoT, що стали основою для подальших вивчень.

Висвітлено новітні підходи до IoT, зокрема через платформенну архітектуру. Підкреслено важливість для ефективного управління підключеними пристроями та обміну даними.

Зазначено, як оптимізація підключених пристроїв впливає на виробничі процеси та підвищує ефективність.

Проаналізовано переваги використання IoT для оптимізації ланцюга постачання та доставки. Зазначено, що дані з IoT можуть використовуватися для впровадження стратегій "Just-In-Time" та "Lean".

Розглянуто, як використання даних з IoT сприяє впровадженню стратегій "Just-In-Time" та "Lean" в ланцюгу постачання, що призводить до оптимізації запасів та ефективного використання ресурсів.

Інтернет Речей має значущий потенціал для трансформації управління ланцюгом постачання в індустрії, забезпечуючи підприємствам нові можливості для оптимізації та підвищення продуктивності.

## РОЗДІЛ 2. АПАРАТНІ СКЛАДОВІ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАВАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ

### 2.1. Система взаємодії елементів в Інтернеті речей

Сукупність взаємодіючих та взаємопов'язаних елементів в Інтернеті речей, що включають в себе пристрої, мережі, програмне забезпечення та інфраструктуру, можна описати як екосистему Інтернету речей. Така екосистема створюється для забезпечення сприятливого середовища для збору, обробки та обміну даними між підключеними пристроями з метою покращення ефективності та розширення можливостей цієї технологічної мережі.

Екосистема Інтернету речей включає всі інструменти, послуги та технології, які використовуються в Інтернеті речей (рис.2.1).

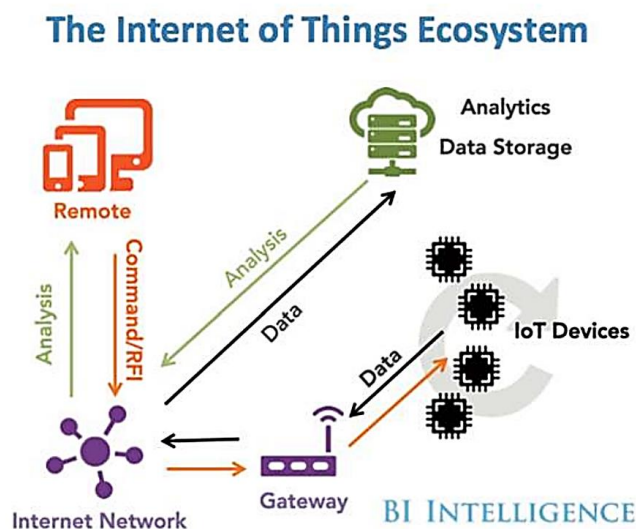


Рисунок 2.1 – Екосистема ІоТ

Серед них визначаються:

- сенсори (інтелектуальні датчики/виконавчі пристрої): вбудовані системи, операційні системи реального часу, джерела безперебійного живлення, мікроелектромеханічні системи (MEMS);



- комунікаційні системи з датчиками охоплюють зону від 0 см до 100 м для бездротових персональних мереж, для обміну даними між датчиками використовуються малопотужні інформаційні канали низької швидкості, які часто не базуються на протоколі IP;
- локальні обчислювальні мережі (LAN) зазвичай використовують системи обміну даними на основі протоколу IP, такі як 802.11 Wi-Fi, для швидкої радіозв'язку, і часто це пирингові або зіркові мережі;
- агрегатори, маршрутизатори (routers), шлюзи (gateways) та пограничні пристрої (Edge Device), також відомі як пристрої на межі, включають постачальників вбудованих систем, елементи бюджетних компонентів (процесори, оперативна пам'ять і системи зберігання даних), виробників модулів, виробників пасивних компонентів, виробників тонких клієнтів, виробників стільникових і бездротових радіосистем, постачальників міжплатформового програмного забезпечення, розробників інфраструктури туманних обчислень, інструменти для аналізу на межі, системи безпеки граничних пристроїв та управління сертифікатами;
- *глобальна обчислювальна мережа* включає в себе операторів стільникового та супутникового зв'язку, а також операторів малопотужних глобальних мереж (LPWAN, Low-Power Wide-Area Network). Зазвичай використовуються транспортні протоколи Інтернету для IoT та мережевих пристроїв, такі як MQTT, CoAP і, в окремих випадках, HTTP;
- *хмара* включає інфраструктуру та платформу як постачальників послуг, розробників баз даних, постачальників послуг потокової та пакетної обробки даних, інструменти для аналізу даних, програмне забезпечення як постачальників послуг, постачальників озер даних, а також операторів програмно-визначених мереж/програмно-визначених периметрів і сервіси машинного навчання.

- *сервіси аналізу* даних передбачають передачу великих обсягів інформації в хмару. Робота з великими обсягами даних і отримання з них користі вимагає комплексної обробки подій, аналітики та використання методів машинного навчання;
- безпека (security) включає в себе всі елементи архітектури, і виникають питання кібербезпеки при інтеграції всіх компонентів. Забезпечення безпеки стосується кожного елемента, починаючи від фізичних датчиків і закінчуючи центральними процесорами (ЦПУ), цифровим апаратним забезпеченням, системами радіозв'язку та самих протоколів передачі даних. На кожному рівні необхідно гарантувати безпеку, достовірність і цілісність. У цьому ланцюжку не повинно бути слабких ланок, оскільки Інтернет речей може стати головним об'єктом атак хакерів у всьому світі.

## 2.1. Архітектура організації Інтернету Речей

Архітектури Інтернету речей відрізняються залежно від реалізації. Тим не менш, він певною мірою нагадує архітектуру класичних систем СКУД. Приклад архітектури показано на рисунку 2.3.

Із точки зору інформаційно-комунікаційного підходу, концепцію Інтернету речей можна виразити у вигляді наступної символічної формули:

$$IoT = \text{Сенсори (датчики)} + \text{Дані} + \text{Мережі} + \text{Послуги}.$$

Взаємодія з «речами» здійснюється через датчики та виконавчі механізми, а також системи автоматичного керування кожним контрольованим об'єктом. Датчики та інфраструктура для інтеграції в рівень обробки подій у мережі Інтернет утворює так звану крайову зону (Edge).

Події (дані), що надходять із прикордонної зони, зберігаються та обробляються відповідно до завдання (рівень обробки та аналізу подій, обробка подій, платформа). На цьому рівні події (дані) зберігаються (зберігання), обробляються (обробка подій) і пересилаються до необхідних програм (брокери

повідомлень у реальному часі, обробка потоку). Крім того, пристроями в крайовій області керують і керують на цьому рівні (реєстр пристроїв, керування крайовими пристроями). Події (дані) обробляються аналітично сервіси (Analytics), на основі яких виконується машинне навчання (Machine Learning), що дозволяє зробити певні висновки про об'єкт. Даний рівень як правило реалізований з використанням хмарних (Cloud) або туманних (Fog) обчислень. Якщо провести аналогію с АСУТП, то це рівень контролерів та SCADA (за виключенням функцій НМІ). Отримання результатів, контроль, віддалене керування та адміністрування системи проводиться через кінцеві застосунки з використанням Internet. Цей рівень можна умовно порівняти з НМІ в АСУТП.

Його можна знайти на рисунку 2.2. показує подібну архітектуру, як вище, але у формі служби. Гранична зона включає датчики, концентратори/шлюзи пристроїв (збір і маршрутизація даних) і керування пристроями (управління пристроями). Деякі з останніх працюють на хмарних обчисленнях і периферійних пристроях. Усі функції зберігання та первинної обробки подій (даних) централізовані в управлінні даними. Усі інші функції обробки, включаючи функції аналітики, надаються як програма PaaS, яка взаємодіє зі службами керування даними через API (інтерфейси прикладних програм).

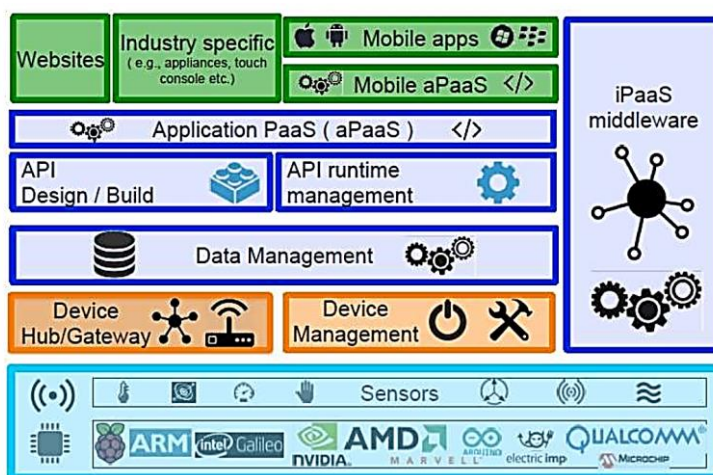


Рисунок 2.2 – Структура архітектури у форматі сервісів.

Ще один приклад архітектури Інтернету речей показано на схемі. 2.3 Як бачимо, усі наведені вище архітектури мають спільні характеристики. Це наявність трьох рівнів, схожа функціональність, наявність хмарних обчислень і використання Інтернету як рівня інтеграції.

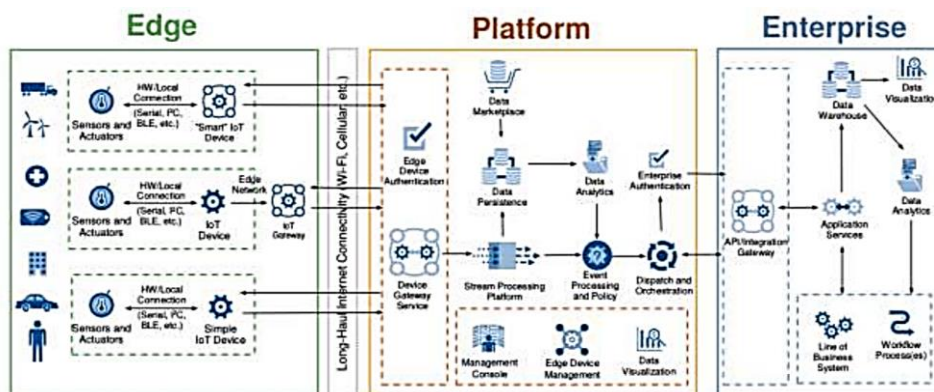


Рисунок 2.3 – Архітектура Інтернету речей

Запропоноване рішення ґрунтується на наявній системі управління RFID-складом, що вбудовує багато рівнів структури архітектури GS1/EPCGlobal у модуль проміжного програмного забезпечення, як показано на рисунку 10. Архітектура відсуває на задній план для бізнес-рішення складності, пов'язані з відстеженням товарів за їхніми номерами позицій, які, як правило, генерують величезний обсяг транзакційних даних. Застосовуючи такий підхід, всі завдання, що стосуються ідентифікації виробу, генерації EPC, управління репозиторієм EPCIS, переміщення виробу, перевірки конференції, відстеження на рівні EPC і AIDC, вирішуються за допомогою системи управління складом.

### 2.3. Сенсори та виконавчі пристрої

У всіх застосунках Інтернету речей (IoT) необхідно використовувати один чи кілька датчиків для збору інформації з навколишнього середовища. Датчики виступають важливими складовими розумних об'єктів, зазвичай характеризуються компактними розмірами, низькою вартістю та енергоефективністю [89]. Їхні можливості обмежені параметрами, такими як ємність акумулятора та простота в разгортанні [23].

Зокрема, смартфон – це надзвичайно зручний пристрій, який має безліч вбудованих функцій зв'язку та обробки даних. Зі зростанням популярності смартфонів серед користувачів, виникає інтерес до створення розумних IoT-рішень за допомогою вбудованих датчиків [24, 25]. За потреби також можуть використовуватися додаткові датчики. Додатки можуть бути розроблені для смартфонів, які використовують дані з сенсорів для отримання результатів.

Розглянемо деякі з датчиків у сучасних смартфонах. Акселерометр реєструє рух та прискорення мобільного телефону, зазвичай вимірюючи зміну швидкості в трьох вимірах. Використовуючи дані акселерометра, можна виявляти фізичні активності користувача, такі як біг, ходьба та їзда на велосипеді. Гіроскоп точно визначає орієнтацію телефону за допомогою ємнісних змін. Камера та мікрофон служать потужними датчиками, фіксуючи візуальну та аудіоінформацію, яку можна аналізувати для виявлення різних контекстних аспектів.

Інші датчики включають магнітометр для виявлення магнітних полів, GPS для визначення місцезнаходження телефону, датчик світла для вимірювання інтенсивності освітлення, датчик наближення для визначення відстані до об'єктів, а також термометр, барометр і датчик вологості для вимірювання температури, атмосферного тиску та вологості відповідно [28]. Використання цих датчиків дозволяє розробляти різноманітні застосунки, включаючи визначення місцезнаходження, керування освітленням та взаємодію з оточенням користувача (рис. 2.4).



Рисунок 2.4 – Датчики IoT

Netvox RA0716 призначений для моніторингу рівнів PM2,5, температури та вологості у приміщеннях. Він використовує стандартний протокол LoRaWAN™ (клас А) для забезпечення зв'язку. RA0716 обладнаний датчиком PM2,5, який вимірює концентрацію зважених часток в одиниці об'єму повітря. Цей сенсор сертифікований для використання в мережах LoRaWAN™.



Рисунок 2.5 – Датчик Netvox RA0716

Датчик Netvox RA0716 має ряд важливих можливостей та особливостей для різноманітних застосувань (рис.2.5):

- вимірювання концентрації частинок PM2,5;
- вимірювання температури;
- вимірювання вологості.

Особливості датчиків Netvox:

- використовує бездротовий модуль зв'язку SX1276;
- живлення від 12 В постійного струму;
- детекція температури і вологості;
- вимірювання концентрації часток у повітрі (PM2,5);
- сумісний з протоколом LoRaWAN™ класу А;
- технологія частотного стрибкоподібного розподілу спектру;
- налаштування параметрів та зчитування даних через сторонні програмні платформи, а також налаштування сповіщень за допомогою SMS та електронної пошти (за бажанням);
- сумісний із сторонніми платформами: Actility/ThingPark, TTN, MyDevices/Cayenne.

Сенсор аварійної кнопки Netvox R312A є пристроєм аварійного вимикача, який реагує на включення або виключення аварійного кнопкового перемикача і відправляє сигнал тривоги на шлюз для подальшої обробки. Використовується бездротовий модуль зв'язку SX1276 (рис.2.6).



Рисунок 2.6 – Сенсор аварійної кнопки Netvox R312A

Аварійний кнопковий вимикач активується у випадку аварійної ситуації. Сенсор легкий для перенесення, оснащений зручним перемикачем і простий у використанні. При натисканні на аварійний кнопковий перемикач порт ІО модуля (19-й контакт U1) реєструє низький рівень, а коли аварійний кнопковий вимикач відпущений, порт ІО модуля KEY1 (19-й ніж U1) виявляє високий рівень.

Застосування включають, але не обмежуються:

- аварійне вимикання пристроїв;
- системи пожежної тривоги;
- забезпечення безпеки;
- інші сфери та області використання.

Характеристики датчиків від Netvox включають:

- дальність передачі даних до 10 км;
- сумісність з протоколом LoRaWAN™ класу А;
- використання стрибкоподібної перебудови частоти для поширення спектру (FHSS);
- покращена стійкість до перешкод;
- удосконалене управління живленням для збільшення терміну служби батареї;
- захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security (обмін ключами Діффі-Геллмана + AES-128 для повідомлень з даними датчиків);
- проєктований для тривалого терміну служби батареї, з можливістю до 5 років за умов: температура навколишнього середовища 25 ° C, 20 тригерів в день, потужність передачі = 20 дБм, коефіцієнт поширення LoRa SF = 10;
- потенційна можливість бездротового оновлення у майбутньому;
- підтримка сторонніх онлайн-систем моніторингу та оповіщення для налаштування датчиків, перегляду даних та налаштування сповіщень через текстові повідомлення SMS та електронну пошту (опціонально);
- сумісність з різними сторонніми платформами, такими як Actility/ThingPark, TTN, MyDevices/Cayenne, ThingsBoard.io;



- серія R718X обладнана магнітами в корпусі для легкого кріплення датчиків до феромагнітних матеріалів та об'єктів.

Трансивер і датчик Tektelic KONA Industrial є ідеальним вирішенням для інтеграції автоматизації та контрольовано-вимірювальних пристроїв з мережами LoRaWAN (рис.2.7). Промисловий трансивер підтримує до трьох аналогових і цифрових входів для віддаленого збору даних, два перемикачі виходи для активації виконавчих механізмів та різних компонентів системи управління. Він також оснащений зручним інтерфейсом RS-232, RS-422 або RS-485 з численними протоколами. Додатково, пристрій вимірює температуру, вологість та виконує інші корисні функції для користувача. Вбудована батарея Li-SOCl<sub>2</sub> забезпечує до 10 років служби.



Рисунок 2.7 – Промисловий трансивер і датчик KONA Tektelic SENINBEU868

Можливості застосування включають:

- автоматизацію промислових процесів;
- розумне сільське господарство;
- розумні виробничі будівлі;
- промисловий контроль;
- лічильник і енергосистема;
- автоматично налаштовується протокол CANbus;
- модернізація M2M LoRaWAN.

F8L10T LoRa Terminal є бездротовим терміналом передачі даних, побудованим на технології розподіленого спектра LoRa (рис 2.8). Він використовує мережу LoRa для бездротової передачі даних користувачам. Цей термінал використовує високопродуктивне промислове рішення LoRa з вбудованою

операційною системою реального часу як платформу підтримки програмного забезпечення. Здатний одночасно підтримувати інтерфейси RS232 і RS485 (або RS422), він підключений безпосередньо до послідовних пристроїв для передачі даних.

Його конструкція спроектована з урахуванням ефективного використання енергії, і він має низьке споживання енергії, менше 5 мА при 12 В постійного струму. Термінал обладнаний 5 входами/виходами для різноманітних агрегатних функцій, таких як цифрові входи і виходи, аналоговий вхід, лічильник імпульсів тощо.



Рисунок 2.8 – LoRa Terminal

Продукт широко використовується в промисловому ланцюзі Інтернету речей (IoT), такому як інтелектуальні мережі, інтелектуальний транспорт, розумний будинок, фінансові технології, мобільні термінали POS, автоматизація ланцюга постачання, промислова автоматизація, охорона навколишнього середовища, протипожежний захист, громадська безпека, медичні технології, телеметрія, а також в сільському, лісовому, водному, вугільному, нафтохімічному та інших галузях.

Датчик KONA All-in-One Smart Room Sensor об'єднує в собі можливість вимірювання всіх основних параметрів середовища в одному компактному пристрої (рис. 2.9). Датчик ідеально підходить для комплексного моніторингу дому та офісу, забезпечуючи дані і звіти про температуру, вологість, яскравість освітлення, наявність руху в приміщенні, вібрації, або виявлення витоків, відкритих / закритих дверей і вікон.



Рисунок 2.9 – Сенсор All-in-One, PIR Tektelic SMTPBEU868

Датчик KONA All-in-One Smart Room Sensor відображає стан елементів живлення (батареї), що забезпечує зручність обслуговування і експлуатації. Дана модель оптимально використовує радіочастотні ресурси, що робить його придатним для тривалого використання акумулятора.

Можливість віддаленого оновлення датчиків надає користувачеві можливість налаштовувати параметри кастомізованих додатків, порогових значень датчика, подій запуску і звітів. Це дозволяє підтримувати різноманітні додатки для "розумного дому" IoT за допомогою одного пристрою.

Можливості застосування включають:

- визначення руху (двері, висувний ящик);
- визначення руху в приміщенні (PIR);
- визначення відкриття дверей / вікон;
- контроль статусу зовнішнього контакту;
- управління магнітним перемикачем (запуск пристроїв);
- вимірювання G-Force (настроюється пусковий механізм);
- читання імпульсів (вода, газ, інші показники);
- визначення рівня освітлення у кімнаті;
- вимірювання температури / вологості;
- визначення витоку.

Сенсор RA02A – це високоефективний бездротовий пристрій для інтелектуального будинку, який реагує на концентрацію диму в повітрі і надсилає попереджувальний сигнал. Він використовує модуль бездротового зв'язку SX1276

(рис. 2.10), а його комунікація повністю відповідає протоколу LoRaWAN™ (клас А).



Рисунок 2.10 – Сенсор виявлення диму Netvox RA02A

Можливості застосування включають:

- машинне відділення;
- склад;
- розумний будинок;
- підприємства;
- дата-центр;
- готельні комплекси;

Особливості датчиків Netvox включають:

- дальність передачі даних 10 км;
- сумісність з LoRaWAN™ Класом А;
- поширення спектру стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS);
- покращена завадостійкість;
- оптимізоване керування живленням для продовження терміну служби батареї;
- захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security (обмін ключами Діффі-Геллмана + AES-128);
- тривалий термін служби батареї, наприклад, 5 років при певних умовах експлуатації;
- підтримка сторонньої онлайн-системи моніторингу та оповіщення для конфігурації датчиків, перегляду даних і встановлення оповіщень через текстові повідомлення SMS і електронну пошту (додатково).

Сенсор R718CX використовується для вимірювання температури об'єкта та навколишнього середовища, з яким контактує термопара. Він використовує модуль бездротового зв'язку SX1276 (2.11), і його комунікація повністю відповідає протоколу LoRaWAN™ класу А.



Рисунок 2.11– Датчик з інтерфейсом сухих контактів Netvox R718J

Можливості застосування включають:

- вимірювання температури устаткування;
- використання в системах опалення.

Особливості датчиків Netvox:

- дальність передачі даних 10 км;
- сумісність з LoRaWAN™ Класом А;
- використання технології стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS) для покращеної стійкості до перешкод;
- покращена завадостійкість;
- оптимізоване керування живленням для збільшення терміну служби батареї;
- захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security (обмін ключами Діффі-Геллмана + AES-128);
- тривалий термін служби батареї, наприклад, 5 років за певних умов експлуатації;
- можливість бездротового оновлення (в майбутньому) для покращення функціоналу.

Сенсор Netvox R72715 обладнаний датчиками температури (рис. 2.12), вологості та CO<sub>2</sub>, які передають дані про оточуючі умови через бездротову мережу LoRa. За допомогою вбудованих датчиків температури і вологості SHT-30, а також датчика CO<sub>2</sub>, пристрій надсилає інформацію про температуру, вологість та концентрацію CO<sub>2</sub> в повітрі на інші пристрої через зв'язок LoRa з використанням модуля SX1276.



Рисунок 2.12 – Сенсор зовнішній CO<sub>2</sub>/Температури/Вологості Netvox R72715

Можливості застосування включають:

- вимірювання температури і вологості;
- моніторинг концентрації CO<sub>2</sub> в повітрі.

Особливості датчиків Netvox включають велику дальність передачі даних (до 10 км), поширення спектру стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS), покращену завадостійкість, ефективне керування живленням для збільшення терміну служби батареї, захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security, довгий строк служби батареї і можливість бездротового оновлення (в майбутньому).

Netvox R311W – це датчик витoku води, розроблений для виявлення витоків і надсилання тривогових повідомлень за допомогою протоколу LoRaWAN™ (Class A). Коли датчик виявляє витік, він відправляє повідомлення тривоги на призначений шлюз. У комплекті з датчиком є два зонди для виявлення витоків води, що дозволяє контролювати дві області одночасно (рис. 2.13).

Можливості застосування включають:

- моніторинг витоків води в дата-центрі та серверних кімнатах;
- контроль центрів зберігання документів;

- виявлення витоків води в підвалах;
- моніторинг витоків води в сантехнічних системах;
- контроль трюмів човнів;
- моніторинг складських приміщень.



Рисунок 2.13 – Сенсор протікання води Netvox R311W

Особливості датчиків Netvox включають велику дальність передачі даних (до 10 км), сумісність з протоколом LoRaWAN™ Class A, використання спектру стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS), покращену завадостійкість, ефективне керування живленням для збільшення терміну служби батареї, захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security, довгий строк служби батареї і можливість бездротового оновлення (в майбутньому).

Сенсор R718G оснащений вбудованим датчиком освітленості, який можна використовувати для визначення інтенсивності оточуючого освітлення (рис. 2.15). Прилад вимірює рівень освітленості і передає ці дані на сервер, де вони можуть бути відображені на інших пристроях. Використовується модуль бездротового зв'язку SX1276, а комунікація повністю сумісна з протоколом LoRaWAN™ (клас A).



Рисунок 2.14 – Сенсор освітленості Netvox R718G

Можливості застосування включають:

- визначення рівня освітленості в приміщенні або на вулиці;
- інтеграція з системами освітлення та управління, щоб автоматично регулювати освітлення в залежності від умов освітлення.

Особливості сенсорів Netvox включають велику дальність передачі даних (до 10 км), сумісність з протоколом LoRaWAN™ Class A, використання спектру стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS), покращену завадостійкість, ефективне керування живленням для збільшення терміну служби батареї, захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security, довгий строк служби батареї і можливість бездротового оновлення (в майбутньому).

Сенсор R602A – це інтелектуальна система бездротової сигналізації, яка взаємодіє з іншими пристроями через бездротову мережу (рис. 2.15). Цей сенсор оснащений потужними динаміками та світлодіодами високої яскравості для надання звукових та світлових сигналів. Він базується на модулі бездротового зв'язку SX1276, і його комунікація повністю сумісна з протоколом LoRaWAN™ (клас C).



Рисунок 2.15 – Сенсор сирена (оповіщувач) Netvox R602A

Особливості сенсорів Netvox включають:

- дальність передачі даних до 10 км;
- сумісність з протоколом LoRaWAN™ Class A;
- використання спектру стрибкоподібної перебудови частоти (FHSS);
- покращена завадостійкість;
- ефективне керування живленням для збільшення терміну служби батареї;
- захист даних за допомогою Encrypt-RF™ Security.



Строк служби батареї складає приблизно 5 років за умови температури навколишнього середовища 25 °C, 20 тригерів в день, потужності передачі 20 дБм та коефіцієнта поширення LoRa SF=10. Майбутні покращення також передбачають бездротове оновлення.



Рисунок 2.16 – Bosch BMA456 3-Axis акселерометр

В Bosch BMA456 3-Axis акселерометрі реалізована можливість вимірювання прискорення вздовж трьох взаємно перпендикулярних осей (X, Y, Z).

Bosch BMA456 має широкий діапазон вимірювань, що дозволяє вимірювати прискорення від декількох мілігравітів до значень в декілька десятків гравітів, забезпечуючи гнучкість в застосуваннях з різними вимогами (рис. 2.16).

Акселерометр споживає мінімум енергії, що робить його підходящим для пристроїв з обмеженим ресурсами акумуляторів.

Інтерфейс включає цифровий шинний інтерфейс (I2C або SPI) для зручного зчитування даних.

Забезпечує високу точність та стабільність вимірювань прискорення.

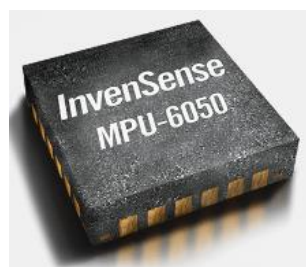


Рисунок 2.17 – InvenSense MPU-6050 6-Axis

Пристрій комбінує три осі гіроскопа та три осі акселерометра, забезпечуючи повніше відслідковування руху в просторі (рис. 2.17). Дозволяє вимірювати як прискорення, так і швидкість обертання великими значеннями, що робить його придатним для різних застосувань. Забезпечує I2C та SPI інтерфейси для взаємодії

з мікроконтролерами та іншими пристроями. Забезпечує високу чутливість та точність вимірювань.

Розглянемо датчики ваги від різних виробників:

Датчик напруження HBM (Hottinger Baldwin Messtechnik) модель HLСВ2/100kg для вагових систем, що має номінальне навантаження 100 кг.

Датчик ваги Load Cell PDX модель Load Cell PDX з високою точністю, призначений для різноманітних застосувань у транспорті і логістиці.

Датчик напруження Vishay модель 1810 для вимірювання ваги з високою чутливістю та точністю.

Датчик напруження Tedeа-Huntleigh модель 1042 з широким діапазоном робочих навантажень для вагових систем.

Датчик напруження Thames Side Sensors модель T34, розроблений для різноманітних застосувань вагового контролю.

П'єзоелектричний датчик ваги PCB Piezotronics Model 140A з високою надійністю та швидкістю відгуку.

Лазерний датчик ваги SICK WF2-FQ4. з безконтактним вимірюванням.

Датчик ваги Rice Lake Weighing Systems RL20000, який використовується для великих вантажів та вимірювань у транспорті.

Цифровий датчик температури DS18B20 (виробник: Maxim Integrated), який працює за шинним протоколом 1-Wire. Має високу точність та широкий діапазон вимірювань.

Комбінований датчик вологості та температури DHT22 (виробник: Aosong) з цифровим виведенням, який використовує односторонній шинний протокол.

Інфрачервоний датчик руху HC-SR501 (виробник: HONGKONG CAPELLA ELECTRONICS), який використовує піроздатний елемент для виявлення руху в його зоні дії.

Датчик газу MQ-7 (виробник: Hanwei Electronics), зокрема для виявлення концентрації чаду та інших летючих газів. Використовується у системах безпеки та моніторингу.

Queclink GL300 - "ідеальний" GPS-трекер. Цю модель GPS-трекера кілька років поспіль визнано найбільш продаваною в світі завдяки "ідеальному" співвідношенню ціни, якості, технічних характеристик та функціональності. Дуже часто Queclink GL300 називають "персональним" GPS-трекером через мінімальні розміри, але має назву "універсальний". Унікальні технічні характеристики дозволяють використовувати GL300 для будь-яких завдань: контроль за людьми (співробітниками, літніми батьками, дітьми), контроль за автотранспортом (особистим та службовим), контроль за вантажами та посылками, контроль за дронами, дороговартісним обладнанням, інструментом, а навіть для контролю за тваринами (охотницькі собаки, коні і т.д.).



Рисунок 2.18 – Queclink GL300 GPS трекер

Queclink GL300 побудований на основі приймача u-blox All-in-one GNSS із точністю визначення місцезнаходження до 2,5 метра (одночасно підтримує GPS, Глонасс, а також системи позиціонування LBS), підтримує технологію прискореного холодного старту A-GPS (рис.2.18). Вбудований акумулятор забезпечує до 12 днів автономної роботи в режимі очікування, а підключивши GPS-трекер до зовнішнього джерела живлення або power bank. Queclink GL300 має вбудовані датчики: датчик руху (акселерометр) та датчик температури із можливістю автоматичного сповіщення за параметрами цих датчиків. Ступінь захисту трекера IPX5 (захист від потоків води з будь-якого напрямку) призначений для роботи в температурному режимі від -20 до +55. Queclink GL300 має дві механічні кнопки із можливістю програмування функцій (тривожна кнопка, встановлення геозон контролю, вимкнення живлення).

Датчики якості повітря та середовища грають важливу роль у різних галузях. Розглянемо деякі приклади та характеристики:

Система вимірює рівень вологості (Bosch Air Quality Micro Climate Monitoring System), температури та концентрацію шкідливих речовин у складських приміщеннях. Має вбудований сенсор качества повітря для виявлення забруднень.

Датчики забруднення для промислових виробництв:

Aeroqual Series 500 – датчики вимірюють концентрацію різних забруднюючих речовин, таких як діоксид сірки (SO<sub>2</sub>), діоксид азоту (NO<sub>2</sub>), озон (O<sub>3</sub>) та інші. Застосовуються для виявлення викидів у промислових зонах.

Awair Element вимірює рівень CO<sub>2</sub>, температури, вологості та інших параметрів для забезпечення комфортних та безпечних умов праці.

Портативний датчик Atmotube Pro, який вимірює рівень PM<sub>1</sub>, PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>, концентрацію VOC (органічних розчинників) та інших параметрів. Зручно використовувати для визначення якості повітря в різних місцях.

Вимірює параметри води Atmotube Pro, такі як рівень рН, температура, провідність та концентрація розчинених речовин. Застосовується в промислових умовах для контролю процесів обробки води.

## 2..4. Технічна структура



Рисунок 2.19 – RFID-мітка Siemens SIMATIC RF650L

SIMATIC RF650L Smartlabel є бездіяльним (пасивним) носієм даних, який не вимагає обслуговування (рис. 2.20). Базується на технології UHF Class 1 Gen2 і використовується для зберігання "Електронного коду продукту" (EPC). Smartlabel має широкі можливості застосування і підтримує ефективну логістику в усьому технологічному ланцюжку.

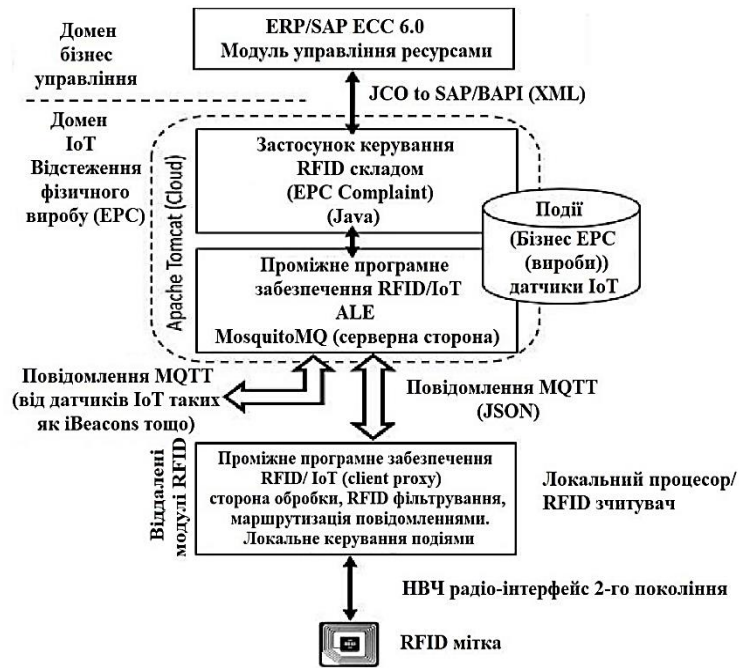


Рисунок 2.21 – Архітектура RFID, що застосована на заводі

Зокрема, його можна використовувати для простої ідентифікації, такої як заміна або доповнення штрих-коду, а також для логістики на складах і розподілу продукції (2.21). Пам'ять обсягом EPC 96/240 біт, дозволяючи зберігати необхідні дані (рис. 2.22). Дистанція для читання/запису становить від 0,2 м до 4 м, при цьому мінімальна дистанція між самими мітками повинна бути не менше 20 мм. Частотний діапазон працює від 865 до 868 МГц.

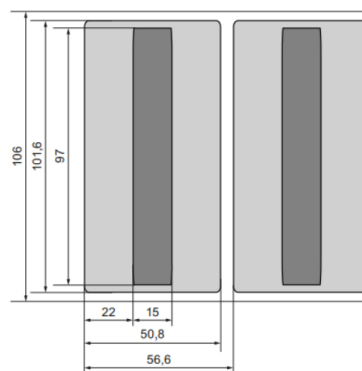


Рисунок 2.22 – Розміри RF650L



Рисунок 2.23 – RFID-зчитувач Siemens SIMATIC RF650R

SIMATIC RF650R – це потужний зчитувач UHF-RFID, призначений для використання разом із чотирма зовнішніми антенами (рис.23). У нього є один інтерфейс Ethernet (RJ-45), який використовується для підключення до систем ПК, а також для конфігурації, діагностики та опціонального використання під час роботи.

Зчитувач взаємодіє з програмним забезпеченням вищого рівня через протокол TCP/IP і формат обміну даними XML. Його можна використовувати для зчитування та обробки даних з електронних міток (RFID) під час різних процесів, таких як ідентифікація, відстеження або контроль логістики. Також, зчитувач використовується для конфігурації та діагностики, забезпечуючи зручний інструмент для управління RFID-системою (рис.2.24).

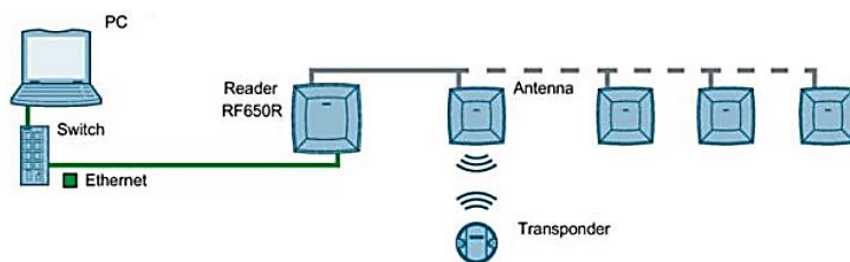


Рисунок 2.24 – Приклад підключення RF650R



Рисунок 2.25 – Siemens SIMATIC RF160B

SIMATIC RF160B RFID мобільний зчитувач є основним пристроєм для RF600 (UHF) з юзер-інтерфейсом та вбудованою акумуляторною батареєю (2.25).

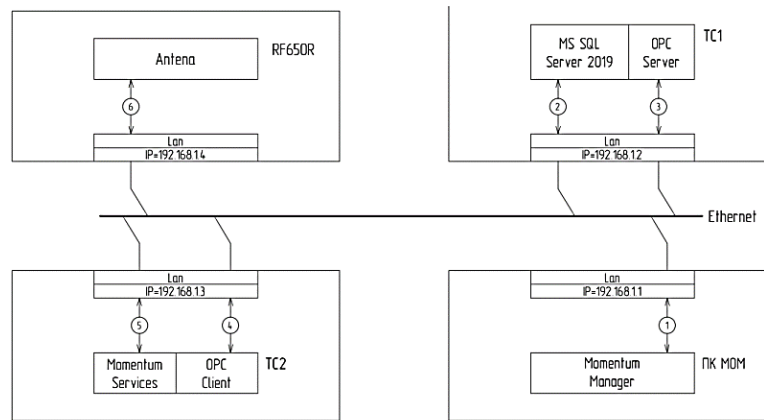


Рисунок 2.26 – Структура мережі: Інформаційна конфігурація

Інформаційна конфігурація структури мережі визначає, як дані та інформація передаються та обробляються в межах цієї мережі (рис. 2.26). Розглянемо основні складові інформаційної конфігурації

Вузли мережі:

- Датчики та сенсори збирають фізичні дані з навколишнього середовища.
- Вузли виконання (Edge Devices) виконують обробку даних на місці збору, оптимізуючи обробку на самому краю мережі.
- Шлюзи та Роутери відправляють дані від вузлів виконання до центральних серверів або хмари.

Мережеві зв'язки:

- Бездротові технології (Wi-Fi, Bluetooth, Zigbee) для бездротового обміну даними між різними вузлами.
- Провідні з'єднання (Ethernet, USB) для стабільного та надійного обміну даними в провідних мережах.

–

## 2.4. Бездротові системи зв'язку IoT

Передача даних і створення мережевого з'єднання ґрунтуються на системах зв'язку ближньої дії, таких як персональні мережі (PAN), які зазвичай будуються без застосування правил IP-протоколу. Охоплює як дротові, так і бездротові мережі. До бездротових мереж/протоколів для Інтернету Речей (IoT) зазвичай відносять протоколи, такі як Bluetooth, mesh-мережі, Zigbee, ZWave. У випадку промислового Інтернету Речей (IoT) також використовуються технології, такі як Wireless HART та ISA100 (рис.2.27). Це служить яскравим прикладом різноманіття бездротових систем зв'язку в області IoT. Крім того, перелік провідних мереж ще більший, оскільки включає в себе всі можливі промислові мережі та протоколи.

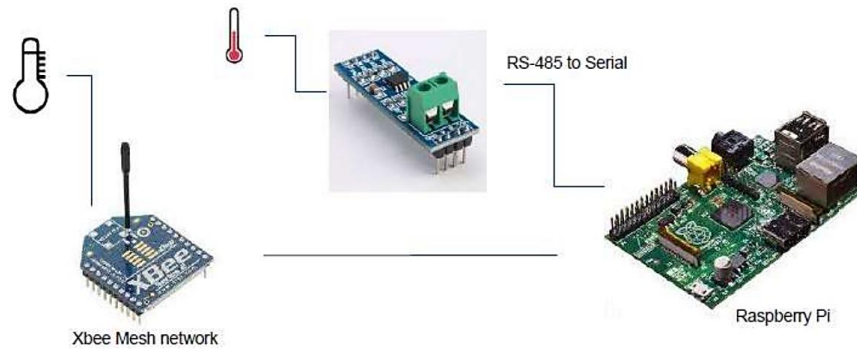


Рисунок 2.27 – Бездротові технології на основі протоколів Bluetooth, mesh-мережі, Zigbee, Z-Wave

Крім персональних мереж (PAN), для передачі даних у бездротових мережах Інтернету Речей (IoT) широко використовуються бездротові локальні мережі та системи зв'язку на основі IP-протоколу. Серед них розглядаються різноманітні Wi-Fi-мережі, які базуються на стандартах IEEE 802.11, а також технології 6LoWPAN і Thread. Також активно використовуються телекомунікації на основі стандартів стільникового зв'язку, таких як 3G, 4G LTE, а також нові стандарти, наприклад, Cat-1 і Cat-NB, які забезпечують роботу Інтернету речей та між машинної взаємодії (рис.2.28). Крім того, існують пропрієтарні протоколи, такі як LoRaWAN і Sigfox, які спеціально використовуються для потреб Інтернету Речей.



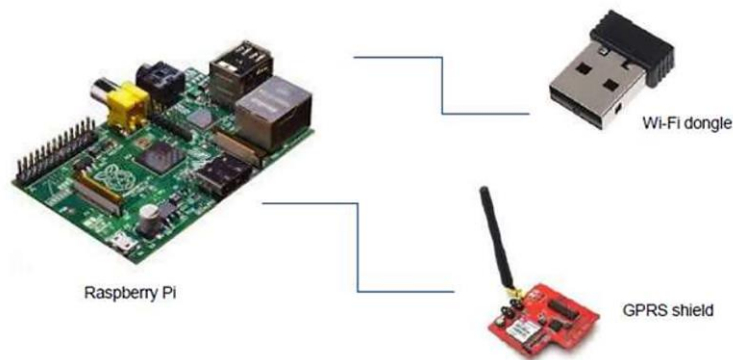


Рисунок 2.28 – Бездротові технології на основі IP-протоколу

Для передачі даних в Інтернет-простір використовуються дві ключові технології: маршрутизатор-шлюз та опорні Інтернет-протоколи, які забезпечують ефективний обмін даними. Особливо важливою є роль маршрутизатора в аспектах безпеки, управління та напрямку потоку даних. Граничні маршрутизатори (Edge routers) відповідають за контроль і моніторинг стану відповідних mesh-мереж, а також регулювання та підтримку якості передачі даних. Забезпечення конфіденційності та безпеки даних також має велике значення. Маршрутизатор відіграє ключову роль у створенні віртуальних приватних мереж, віртуальних локальних мереж і програмно-визначених глобальних мереж. Їх може складатися тисячі вузлів, обслуговуваних єдиним граничним маршрутизатором, і у певному відношенні маршрутизатор служить розширенням для хмарового сервісу (edge device).

Асортимент шлюзів включає в себе як компактні пристрої з економією енергії, так і вбудовані високопродуктивні ПК з розширеним функціоналом. Пристрої з серій ReliaGATE 10-20, ReliaGATE 10-11 і ReliaGATE 10-05 можуть виконувати роль низькопотужних шлюзів у легких промислових застосуваннях. Основні їхні функції включають агрегацію даних від польових пристроїв, перетворення повідомлень і протоколів, маршрутизацію пакетів та організацію двостороннього зв'язку з хмарним сервером. На цьому сервері дані збираються, зберігаються і обробляються за допомогою бізнес-додатків [1].

Шлюзи з серій ReliaGATE 20-25, ReliaGATE 20-26, DynaGATE 15-10 надають додаткові можливості обробки і зберігання даних для надання послуг в

автономному режимі, а також забезпечують контроль і управління в реальному часі при підключенні до хмарних додатків. Вони часто використовуються для виконання аналітичних функцій та передобробки даних відповідно до заданих параметрів.

Практично всі шлюзи, за винятком ReliaGATE 20-26, який використовує Red Hat Linux, входять до комплекту із перед встановленою операційною системою Yocto Linux. Багато шлюзів оснащені програмним забезпеченням Everyware Software Framework (ESF) на базі Eclipse Kura та Java/OSGi. Додатково, в якості шлюзів можуть використовуватися процесорні плати різних форм-факторів, на які також встановлюється спеціалізоване програмне рішення.

ESF представляє собою промислову версію Eclipse Kura з розширеними можливостями у сферах безпеки, діагностики, конфігурації та віддаленого доступу, що повністю інтегрована в платформу Everyware Cloud. ESF/Kura дозволяє розробникам фокусуватися на розробці аналітичних функцій та характеристиках додатків, спрощуючи контроль та управління шлюзом (змінювати параметри в реальному часі, оновлювати програмне забезпечення, проводити моніторинг пристрою, діагностику, забезпечувати безпеку і т.д.) [2].

Всі маршрутизатори серії 800 мають інтегроване 4G/LTE бездротове з'єднання WAN та підтримують більш старі версії стільникового зв'язку. Дві зовнішні антени забезпечать максимально якісний зв'язок, а дві різні, одночасно активні, SIM карти допоможуть підтримувати зв'язок різних операторів в залежності від якості сигналу.

Маршрутизатор також забезпечує високоякісні з'єднання бездротової локальної мережі Wi-Fi, підтримуючи 2.4ГГц та 5ГГц діапазони. Також у наявності вбудований 2x2 MIMO, що забезпечує швидкість з'єднання до 300 Мб/сек. Доступні й стандартні Ethernet порти, що підтримують також і PoE/PoE+ з передачею потужності до 30 Вт.

Для забезпечення роботи в умовах виробництва шлюзи підтримують розширений діапазон температур від -40 ° C до 60 ° C. Для безперешкодної інтеграції із системами SCADA підтримуються протоколи DNP3, DNP3 IP та IEC від T101 до T104. Багатогалузева сертифікація шлюзів Cisco надає їм перевагу у

корпоративних рішеннях, де велика увага приділяється надійності постачальника [5].

Стратегія Cisco в області IoT будується на шести стовпах технології: рішення з передачі даних в IoT-мережі, прикладна середу IOx і fog-додатки, а також IT-безпека, аналітика даних, засоби автоматизації та підтримка додатків. Саме Cisco ввів поняття туманних обчислень та Інтернету всього (IoE, Internet of Everything).

*У другому розділі «Апаратні складові систем iot для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки» систематично розглянув апаратні складові систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії, прослідковуючи шлях від виробництва до доставки. Зокрема, була розглянута система взаємодії елементів в Інтернеті речей, вивчена архітектура організації Інтернету Речей, а також досліджено роль сенсорів та виконавчих пристроїв у систем.*

А також підкреслюють значущість взаємодії між апаратними компонентами для ефективного функціонування систем IoT в контексті управління ланцюгом постачання. Розгляд архітектури Інтернету Речей вказує на необхідність структурованої та добре організованої системи для оптимального обміну даними.

Аналіз сенсорів та виконавчих пристроїв дозволяє визначити їхню ключову роль у зборі та передачі даних, що впливає на якість управління ланцюгом постачання. Бездротові системи зв'язку виявляються критичним елементом для забезпечення ефективної комунікації між пристроями в Інтернеті Речей, що вказує на їхню ключову роль у забезпеченні оптимального функціонування управління ланцюгом постачання в промисловій сфері.

## **РОЗДІЛ 3. МОНІТОРИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ІoT ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ**

### **3.1. Моніторинг потоків постачання**

У магістерській роботі, слідкування за логістичними потоками виступає як ключовий елемент для ефективного контролю та управління ланцюгом постачання. Процес дозволяє в режимі реального часу або за встановленим графіком отримувати інформацію про місцезнаходження, статус та стан вантажу, що в свою чергу допомагає приймати наочні та оптимальні рішення щодо управління різними етапами ланцюга постачання. Система також забезпечує можливість готувати необхідні ресурси для наступних етапів постачання та, в разі потреби, використовувати альтернативні шляхи доставки.

Останні тенденції в сфері транспорту спрямовані на уніфікацію кодування в різних сферах діяльності, зокрема у розвитку інтелектуальних транспортних систем. Системи використовуються для підвищення ефективності управління рухом транспортних засобів та перевезенням вантажів і пасажирів. У цьому контексті ідентифікація транспортних засобів, вантажів та обладнання виконується в одній системі, тому кодування та використане обладнання повинні бути сумісні.

Логічна структура таких систем, заснована на стандарті ІСО 17261-2014 "Інтелектуальні транспортні системи. Автоматична ідентифікація транспортних засобів та обладнання. Архітектура і термінологія в секторі інтермодальних вантажних перевезень", надає єдиної системі здатність відстежувати змішані перевезення вантажів та обмінюватися інформацією між всіма учасниками поставок. Це дозволяє прогнозувати інтенсивність руху, перерозподіляти транспортні потоки та, за наявності зв'язку з водієм, керувати маршрутом руху (рис.3.1).

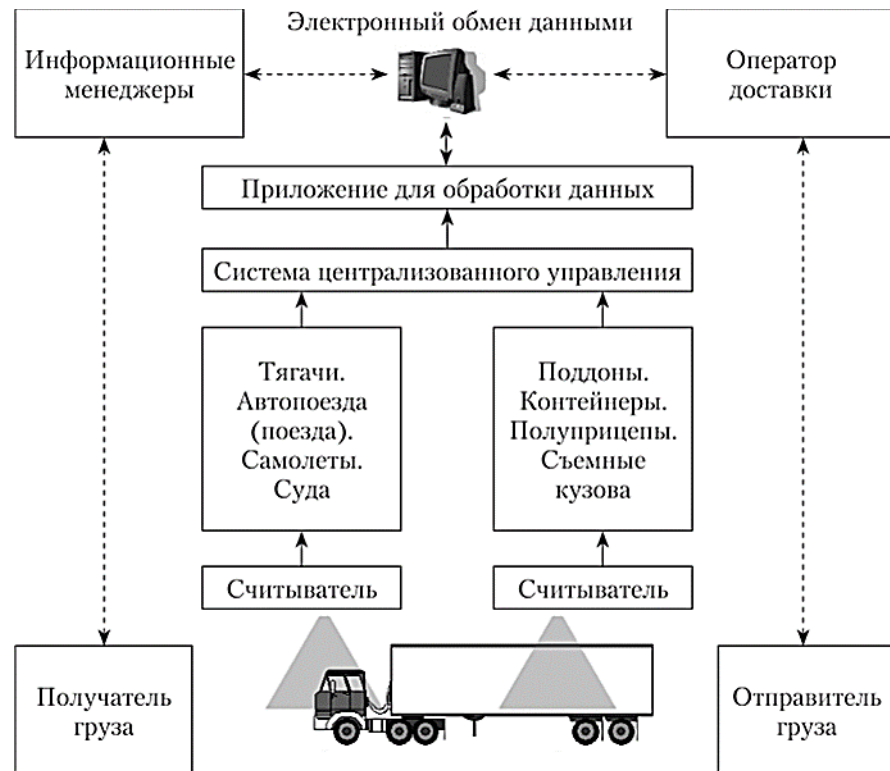


Рисунок 3.1 – Представлення логічної структури системи, яка інтегрує ідентифікацію транспортних засобів та вантажів.

Наступні основні кроки визначає стандарт ІСО 17261-2014:

- автоматична ідентифікація обладнання (AEI) – процес ідентифікації обладнання чи вантажних одиниць, що використовуються в інфраструктурі доставки вантажів, заснований на зчитуванні інформації з встановлених на них датчиків із певною структурою даних;
- автоматична ідентифікація ТС (AVI) – процес ідентифікації транспортних засобів на основі зчитування інформації з встановлених на них датчиків із певною структурою даних;
- відправник вантажу – сторона, що відправляє вантаж іншій стороні (це може бути виробник товару, продавець, агент або приватна особа);
- інформаційний менеджер – фахівець, що забезпечує обмін даними в системі. Функції інформаційного менеджера можуть бути розподілені між суб'єктами системи або виконуватися спеціальним органом [65, 66].

Стандарт ISO 14816:2005, який визначає нумерацію і структуру даних для автоматичної ідентифікації транспортних засобів та обладнання в інтелектуальних транспортних системах, передбачає конкретну структуру даних для використання:

- 0: Зарезервовано для цілей стандартизації.
- 1: Дані, залежні від програми обробки, яка зчитує інформацію (56 біт).
- 2: Серійний номер фірми-виробника обладнання (48 біт).
- 3: Час і місце зчитування даних (176 біт).
- 4: Номерний знак транспортного засобу (ПС).
- 5: Номер шасі транспортного засобу (VIN) (136 біт).
- 6: Зарезервовано для цілей стандартизації.
- 7: Номер вантажного контейнера (93 біти).
- 8: Код платника податків.
- 9-31: Зарезервовано для цілей стандартизації.

Відповідно до стандарту ISO 14815:2005 «Телематика дорожнього транспорту та транспортного руху» специфікації систем обладнання, встановлених у мобільних пристроях, класифікуються на наступні класи відповідно до їхніх характеристик:

- A1 до A4 – кількість зчитувань даних на рік (від 20 до 2000);
- B1 до B9 – мінімальний стаж роботи (від 15 років до 1 місяця);
- C1-C6 – відстань до зчитувача (від 20 до 0,5 м);
- D1-D6 – кількість радіоміток, які можуть одночасно перебувати в зоні зчитування (від 0,1 до понад 100 на 1 м<sup>3</sup> площі);
- E1 -E4 – мінімальна відстань між радіомітками (від 1 до 25 см або більше);
- F1-F7 – дозволена швидкість проходження радіоміток відносно зчитувача (240 до 3,6 км/год);

### **3.2. Архітектура розподілу об'єктної інформації**

Відіграє ключову роль у світовій стандартизації логістичних систем EPCglobal, як некомерційна організація. Основні ідеї концепції EPCglobal Network

базуються на використанні технологій штрихового коду та RFID для передачі інформації, яка міститься в них у форматі даних, визначених глобальним номером предмета торгівлі (GTIN) або електронним кодом продукту (EPC). Унікальні номери, що ідентифікують конкретні предмети торгівлі в ланцюгу постачання, надають можливість використовувати інформаційні системи, що входять до складу глобальної мережі EPCglobal Network.

EPCglobal Network – це глобальна інфраструктура, яка надає послуги для ефективного обміну інформацією в ланцюгах постачання, використовуючи технології автоматичної ідентифікації, зокрема, RFID (Radio-Frequency Identification).

EPC (Electronic Product Code) – це унікальний ідентифікатор, який дозволяє однозначно ідентифікувати конкретний продукт чи об'єкт у ланцюгу постачання.

Основні компоненти EPCglobal Network:

EPC Information Services (EPCIS) стандарт для обміну даними про події в ланцюгах постачання, пов'язаних з EPC. EPCIS визначає структуру даних та протоколи для обміну інформацією про події, такі як прихід товарів на склад, переміщення вантажу, продажі тощо.

EPC Discovery Services надає можливість знаходження інформації про конкретні продукти за їхніми EPC у глобальній мережі.

EPC Authentication Services система, яка дозволяє перевіряти аутентичність ідентифікаторів EPC, щоб гарантувати їхню достовірність у ланцюгах постачання.

Object Naming Service (ONS) забезпечує можливість перетворення EPC у веб-адреси (URLs), що полегшує доступ до інформації про продукти через Інтернет.

EPCglobal Standards набір стандартів, які визначають правила ідентифікації, обміну даними та інші аспекти використання технології EPC в ланцюгах постачання.

Глобальна мережа покликана забезпечувати електронний обмін даними (EDI), глобальну синхронізацію даних (GS1 GDSN) і моніторинг товарів, продукції та виробів в режимі реального часу.

EDI – це технологія автоматичного обміну електронними повідомленнями в стандартизованому форматі між діловими партнерами. Кожна сторона виступає як відправником, так і отримувачем повідомлень.

GS1 GDSN (Глобальна мережа синхронізації даних GS1) – це глобальна мережа синхронізації даних GS1, яка забезпечує безпечну та постійну синхронізацію точних і надійних даних про продукти (рис.3.2). Торгові партнери, які використовують мережу GDSN, завжди мають у своїх інформаційних системах актуальну інформацію про продукцію. Крім того, всі партнери автоматично і негайно повідомляються про зміни, внесені в базу даних компанії.

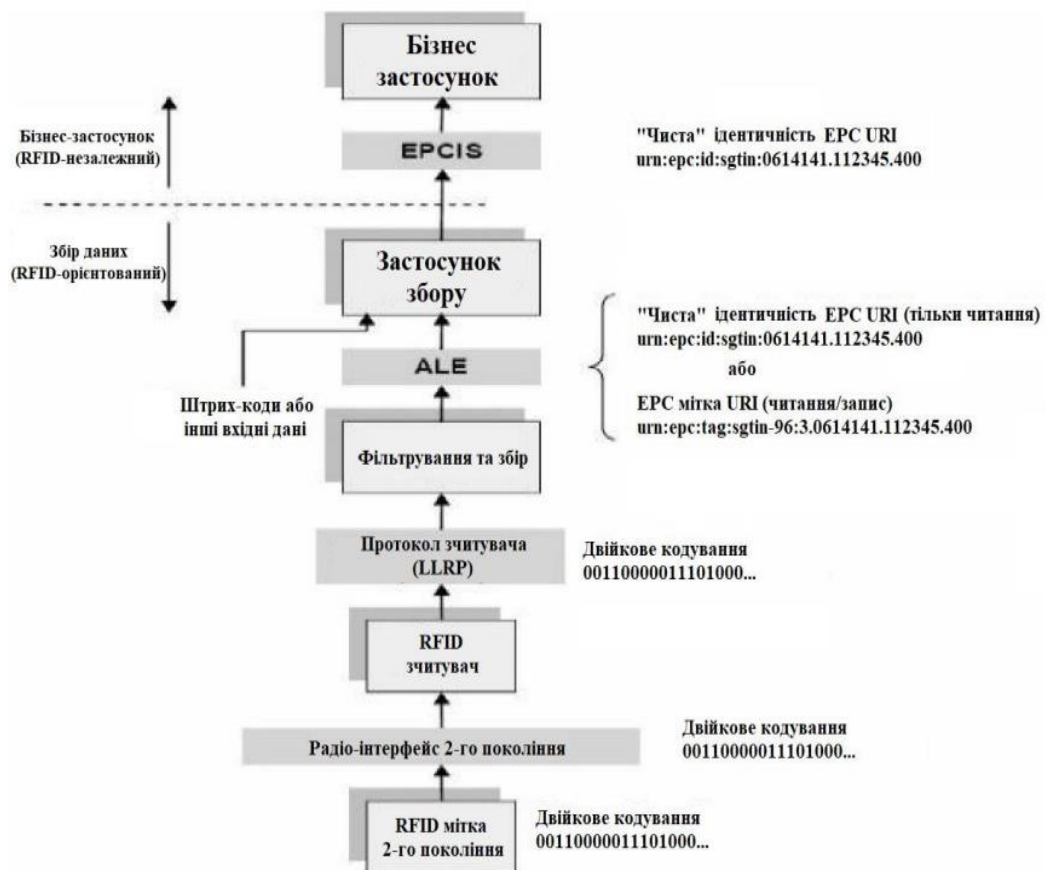


Рисунок 3.2 – Структура архітектури GS1/EPCGlobal

Ідентифікатори GTIN дозволяють однозначно ідентифікувати продукти в усьому світі. Номери GTIN використовуються в роздрібній, оптовій торгівлі, центрах розподілу та на складах. GTIN можна закодувати за допомогою різних типів штрих-кодів і електронних кодів продуктів (EPC), написаних на



радіочастотних мітках (RFID). Номери GTIN є важливою частиною глобальної мережі синхронізації даних (GDSN) і різних типів електронних повідомлень (EDI). Ці номери можна використовувати не тільки для замовлень, а й для квитанцій про оплату та документів на відвантаження. Залежно від комерційної одиниці ідентифікатор GTIN вказується для одного продукту в споживчій упаковці або він може включати кілька одиниць упаковки з різними кодами або кодами з різними префіксами.

Ідентифікатори GLN (Global Location Number) – глобальні номери розташування дозволяють учасникам ланцюга постачання визначити фізичне місцезнаходження відправлення та його статус (магазин, склад, порт). Розширивши код (GLN+ext), детально вказується розташування продукту в межах об'єкта ланцюга поставок (зона тривалого зберігання, зона сортування, зона формування транспортної партії тощо), як показано на рисунку 3.3.

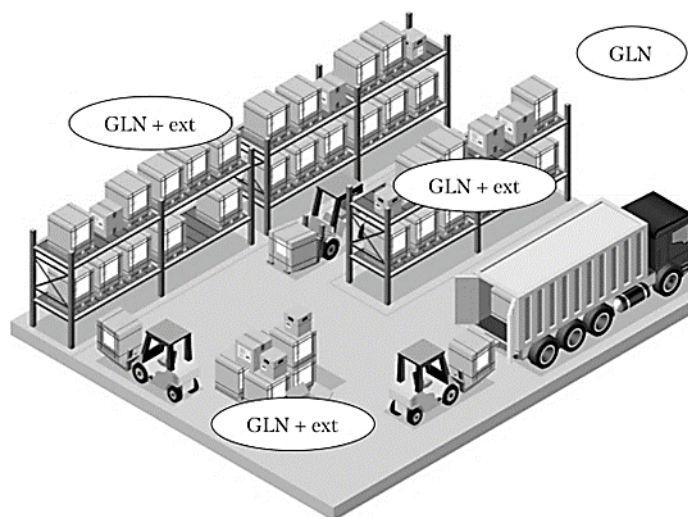


Рисунок 3.3 – Розширена інформація про місцезнаходження товару в ланцюжку поставок.

Ідентифікатори SSCC (Serial Shipping Container Code) – серійний код для транспортної упаковки, який дозволяє ідентифікувати одиницю транспортування (коробку, транспортну упаковку, контейнер тощо) у ланцюжку постачання. Після того, як відправник призначає ідентифікатор SSCC пакунку для доставки, він надсилає його всім, хто бере участь у доставці продукту. Щойно вантаж надходить, він чітко ідентифікується, що дозволяє швидко приймати рішення щодо зберігання,

перевантаження тощо. Код SSCC сумісний зі стандартами ISO (ГОСТ ISO / ІЕС 15459-1-2008) для контролю та відстеження одиниць, що транспортуються. На діаграмі показано використання ідентифікаторів GTIN, GLN і SSCC. 3.6 – відповідність вантажовідправника.

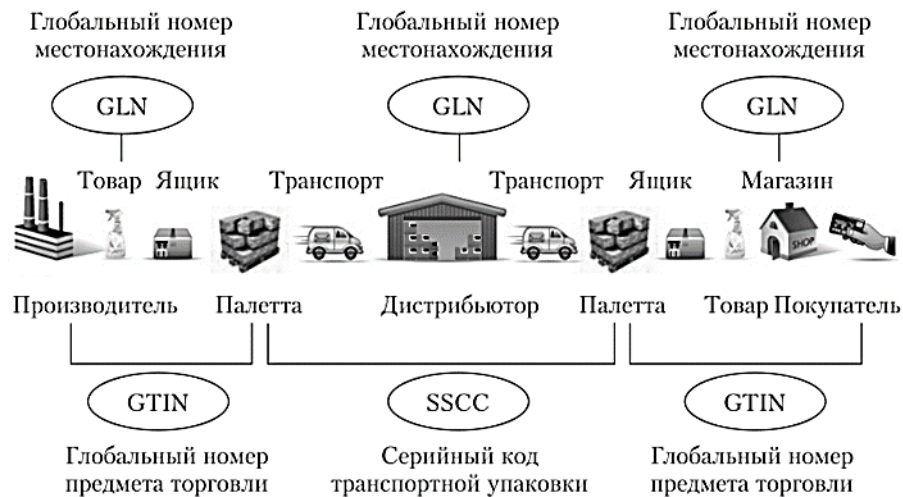


Рисунок 3.4 – Застосування ідентифікаторів GTIN, GLN і SSCC в процесі ланцюга поставок.

Ідентифікатор (GIAI Global Individual Asset Identifier) – глобальний ідентифікатор окремого активу використовується для моніторингу та швидкого визначення місцезнаходження транспортних засобів, що належать об’єкту в ланцюжку поставок. Він видається власником транспортного засобу і містить код власника та унікальний номер автомобіля. Зазвичай використовується власниками для контролю внутрішніх логістичних процесів.

Ідентифікатор (GRAI Global Returnable Asset Identifier) – глобальний ідентифікатор багаторазових контейнерів використовується для ідентифікації товарів багаторазового використання, таких як: В. Багаторазове транспортне обладнання. Приклади: піддони, ящики, піддони або пивні кеги, які використовуються для транспортування та зберігання товарів і повертаються для повторного використання. Власник транспортного засобу довіряє вам управління поверненням. Містить код власника, код типу пристрою, червоні великі літери та необов’язковий серійний номер. Використовується в поєднанні з GTIN. Вимоги до

ідентифікатора наведено в ГОСТІСО/ІЕС 15459-5-2008. Автоматична ідентифікація. Міжнародний унікальний ідентифікатор. Частина 5. Унікальні ідентифікатори багаторазової транспортної тари.

Ідентифікатор GINC (Global Identification Number for Consignment) – глобальний ідентифікатор для партії товарів (дорожньої накладної) вказує на набір товарів (один або більше фізичних об'єктів), які повинні транспортуватися як єдине ціле за одним транспортним документом. Призначається транспортною компанією (вантажовідправником або перевізником) для позначення партії товарів, які транспортуються разом від одного об'єкта ланцюга поставок до іншого.

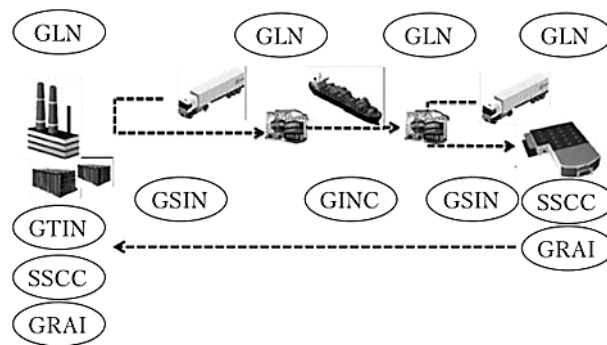


Рисунок 3.5 – Комплексне застосування ідентифікаторів GTIN, GLN і SSCC в ланцюгах поставок

На рисунку 3.5 подано приклад комплексного застосування системи ідентифікації GS1 в ланцюгах поставок. Вантажовідправник використовує коди GTIN для ідентифікації випускаємого товару. При відправці товарів клієнтам вони завантажуються в контейнери, які ідентифікуються кодами SSCC. Вантажовідправник також маркує контейнери кодами GRAI для управління поверненням. Якщо контейнери належать оператору перевезення, то ідентифікатор GRAI присвоюється як власник зворотної тари. Оператор перевезення, отримуючи ці контейнери від вантажовідправника, може, за кодом, однозначно визначити пункт доставки, оскільки кожен об'єкт в ланцюзі поставок має ідентифікатор фізичного розташування (адресу) в коді GLN. У морському порту оператор для відправки партії контейнерів на лінійному судні присвоює їм код GINC, за яким внутріпортовий експедитор формує завантаження судна. Під час прибуття в порт

призначення оператор партії контейнерів, які мають бути доставлені на конкретний склад, надає їм код GSIN, за яким перевізник відбирає контейнери для доставки. На складі за кодом SSCC, відповідно до інструкцій вантажовідправника, формуються партії товарів для розвезення по магазинах. Контейнери звільняються за кодом GRAI та формуються в партії для повернення власнику.

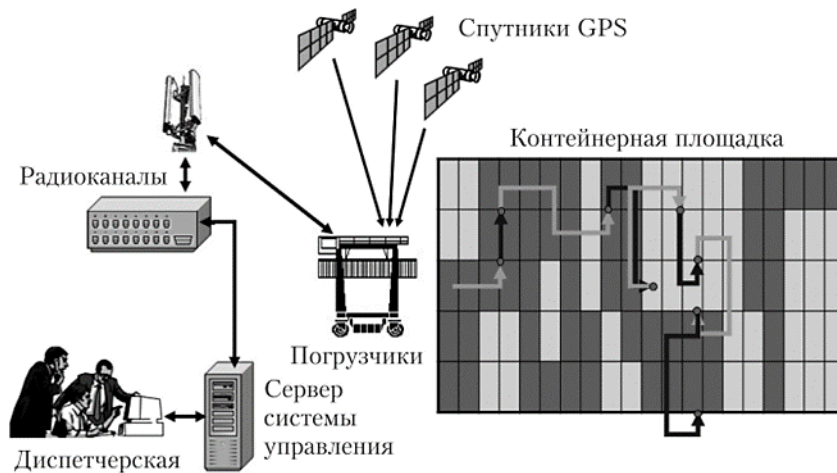


Рисунок 3.6 – Схема функціонування системи непрямої ідентифікації вантажних одиниць

Точка розвантаження заноситься в пам'ять комп'ютера як поточне положення вантажної одиниці. Отримавши заявку на цей вантаж, комп'ютер терміналу шукає ПЗМ, найближчий до поточного місцезнаходження вантажу, і передає оператору дані про місце зберігання вантажної одиниці. За допомогою спеціальних алгоритмів оператор вантажно-розвантажувальної машини (ПЗМ) отримує вказівки щодо оптимального маршруту транспортування вантажної одиниці. Таким чином, електронна система відстежує кожну вантажну одиницю. Система позиціонування дозволяє зчитувати та виводити точне положення кожного контейнера та обладнання для обробки. Спеціальні комп'ютерні програми оптимізують усі виробничі процеси. Оператору системи виводяться тільки необхідні дані. На схемі рисунка 3.6 показано, як працює система.

В розділі «Моніторинг програмного забезпечення систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки» був розглянутий моніторинг потоків постачання з використанням

EPCglobal Network у системах IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання в промисловості, а саме:

Вивчення EPCglobal Network підкреслило його важливу роль у відстеженні та моніторингу потоків постачання в реальному часі. Дана технологія дозволяє ефективно використовувати техніку Radio-Frequency Identification (RFID) для ідентифікації та відстеження продуктів протягом всього ланцюга постачання.

Застосування моніторингу потоків постачання через EPCglobal Network сприяє оптимізації логістики в усьому технологічному ланцюгу. Відстеження продуктів за допомогою RFID дозволяє здійснювати ефективний контроль за рухом та розміщенням товарів, що поліпшує управління запасами та зменшує втрати.

Використання технології RFID для ідентифікації продуктів дозволяє просту та швидку ідентифікацію, заміну або доповнення штрих-кодів, що покращує ефективність в управлінні продукцією та розподілі.

Розгляд використання EPCglobal Network підкреслив його важливу роль в інтеграції з системами IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання. Ця інтеграція сприяє покращенню ефективності, забезпеченню точності даних та здатності реагувати на зміни в реальному часі.

Отже, важливість моніторингу програмного забезпечення з використанням EPCglobal Network для оптимізації управління ланцюгом постачання в індустрії є важливим.

## **ВИСНОВКИ**

У першому розділі надано загальний огляд еволюції концепції Інтернету Речей у світовій практиці. Розглянуті новітні підходи до IoT через архітектуру платформи, а також вивчені можливості оптимізації підключених пристроїв у виробництві. Зокрема, промисловий Інтернет речей виявляє значний вплив на оптимізацію виробничих процесів. Представлена історія розвитку Інтернету Речей від його виникнення до сучасності. Підкреслено важливість цієї архітектури для ефективного управління підключеними пристроями та обміну даними. Розглянуто становлення та ключові аспекти концепції IoT, що стали основою для подальших вивчень. А також, як використання даних з IoT сприяє впровадженню стратегій "Just-In-Time" та "Lean" в ланцюгу постачання, що призводить до оптимізації запасів та ефективного використання ресурсів.

У другому розділі детально розглянуто апаратні складові систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання. Висвітлено систему взаємодії елементів, архітектуру організації Інтернету Речей, сенсори та виконавчі пристрої, а також бездротові системи зв'язку IoT. Даний розділ надає фундаментальний уявлення про технічні аспекти впровадження IoT у виробничому середовищі. Проведено аналіз сенсорів та виконавчих пристроїв, які дозволяють визначити їхню ключову роль у зборі та передачі даних, що впливає на якість управління ланцюгом постачання. Бездротові системи зв'язку виявляються критичним елементом для забезпечення ефективної комунікації між пристроями в Інтернеті Речей, що вказує на їхню ключову роль у забезпеченні оптимального функціонування управління ланцюгом постачання в промисловій сфері.

У третьому розділі присвячено моніторингу програмного забезпечення систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання. Моніторинг потоків постачання та архітектура розподілу об'єктної інформації розглядаються як ключові аспекти управління даними в контексті IoT. Застосування моніторингу потоків постачання через EPCglobal Network сприяє оптимізації логістики в усьому технологічному ланцюгу. Відстеження продуктів за допомогою RFID дозволяє

здійснювати ефективний контроль за рухом та розміщенням товарів, що поліпшує управління запасами та зменшує втрати.

Використання технології RFID для ідентифікації продуктів дозволяє просту та швидку ідентифікацію, заміну або доповнення штрих-кодів, що покращує ефективність в управлінні продукцією та розподілі.

Одним із ключових висновків роботи є те, що розвиток IoT впливає на всі аспекти ланцюга постачання, починаючи від виробництва і закінчуючи доставкою. Його впровадження дозволяє підприємствам оптимізувати виробничі процеси, підвищити ефективність та забезпечити якісний контроль над ланцюгом постачання.

Отже, висновки зазначають, що використання технологій IoT в управлінні ланцюгом постачання є актуальним та перспективним напрямком розвитку. Результати досліджень вказують на те, що впровадження IoT може призвести до великого покращення ефективності в управлінні ланцюгом постачання та забезпечити підприємствам конкурентні переваги на ринку.

## ПЕРЛІК ПОСИЛАНЬ

1. A. Schmidt and K. Van Laerhoven, “How to build smart appliances?” IEE Personal Communications, vol. 8, no. 4, pp. 66–71, 2001
2. Adrian McEwen, Hakim Cassimally. Designing the Internet of Things. Wiley 2014. - 338 p. ISBN 978-1-118-43062-0
3. Alavi, A.H., Jiao, P., Buttler, W.G. and Lajnef, N. (2018). Internet of things enabled smart cities: State-of-the-art and future trends. Measurement 129: 589 606.
4. C. Gomez, J. Oller, and J. Paradells, “Overview and evaluation of bluetooth low energy: an emerging low-power wireless technology,” Sensors, vol. 12, no. 9, pp. 11734–11753, 2012.
5. Cellular vs wi-fi for IoT [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.particle.io/iot-guides-and-resources/cellular-vs-wifi-for-iot/> Назва з екрану. – Дата звернення: 23.11.2022
6. Definition Internet-of-Things-IoT [Електронний ресурс] - режим доступу: <https://internetofthingsagenda.techtarget.com/definition/Internet-of-ThingsIoT>
7. DEVELOPMENT OF A RFID BASED INVENTORY MANAGEMENT SYSTEM / Zahid Hasan Chowdhury – 2013 – 72 с.
8. Donald Noris. The Internet of Things: Do-It-Yourself Projects with Arduino, Raspberry Pi, and BeagleBone Black. 2015 by McGraw-Hill Education. – 580 p. ISBN: 978-0-07-183521-3.
9. F. Bonomi, R. Milito, J. Zhu, and S. Addepalli, “Fog computing and its role in the internet of things,” in Proceedings of the 1st ACM MCC Workshop on Mobile Cloud Computing, pp. 13-16, 2012.
10. F. Bonomi, R. Milito, P. Natarajan, and J. Zhu, “Fog computing: a platform for internet of things and analytics,” in Big Data and Internet of Things: A Road Map for Smart Environments, pp. 169-186, Springer, Berlin, Germany, 2014
11. F. Kandah, Y. Singh, W. Zhang and C. Wang, “Mitigating colluding injected attack using monitoring verification in mobile ad-hoc networks”, Security and Communication Networks, pp.1939-0122,2013.



12. Fan K., Gong Y., Liang C., Li H., Yang Y. (2015) Lightweight and ultralightweight RFID mutual authentication protocol with cache in the reader for IoT in 5G. *Security and Communication Networks* 9(16):3095–3104
13. Frahim, J., et al., “Securing the Internet of Things: A Proposed Framework,” Cisco White Paper, March 2015.
14. Functionality of computer networks [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.geeksforgeeks.org/functionality-of-computernetwork/> – Назва з екрану. – Дата звернення: 03.05.2023.
15. Gazis, V. (2017). A survey of standards for machine-to-machine and the internet of things. *IEEE Communications Surveys Tutorials* 19 (1): 482–511.
16. GS1 EPC Global Architecture Framework, [www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/architecture\\_1\\_6-framework-0140414.pdf](http://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/architecture_1_6-framework-0140414.pdf)
17. Heinrich, C. (2015). *RFID and beyond*. Indiana: Wiley Publishing Inc
18. I. Andrea, C. Chrysostomou and G. Hadjichristofi, “Internet of Things: Security vulnerabilities and challenges,” 2015 IEEE Symposium on Computers and Communication (ISCC), pp.180-187, Larnaca, 2015.
19. I. Stojmenovic and S. Wen, “The fog computing paradigm: scenarios and security issues,” in *Proceedings of the Federated Conference on Computer Science and Information Systems (FedCSIS '14)*, pp. 1–8, IEEE, Warsaw, Poland, September 2014
20. Industrial-internet-of-things-complete-guide [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.imperosoftware.com/blog/industrialinternet-of-things-complete-guide/> – Назва з екрану. – Дата звернення: 18.11.2022.
21. Industrial-Internet-of-Things-ІоТ [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.techtarget.com/iotagenda/definition/IndustrialInternet-of-Things-ІоТ> – Назва з екрану. – Дата звернення: 18.11.2022.
22. Internet of Things [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://blogs.cisco.com/internet-of-things/modern-manufacturing-does-your-network-have-what-it-takes> – Назва з екрану. – Дата звернення: 15.11.2022

23. Internet-of-things [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.wifi.org/discover-wi-fi/internet-of-things> – Назва з екрану. – Дата звернення: 22.11.2022.
24. IoT devices separate wi-fi network [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://csolutionsit.com/iot-devices-separate-wi-fi-network/> – Назва з екрану. Дата звернення: 23.11.2022.
25. IoT in the Automotive Industry. Tata Communications (2018). Режим доступу до ресурсу: <https://www.tatacommunications.com/wp-content/uploads/2018/02/IOT-IN-THE-AUTOMOTIVE-INDUSTRY.pdf> (accessed 16 July 2019).
26. IoT для оптимізації ланцюга поставок і логістики: як це допомагає підвищити ефективність і знизити витрати. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://ts2.space/uk/iot- /](https://ts2.space/uk/iot-/) – Назва з екрану. – Дата звернення: 22. 04.2023.
27. J. Gubbi, R. Buyya, S. Marusic, and M. Palaniswami, “Internet of Things (IoT): a vision, architectural elements, and future directions,” *Future Generation Computer Systems*, vol. 29, no. 7, pp. 1645-1660, 2013.
28. J. Sengupta, S. Ruj, and S. Das Bit, “A Comprehensive Survey on Attacks, Security Issues and Blockchain Solutions for IoT and IIoT,” *Journal of Network and Computer Applications*, vol. 149, p. 102481, Jan. 2020.
29. Jacob Fraden. *Handbook of Modern Sensors: Physics, Designs, and Applications*. 765 P., 2015, 27.15 MB
30. Jeong, B., & Lu, Y. (2013). The impact of RFID investment announcements on the market value of the firm. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*, 3(1), 41-54.
31. K.-H. Chang, “Bluetooth: a viable solution for IoT? [Industry Perspectives],” *IEEE Wireless Communications*, vol. 21, no. 6, pp. 6-7, 2014.
32. Kae, V.P., Fukushima Y. and Harai, H. (2016). Internet of things standardization ITU and prospective networking technologies. *IEEE Communications Magazine* 54 (9): 43-49.
33. Khan, R., Khan, S.U., Zaheer, R. and Khan, S. (2012). Future internet: The internet of things architecture, possible applications and key challenges. 2012 10th

- International Conference on Frontiers of Information Technology, Islamabad, Pakistan (17–19 December 2012). IEEE.
34. Krotov, V. (2012). RFID as a disruptive innovation. *Journal of Theoretical and Applied Electronic Commerce Research*.
35. Li, Hong, Y. Chen, and Z. He. "The Survey of RFID Attacks and Defenses." 8th International Conference on IEEE Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM), 2012.
36. Lin, J., Yu, W., Zhang, N. et al. (2017). A survey on internet of things: Architecture, enabling technologies, security and privacy, and applications. *IEEE Internet of Things Journal* (99): 1–1.
37. Logistics-and-supply-chain-trends-2023 [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.trinetix.com/insights/logistics-and-supply-chain-trends-2023> – Назва з екрану. – Дата звернення: 16.04.2023
38. LoRAWAN specifications, LoRa Alliance Technology. Режим доступу до ресурсу: <https://lora-alliance.org/resource-hub/lorawan-specification-v11> (accessed 16 July 2019).
39. M.U. Farooq, M. Waseem, A. Khairi, S. Mazhar, "A Critical Analysis on the Security Concerns of Internet of Things (IoT)", *International Journal of Computer Applications* (0975 8887), Volume 111 - No. 7, February 2015.
40. Md. I. Abdullah, M. M. Rahman and M. C. Roy, "Detecting Sinkhole Attacks in Wireless Sensor Network using Hop Count" *I. J. Computer Network and Information Security*, pp.50-56, 2015.
41. Network functionality [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer-science/network-functionality> Назва з екрану. – Дата звернення: 03. 05.2023.
42. O.O. Rybak, O.I. Nazarenko (2019), "LoRaWAN as IoT technology for creating smart learning". *Proceedings from the XIII International Scientific and Technical Conference PT-19 Prospects of Telecommunications*. [in Ukrainian], pp.77-79.

43. P. I. Radoglou Grammatikis, P. G. Sarigiannidis, and I. D. Moscholios, "Securing the Internet of Things: Challenges, threats and solutions," *Internet of Things*, vol. 5, pp. 41–70, Mar. 2019.
44. Peter Waher. *Learning Internet of Things*. 2015 Packt Publishing 240 p.
45. Puffenbarger, E., Teer, F., & Kruck, S. (2008). RFID: New technology on the horizon for it majors. *International Journal of Business Data Communications and Networking*, 4(1), 64-80
46. RFID Technology Applied in Warehouse Management System / B. Yan, Yiyun Chen – 2008 – 72 с.
47. Shin, S.-W., Crawford, M., and Mellor, S. (eds) (2017). *The Industrial Internet of Things Volume G1: Reference Architecture*. 1–58. Industrial Internet Consortium (IIC). Режим доступа до ресурсу: [https://www.iiconsortium.org/IIC\\_PUB\\_G1\\_V1.80\\_2017-01-31.pdf](https://www.iiconsortium.org/IIC_PUB_G1_V1.80_2017-01-31.pdf) (accessed 16 July 2019).
48. Specification for RFID Air Interface, EPC Radio-Frequency Identity Protocols Class-1 Generation-2 UHF RFID Protocol for Communications at 860960 MHz, Version 2.0, November 2013.
49. *The Trust Opportunity: Exploring Consumer Attitudes to the Internet of Things* [Электронный ресурс] - режим доступа: <https://www.internetsociety.org/resources/doc/2019/trust-opportunityexploringconsumer-attitudes-to-iot/>
50. Torres, Andrei B.B, *Análise de Desempenho de Brokers MQTT em Sistema de Baixo Custo, 15º WPerformance - Workshop em Desempenho de Sistemas Computacionais e de Comunicação*, At Porto Alegre, Brasil, Jul 2016.
51. Tripathy B. *Internet of Things (IoT): TeChnologies, AppliCations, Challenges and Solutions (АНГЛ.)* / B. Tripathy, J. Anuradha. – Florida: CRC Press, 2017. – 334 с.
52. Trokhymenko D.V., Kurdecha V.V. (2019), "Securing internet of things data". *Proceedings from the XIII International Scientific and Technical Conference PT19 Prospects of Telecommunications*, pp.80-82.

53. Types of IoT networks [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://euristiq.com/types-of-iot-networks/> – Назва з екрану. – Дата звернення: 23.11.2022.
54. Vermesan O, Dr. Friess P., et al, Internet of Things Strategic Research Roadmap, IfM – University of Cambridge – internal publication, 2012.
55. Wahid, Abdul, P. Kumar, “A Survey on attacks, Challenges and Security Mechanism in Wireless Sensor Network”, JIRST- International Journal for Research in Science & Technology, Volume 1, Issue 8, pp. 189-196, January 2015.
56. Weyrich, M. and Ebert, C. (2016). Reference architectures for the internet of things. IEEE Software 33 (1): 112-116.
57. Zarghami, Shirin, Middleware for Internet of Things, Faculty of Electrical Engineering, Mathematics and Computer Science Software Engineering, University of Twente, nov 2013.
58. Архітектура і технології IoT. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/68838/mod\\_resource/content/2/%D0%В-1.pdf](https://learn.ztu.edu.ua/pluginfile.php/68838/mod_resource/content/2/%D0%В-1.pdf) – Назва з екрану. – Дата звернення: 22. 04.2023.
59. Вергун А.І., Курдеча В.В. (2018), “Безпека IoT систем за допомогою технології блокчейн”. Матеріали XII Міжнародної науково-технічної конференції ПТ-18 Проблеми телекомунікацій, с.260-262.
60. Вікіпедія. Інтернет речей. Електронний ресурс. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/>. Дата звертання 07.10.2020 року
61. Гребенніков В. О. Проблема загальнодоступності основних телекомунікаційних і інформаційних послуг в Україні та загальні підходи до її розв’язання / В. О. Гребенніков, Г. Ф. Колченко // Наукові записки УНДІЗ. – 2013. № 1(25). – С. 5-13.
62. Давидюк А.М., Курдеча В.В. (2019), “Забезпечення цілісності даних в мережах промислового інтернету речей”. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції ПТ-19 Перспективи телекомунікацій, с.204–206.

63. Керування виробничими запасами з використанням технології RFID [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/39205/1/151\\_Kysliuk\\_mytro\\_Ivanovych\\_60503.pdf](https://dspace.nuft.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/39205/1/151_Kysliuk_mytro_Ivanovych_60503.pdf) – Назва з екрану. – Дата звернення: 22. 04.2023.
64. Колченко Г. Ф. Розроблення нормативних документів для забезпечення функціонування системи оперативного-технічного управління телекомунікаційними мережами / Г. Ф. Колченко, І. В. Шестак // Наукові записки УНДІЗ. – 2012. – № 2(24). – С. 5-8.
65. Моніторинг ланцюгів поставок. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://stud.com.ua/68543/logistika/monitoring\\_lantsyugiv\\_postavok](https://stud.com.ua/68543/logistika/monitoring_lantsyugiv_postavok) – Назва з екрану. – Дата звернення: 22. 04.2023
66. Моніторинг логістичних потоків. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: [https://stud.com.ua/120702/informatika/monitoring\\_logistichnih\\_potokiv](https://stud.com.ua/120702/informatika/monitoring_logistichnih_potokiv)
67. Осипчук С.О., Мошинська А.В., Кіращук В.В. (2019), “Прикладні аспекти реалізації рішень передавання інформації в технологіях інтернету речей”. Матеріали XIII Міжнародної науково-технічної конференції ПТ-19 Перспективи телекомунікацій, с.17–21.
68. Пристрої IoT, що використовуються в логістиці. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.mokosmart.com/uk/iot-in-logistics/>
69. Пристрої компанії Adeunis для мереж LoRaWAN. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://controleng.ru/besprovodny-e-tehnologii/adeunis/> Назва з екрану. – Дата звернення: 22. 04.2023.
70. Технології інтернету речей. Навчальний посібник [Електронний ресурс]: навч. посіб. Для студ. спеціальності 126 «Інформаційні системи та технології», спеціалізація «Інформаційне забезпечення робототехнічних систем» / Б. Ю. Жураковський, І.О. Зенів; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 12,5 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. – 271 с.

## Презентаційні матеріали

Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій  
Кафедра Інженерії програмного забезпечення автоматизованих систем



### ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ

на здобуття освітнього ступеня магістра  
зі спеціальності 126 Інформаційні системи та технології  
освітньо-професійної програми Інформаційні системи та технології

ВИКОНАВ: ЗДОБУВАЧ ВИЩОЇ ОСВІТИ ГР. ІСДМ-64

ІГОР БУРИК

КЕРІВНИК: ІРИНА СРІБНА



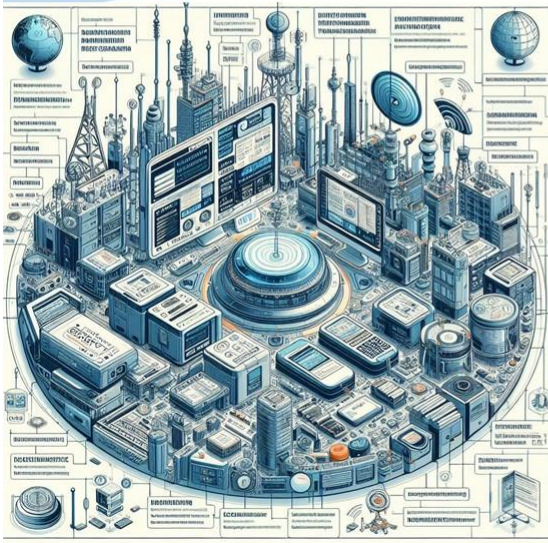
**Актуальність магістерської роботи** полягає в тому, що в сучасному світі індустрії відчувають потребу в ефективних інструментах автоматизації та оптимізації ланцюга постачання. Застосування технологій Інтернету речей у поєднанні з стандартами, які розглядаються у роботі, поліпшують управління та взаємодію між елементами ланцюга постачання.

**Об'єктом дослідження** є системи Інтернету речей (IoT), які використовуються для автоматизації та оптимізації управління ланцюгом постачання в індустрії. Детально розглянемо впровадження IoT на кожному етапі ланцюга постачання, від початкового виробництва до останньої ланки доставки.



**Предметом дослідження** є системи Інтернету речей (IoT) для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії, які використовують датчики та зв'язок для вдосконалення контролю за виробництвом, моніторингу якості та оптимізації процесів.

Дипломна робота спрямована на розробку конкретних технологічних рішень та рекомендацій для підприємств з метою покращення управління ланцюгом постачання через використання IoT.



**Метою магістерської роботи** є дослідження і впровадження систем Інтернету речей (IoT) для автоматизації та оптимізації управління ланцюгом постачання в індустрії, починаючи від етапу виробництва та закінчуючи доставкою, використання IoT для оптимізації маршрутів та моніторингу умов транспорту, що призводить до точних та своєчасних доставок.





## РОЗДІЛ 1.

### НАУКОВО-ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ УПРАВЛІННЯ СИСТЕМАМИ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ

У першому розділі «Науково-теоретичні засади управління систем IoT для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки» магістерської роботи були розглянуті науково-теоретичні засади управління системами Інтернету Речей (IoT) з метою автоматизації ланцюга постачання в промисловості, від виробництва до доставки. Згадано про становлення та загального огляду концепції Інтернету Речей у світовій практиці. Представлена історія розвитку Інтернету Речей від його виникнення до сучасності. Розглянуто становлення та ключові аспекти концепції IoT, що стали основою для подальших вивчень.



Висвітлено новітні підходи до IoT, зокрема через платформенну архітектуру. Підкреслено важливість для ефективного управління підключеними пристроями та обміну даними.

Розглянуто, як використання даних з IoT сприяє впровадженню стратегій "Just-In-Time" та "Lean" в ланцюгу постачання, що призводить до оптимізації запасів та ефективного використання ресурсів.

**Стратегія "Just-In-Time" (JIT)** визначається тим, що товари або матеріали надходять на виробництво або у склад саме в той момент, коли вони необхідні для виробництва або задоволення попиту. Системи IoT постійно відстежують рівні запасів в реальному часі, надаючи точну інформацію про наявність товарів та матеріалів. Аналіз даних з IoT дозволяє виробникам прогнозувати попит на товари, що дозволяє вчасно генерувати лише необхідні замовлення. На основі рівнів запасів та прогнозів попиту, системи автоматично формують замовлення у постачальників або внутрішні переміщення товарів.

Однією із ключових переваг використання IoT в оптимізації ланцюга постачання та доставки є можливість повного відстеження всього ланцюга в режимі реального часу. За допомогою пристроїв з підтримкою IoT ведеться моніторинг відправлень та поставок, надаючи інформацію про місцезнаходження продуктів у ланцюгу постачання



У загальному вигляді сутність Інтернету речей може бути зведена у вигляді символічної формули:

**Фізичні об'єкти + ідентифікатор,  
сенсори, контролери, виконавчі пристрої +  
Інтернет = IoT**

**Сучасний напрямок комунікацій,  
що реалізовується IoT**



**Концепція Інтернету речей включає ще один напрямок – комунікація будь-яких пристроїв або речей.**

Застосування промислового Інтернету Речей включає:

- Системи попередження та технічного обслуговування промислового обладнання для уникнення непередбачених поломок.
- Підвищення продуктивності завдяки динамічному реагуванню на реальний попит.
- Енергозбереження шляхом ефективного використання енергоресурсів.
- Забезпечення систем безпеки, таких як вимірювання температури, контроль тиску та виявлення витоків газу.
- Експертні системи для управління виробничими процесами в цеху.



**Датчики IoT**

У всіх застосунках Інтернету речей (IoT) необхідно використовувати один чи кілька датчиків для збору інформації з навколишнього середовища.

Датчики виступають важливими складовими розумних об'єктів, зазвичай характеризуються компактними розмірами, низькою вартістю та енергоефективністю. Їхні можливості обмежені параметрами, такими як ємність акумулятора та простота в разгортанні.

Датчики включають магнітометр для виявлення магнітних полів, GPS для визначення місцезнаходження телефону, датчик світла для вимірювання інтенсивності освітлення, датчик наближення для визначення відстані до об'єктів, а також термометр, барометр і датчик вологості для вимірювання температури, атмосферного тиску та вологості відповідно.



## РОЗДІЛ 2. АПАРАТНІ СКЛАДОВІ СИСТЕМ ІОТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ

*У другому розділі «Апаратні складові систем іот для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії: від виробництва до доставки» систематично розглянув апаратні складові систем ІоТ для автоматизації управління ланцюгом постачання в індустрії, прослідковуючи шлях від виробництва до доставки. Зокрема, була розглянута система взаємодії елементів в Інтернеті речей, вивчена архітектура організації Інтернету Речей, а також досліджено роль сенсорів та виконавчих пристроїв у систем.*



Аналіз сенсорів та виконавчих пристроїв дозволяє визначити їхню ключову роль у зборі та передачі даних, що впливає на якість управління ланцюгом постачання. Бездротові системи зв'язку виявляються критичним елементом для забезпечення ефективної комунікації між пристроями в Інтернеті Речей, що вказує на їхню ключову роль у забезпеченні оптимального функціонування управління ланцюгом постачання в промисловій сфері.

### РОЗДІЛ 3.

#### МОНІТОРИНГ ПРОГРАМНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СИСТЕМ ІоТ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ ЛАНЦЮГОМ ПОСТАЧАВАННЯ В ІНДУСТРІЇ: ВІД ВИРОБНИЦТВА ДО ДОСТАВКИ

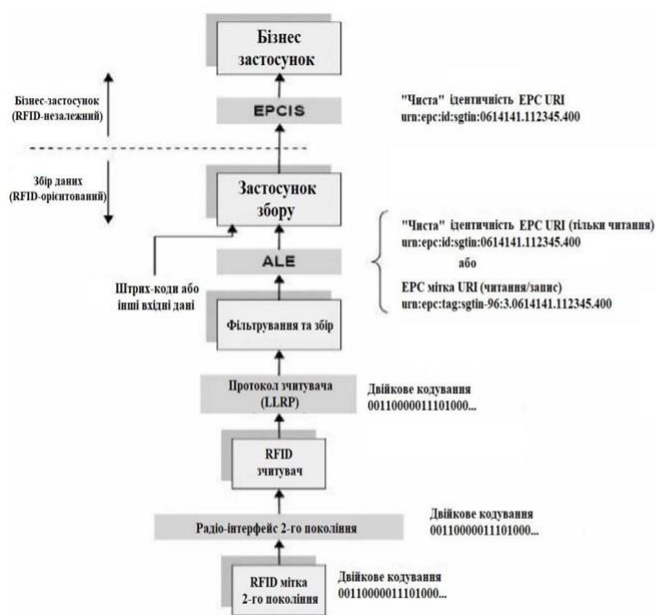


Представлення логічної структури системи, яка інтегрує ідентифікацію транспортних засобів та вантажів.

Запропоноване рішення ґрунтується на наявній системі управління RFID-складом, що вбудовує багато рівнів структури архітектури GS1/EPCGlobal у модуль проміжного програмного забезпечення.

**RFID (Radio-Frequency Identification)** – це технологія, яка використовує радіочастотні хвилі для бездротового обміну даними між RFID-міткою та читачем. RFID-система складається з RFID-мітки, читача та програмного забезпечення для обробки зібраних даних.

Кожна RFID-мітка має унікальний ідентифікатор, який прочитаний читачем, що дозволяє ідентифікувати кожен товар чи об'єкт окремо. Унікальний ідентифікатор присвоєний кожній одиниці товару, забезпечуючи точну ідентифікацію навіть в умовах великих складів чи виробничих площ.



Структура архітектури GS1/EPCGlobal



Логічна структура таких систем, заснована на стандарті ISO 17261-2014 "Інтелектуальні транспортні системи. Автоматична ідентифікація транспортних засобів та обладнання. Архітектура і термінологія в секторі інтермодальних вантажних перевезень", надає єдиної системі здатність відстежувати змішані перевезення вантажів та обмінюватися інформацією між всіма учасниками поставок. Це дозволяє прогнозувати інтенсивність руху, перерозподіляти транспортні потоки та, за наявності зв'язку з водієм, керувати маршрутом руху

## Основні компоненти EPCglobal Network:



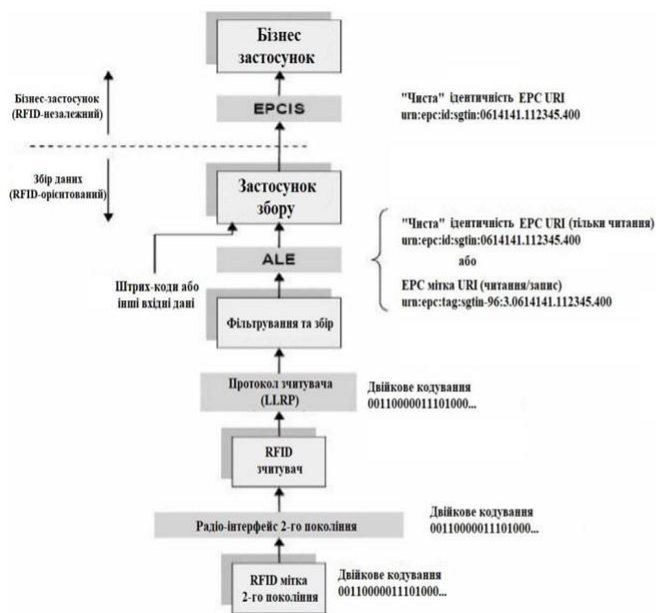
**EPC Information Services (EPCIS)** стандарт для обміну даними про події в ланцюгах постачання, пов'язаних з EPC. EPCIS визначає структуру даних та протоколи для обміну інформацією про події, такі як прихід товарів на склад, переміщення вантажу, продажі тощо.

**EPC Discovery Services** надає можливість знаходження інформації про конкретні продукти за їхніми EPC у глобальній мережі.

**EPC Authentication Services** система, яка дозволяє перевіряти аутентичність ідентифікаторів EPC, щоб гарантувати їхню достовірність у ланцюгах постачання.

**Object Naming Service (ONS)** забезпечує можливість перетворення EPC у веб-адреси (URLs), що полегшує доступ до інформації про продукти через Інтернет.

**EPCglobal Standards** набір стандартів, які визначають правила ідентифікації, обміну даними та інші аспекти використання технології EPC в ланцюгах постачання.



Структура архітектури GS1/EPCGlobal

**GS1 GDSN (глобальна мережа синхронізації даних GS1)** – це глобальна мережа синхронізації даних GS1, яка забезпечує безпечну та постійну синхронізацію точних і надійних даних про продукти. Торгові партнери, які використовують мережу GDSN, завжди мають у своїх інформаційних системах актуальну інформацію про продукцію. Крім того, всі партнери автоматично і негайно повідомляються про зміни, внесені в базу даних компанії.



Застосування ідентифікаторів GTIN,  
GLN і SSCC в процесі ланцюга  
поставок

*Ідентифікатори SSCC (Serial Shipping Container Code)*  
– серійний код для транспортної упаковки, який дозволяє ідентифікувати одиницю транспортування (коробку, транспортну упаковку, контейнер тощо) у ланцюжку постачання. Після того, як відправник призначає ідентифікатор SSCC пакунку для доставки, він надсилає його всім, хто бере участь у доставці продукту.

*Ідентифікатори GLN (Global Location Number)* – глобальні номери розташування дозволяють учасникам ланцюга постачання визначити фізичне місцезнаходження відправлення та його статус (магазин, склад, порт).

*UPS (United Parcel Service)* використовує датчики руху в своїх транспортних засобах для відстеження руху вантажів та моніторингу умов транспортування під час доставки.

## Апробація роботи

- ❖ Бурик І. Д. «Застосування ІОТ у виробництві для ефективного управління ланцюгом постачання». Стаття у загальногалузевому науково-виробничому журналі «Зв'язок», м.Київ - №1, 2024. – С. 234-242
- ❖ Бурик І. Д. «Застосування ІОТ у виробництві для ефективного управління ланцюгом постачання». Тези у науково-практичній конференції «Telecommunication: problems and innovation» – Київ, 16 січня 2024 р.