

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

## **Кваліфікаційна робота магістра**

на тему: «Автоматизована система управління «розумний склад» з  
елементами IoT»

«Automated "smart warehouse" control system with IoT elements»

Виконав: студент 2 курсу, групи 6А  
спеціальності 174 – «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

Гавриш П.А.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ, РОБОТОТЕХНІКИ І МЕХАТРОНІКИ

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи магістра

на тему: «Автоматизована система управління «розумний склад» з  
елементами IoT»

«Automated "smart warehouse" control system with IoT elements»

Виконав: студент 2 курсу, групи 6А  
спеціальності 174 – «Автоматизація,  
комп'ютерно-інтегровані технології та  
робототехніка»

Гавриш П.А.

Керівник: д.т.н., проф. Рудакова Г.В.

Рецензент \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

Хмельницький-Херсон – 2025 рік

Херсонський національний технічний університет

Факультет

Інженерії та транспорту

Кафедра

Автоматизації, робототехніки і мехатроніки

Освітньо-кваліфікаційний рівень

магістр

Спеціальність

174 – «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри Автоматизації,  
робототехніки і мехатроніки

Сєліверстов І.А.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2025 р.

## ЗАВДАННЯ

на дипломну роботу студенту

Гавришу Павлу Андрійовичу

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

1. Тема проекту: Автоматизована система управління «розумний склад» з елементами IoT (Automated "smart warehouse" control system with IoT elements).

керівник проекту: д.т.н., проф. Рудакова Ганна Володимирівна

*(прізвище, ім'я, по батькові)*

затверджені наказом вищого навчального закладу від «28» серпня 2025 р. № 364-с

2. Строк подання студентом проекту «10» грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до проекту: Технічна документація про складські системи Технічна документація про Інтернет речей. Технічна документація про технологію LoRaWAN.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Особливості функціонування складських систем.

2. Особливості технології інтернету речей (IoT). 3. Модернізація складу за допомогою технології LoRaWAN.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

1. Складська логістика Нової пошти. 2. Схема технології «розумний дім» відносно складських споруд. 3. Схема роботи технології «розумний склад». 4. Основні елементи та інтерфейси IoT. 5. Категорії протоколів IoT.

6. Архітектура 6LoWPAN. 7. Еталонна стандартизація IoT згідно МСЭ-Т Y.2060.

8. Вибране апаратне обладнання сенсорного вузла.

6. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ « 15 » вересня 2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів проекту	Примітка
1.	Підбір літератури	15.09.25-30.09.25	
2.	Аналіз особливостей функціонування складських систем	01.10.25-25.10.25	
3.	Огляд сучасних систем «розумний склад»	26.10.25-12.11.25	
4.	Методи отримання і обробки фізіологічної інформації	13.11.25-30.11.25	
5.	Аналіз особливостей технології «Інтернету речей»	01.12.25-04.12.25	
6.	Розробка мережі на основі протокола LoRaWAN	18.11.25-22.11.25	
7.	Оформлення креслень	23.11.25-28.11.25	
8.	Оформлення пояснювальної записки	29.11.25-02.12.25	
9.	Здача роботи на перевірку	03.12.25-10.12.25	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

П.А. Гавриш

(прізвище та ініціали)

Керівник проекту

\_\_\_\_\_ (підпис)

Г.В.Рудакова

(прізвище та ініціали)

Номер рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість	Шифр документа	Примітка
1	A4		Завдання на проектування	2		
2	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.04.РФ	Реферат	2	РФ	
3	A4	ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Пояснювальна записка	90	ПЗ	
4	A1	Демонстраційне креслення	Складська логістика Нової пошти.	1		
5	A1	Демонстраційне креслення	Схема технології «розумний дім» відносно складських споруд.	1		
6	A1	Демонстраційне креслення	Схема роботи технології «розумний склад».	1		
7	A1	Демонстраційне креслення	Основні елементи та інтерфейси IoT	1		
8	A1	Демонстраційне креслення	Категорії протоколів IoT.	1		
9	A1	Демонстраційне креслення	Архітектура 6LoWPAN	1		
10	A1	Демонстраційне креслення	Результати розрахунків Еталонна стандартизація IoT згідно МСЭ-Т У.2060.	1		
11	A1	Демонстраційне креслення	Вибране апаратне обладнання сенсорного вузла.	1		

ХНТУ 174.КРМ.25.04.ВР					
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Гавриш П.А.			
Перевір.		Рудакова Г.В.			
Н. Контр.					
Затверд.		Селівєрстов І.А.			
Відомість об'єму роботи			Літ.	Арк.	Акрушів
				4	1
ХНТУ, гр.6А					

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота складається із пояснювальної записки та графічної частини.

Пояснювальна записка містить – 90 сторінок, 25 рисунків, 4 таблиці, 1 додаток.

Графічна частина – 8 аркушів формату А1.

Метою цього проекту є створення автоматизованої системи управління «розумний склад» з елементами IoT.

Проведено аналіз особливостей функціонування складських систем. Наведено опис основних логістичних функцій та документообігу складського господарства. Обґрунтовано доцільність цифровізації складського господарства. Розглянуті базові принципи побудови «розумного складу». Наведено характеристики технології Інтернету речей, яка дозволяє модернізувати складське господарство.

Розроблена система для модернізації складу, що базується на технології Інтернету речей, а саме – технології LoRaWAN. Здійснений вибір обладнання. Розроблено мережу на основі протокола LoRaWAN. Розроблено програмний код для тестування системи.

СКЛАДСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, ЛОГІСТИЧНІ ФУНКЦІЇ,  
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА УПРАВЛІННЯ, РОЗУМНИЙ СКЛАД,  
ТЕХНОЛОГІЯ LORAWAN.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.РФ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Реферат	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розроб.</i>		<i>Гавриш П.А.</i>					5	2
<i>Перевір.</i>		<i>Рудакова Г.В.</i>						
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>		<i>Селіверстов І.А.</i>						
						ХНТУ, гр.6А		

## THE ABSTRACT

The qualification work consists of an explanatory note and a graphic part.

The explanatory note contains 90 pages, 25 figures, 4 tables, 1 appendix.

The graphic part is 8 sheets of A1 format.

The purpose of this project is to create an automated "smart warehouse" management system with IoT elements.

An analysis of the features of the functioning of warehouse systems has been carried out. A description of the main logistics functions and document flow of the warehouse has been provided. The feasibility of digitalizing the warehouse has been substantiated. The basic principles of building a "smart warehouse" have been considered. The characteristics of the Internet of Things technology, which allows for the modernization of the warehouse, have been provided.

A system for the modernization of the warehouse has been developed, based on Internet of Things technology, namely LoRaWAN technology. The selection of equipment has been made. A network based on the LoRaWAN protocol has been developed. Program code for testing the system has been developed.

WAREHOUSING, INTERNET OF THINGS, LOGISTICS FUNCTIONS,  
AUTOMATED CONTROL SYSTEM, SMART WAREHOUSE, LORAWAN  
TECHNOLOGY.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.РФ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		6

## ЗМІСТ

	стор.
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ .....	12
1.1. Складське господарство.....	13
1.1.1. Основні поняття логістики складування.....	14
1.1.2. Основні логістичні функції складського господарства.....	15
1.1.3. Сучасні склади .....	16
1.2. Документообіг складів .....	19
1.3. Цифровізація складського господарства.....	22
1.4. Розумний склад .....	29
1.4.1. Технологія cyber-physical system.....	30
1.4.2. Розпізнання об'єктів .....	32
1.5. Сучасні складські комплекси .....	35
2 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (ІОТ) .....	43
2.1 Базова архітектура.....	44
2.2 протоколи архітектури ІоТ.....	48
2.2.1 протоколи інфраструктури .....	49
2.2.2 Протоколи виявлення сервісів .....	57
2.3 Стандартизація ІоТ.....	57
2.4 Проблеми реалізації ІоТ .....	60
3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЇ LORAWAN.....	64
3.1 Технологія <i>LORAWAN</i> .....	65
3.1.1 Архітектура мережі .....	67
3.1.2 Шлюз мережі LoRaWAN .....	68
3.1.3 Центральний сервер LoRaWAN мережі.....	70
3.2 Розробка мережі на основі протокола LORAWAN .....	71
3.2.1 Базовий радіомодем для кінцевого пристрою.....	72
3.2.2 Базовий радіо-модем для шлюзу мережі .....	75

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		7

3.2.3 Вибір мікроком'ютера .....	76
3.2.4 Реалізація функціоналу збору даних кінцевого пристрою .....	78
3.2.5 Тестування системи.....	78
3.3 Підсистема контролю рухомих об'єктів та персоналу всередині приміщень .....	79
3.3.1 Універсальний промисловий LoRaWAN трекер MSM PASS.....	82
3.3.2 Промисловий Bluetooth маяк MSM .....	83
ВИСНОВКИ.....	85
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	86
ДОДАТОК А. ....	89

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		8

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

BAS - системи автоматизації будівель;

CPS - Cyber-Physical System;

CSS – chirp spread spectrum (лінійна частотна модуляція);

FEC– forward error correction (пряма корекція помилок);

IoT - інтернет речей;

LAN - локальна мережа;

RFID - Radio Frequency IDentification (радіочастотна автоматична ідентифікація);

ПЗ - програмне забезпечення;

WCS - Warehouse Control Systems (системи контролю складу);

WMS - Warehouse Management Systems (системи управління складом);

ТМЦ - товарно-матеріальні цінності;

ІІІ - штучний інтелект.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ВСТУП

В сучасному світі важко представити навіть маленьке виробництво без спеціально обладнаних приміщень для зберігання компонентів, матеріалів, готової продукції, тощо. У складських приміщеннях одночасно можуть зберігатися тисячі, сотні тисяч різних за формою, розміром та призначенням предметів. Складська діяльність зазвичай включає отримання, зберігання, комплектування замовлень і відправлення. Складування відіграє важливу роль у ланцюгу постачання та має значний вплив на обслуговування клієнтів.

Концепція Warehouse 4.0 поєднує в собі технологію інтернет речей (IoT), наявність пристроїв, що мають комп'ютерний зір, штучний інтелект (ШІ), різноманітні датчики, конвеєри та лінії, з використанням роботи технічних технологій, тощо. За допомогою всіх цих речей можна створити надійну систему автоматизації складів та приміщень.

Завдяки концепції Warehouse 4.0 підприємства зможуть зробити цифрову трансформацію своїх складських приміщень та перетворити їх на розумні склади, які будуть набагато ефективнішими в роботі, рентабельними у використанні та одночасно безпечними, досягаючи при цьому найвищого рівня якості в обслуговуванні.

Перетворення звичайного складського приміщення на розумне високотехнологічне складське приміщення зменшить витрати на складування, підвищить продуктивність роботи за допомогою автоматизованих технологій: зберігання, розпізнавання, транспортування, зменшить час реагування на зміни в переміщенні продукції, усуне помилки при комплектуванні та маркуванні продукції, та вирішення питань в організації інших складських операцій.

У зв'язку з цим актуальною науково-технічною задачею є розробка автоматизованих систем керування "розумний склад" з елементами IoT, що дозволить значно підвищити ефективність складських процесів.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Метою досліджень є підвищення ефективності складських процесів за рахунок застосування автоматизованої системи управління «розумний склад» з використанням сучасних технологій Інтернету речей.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні основні завдання:

1. Проведення аналізу особливостей функціонування складських систем.
2. Здійснення огляду сучасних технологій «розумний склад».
3. Розробка засобів модернізації складу за допомогою технології LoRaWAN.

*Об'єкт дослідження.* Автоматизовані системи керування складськими процесами.

*Предмет дослідження.* Методи та засоби побудови автоматизованих систем керування «розумний склад» з використанням сучасних технологій Інтернету речей.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

# 1 ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ СКЛАДСЬКИХ СИСТЕМ

Загальносвітовою генеральною тенденцією розвитку є тенденція посилення спеціалізації та зростання галузевої диференціації, обумовленої науково-технічним прогресом. Відкриття та винаходи забезпечують появу все нових та нових виробництв, що задовольняють найрізноманітніші потреби суспільства. У свою чергу, ці процеси зумовлюють зростання ролі логістично-складського забезпечення суспільного виробництва у широкому значенні.

Рационалізація розміщення виробництв та обладнання у конкретних підприємствах породжує тенденцію до скорочення складських запасів, скорочення відстані переміщення матеріалів, напівфабрикатів та готових товарів. Еталоном у цьому плані виступає досвід японського промислового менеджменту, що породило явище роботи з коліс. Проте це тенденція розвивається не конфліктуючи з тенденцією зростання абсолютного зростання складського фонду, розширення функцій сфери складського господарства. Адже матеріальні ресурси та готова продукція буквально з кожним роком дедалі менше перебувають у безпосередньо виробничій сфері та до більш ніж 90% часу задіяні у логістико-складських операціях.

Найважливішою специфічною особливістю складського господарства є його абсолютна універсальність поширення. Жодне підприємство, організація чи установа, в більшості випадків, неспроможні обійтися без складу. Будь-яке виробництво починається складом сировини, допоміжних матеріалів та закінчується складом готової продукції, напівфабрикатів. Ліквідація ручної праці у складському господарстві шляхом максимального впровадження механізації та автоматизації сприяє усуненню дефіциту трудових ресурсів у народному господарстві. Удосконалення складського господарства з його вантажно-розвантажувальними функціями підвищує ефективність роботи транспорту та є єдиним сьогодні потужним прискорювачем оборотності вагонів, суден, автомобілів, які понад чверть корисного часу простоюють під вантажними операціями або в їхньому очікуванні.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 1.1. Складське господарство

Складське господарство є одним з найважливіших елементів логістичної системи, яке займає місце на всіх етапах руху матеріального потоку від первинного джерела (сировини) до кінцевого споживача. Переміщення потоків у логістичному ланцюгу неможливе без концентрації у певних місцях необхідних запасів, для зберігання яких і призначено склади [1].

До основних причин використання складів в логістичній системі відносять такі:

- забезпечення безперебійного процесу виробництва за рахунок створення запасів матеріально-технічних ресурсів;
- координацію та вирівнювання попиту та пропозиції у постачанні та розподілі матеріально-технічних ресурсів за рахунок створення сезонних запасів;
- забезпечення максимального задоволення споживчого попиту матеріально-технічними ресурсами за рахунок формування асортименту продукції;
- зменшення логістичних витрат під час транспортування з допомогою організації перевезень матеріально-технічних ресурсів економічними партіями;
- створення умов підтримки активної стратегії збуту;
- збільшення географічного охоплення ринків збуту;
- забезпечення гнучкої політики обслуговування та ін [2].

Об'єктом вивчення логістики складування є товарно-матеріальні цінності у процесі їх складування, обробки та упакування.

Предметом вивчення логістики складування є комплекс операцій, реалізованих у процесі перетворення матеріального потоку у складському господарстві.

Метою вивчення логістики складування є організація ефективної системи складування на підприємстві.

Традиційно склади розглядалися як місця для довгострокового зберігання товарів, і основною їхньою функцією вважалося складування.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		13

### 1.1.1. Основні поняття логістики складування

Складування - логістична операція, що полягає в розміщенні запасів учасниками логістичного каналу та забезпечує їх збереження, раціональне (оптимальне) розміщення, облік, постійне оновлення та безпечні умови роботи.

Склад-складна технічна споруда (будівля, різноманітне обладнання та інші пристрої), призначене для прийому, розміщення, накопичення, зберігання, переробки та доставки продукції споживачам.

Логістичний процес на складі - упорядкована у часі послідовність логістичних операцій, інтегруючих функції постачання запасів, переробки вантажів та фізичного розподілу замовлення.

Комісіювання - комплекс операцій з підготовки, відбору та сортування товарів та їх доставки відповідно до вимог клієнта.

Вантажна одиниця - деяка кількість товарів, які завантажують, транспортують, вивантажують та зберігають як єдину масу і які своїми параметрами пов'язують технологічні процеси на різних ділянках логістичного ланцюга в єдине ціле.

Стандартизована вантажна одиниця - консолідовані промислові упаковки в єдиний стандартизований «пакет», який є зручним для транспортування та вантажопереробки.

Розподільчий центр - це місце зберігання товарів у період їх руху від місця виробництва до оптової чи роздрібної торгової точки.

Логістичний центр-місце зберігання ширшого асортименту продукції, який може перебувати на різних стадіях руху матеріального потоку від постачальника до кінцевого споживача.

Логістика складування - це напрям логістики (логістична підсистема), що займається питаннями розробки методів організації складського господарства, системи закупівель, прийому, розміщення, обліку товарів та управління запасами з метою мінімізації витрат, пов'язаних зі складуванням та переробкою товарів на складі [3] (рис 1.1).

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

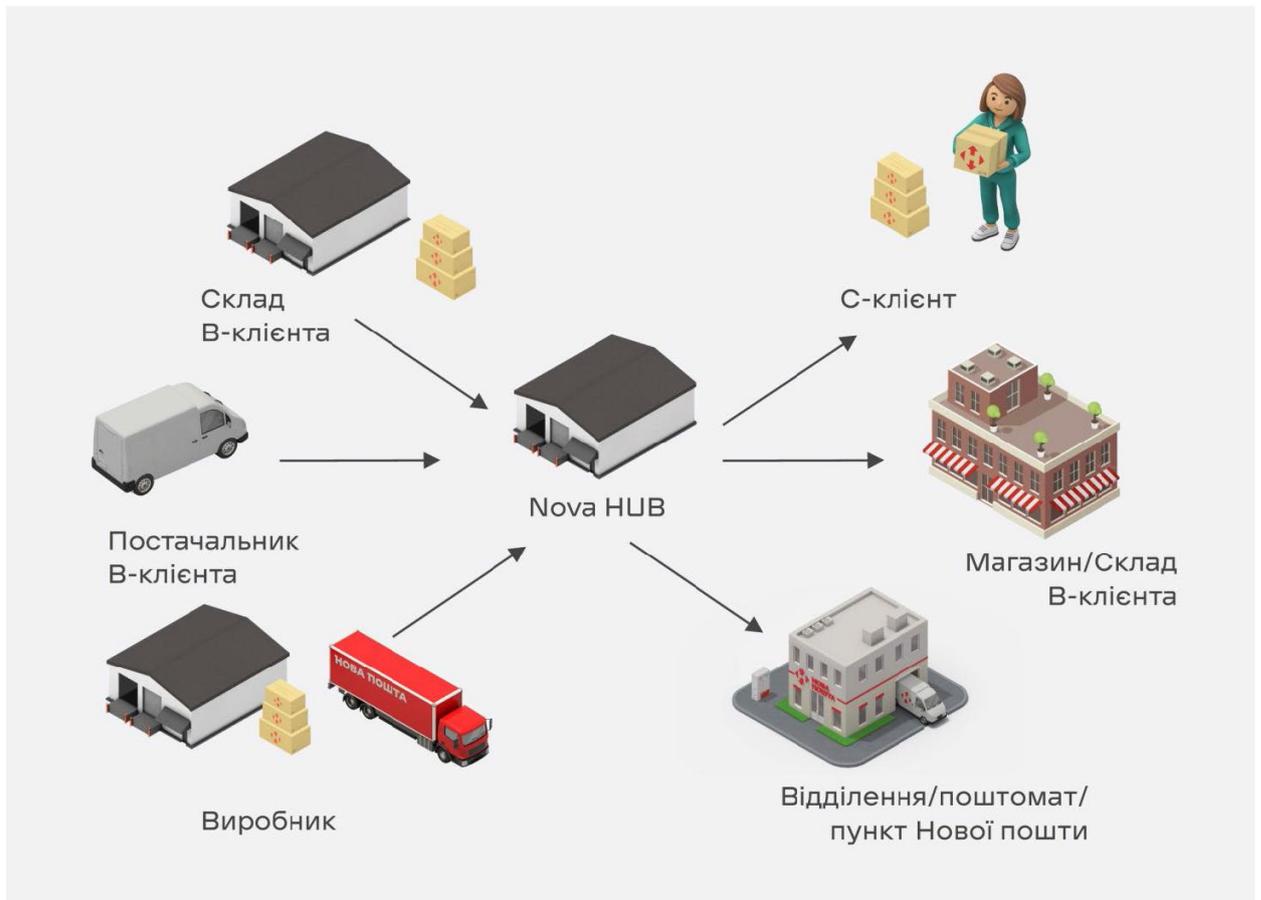


Рисунок 1.1 - Складська логістика Нової пошти

### 1.1.2. Основні логістичні функції складського господарства

В рамках логістичної системи основними логістичними функціями складського господарства є:

- 1) концентрація та зберігання запасів, що забезпечують здійснення безперервного виробництва або постачання при обмеженні, пов'язані із джерелами ресурсів та коливаннями споживчого попиту;
- 2) консолідація вантажів - об'єднання вантажів у більшу змішану партію відправки споживачам, територіально розташованим в одному районі збуту;
- 3) розподіл вантажів-сортування вантажу на дрібніші партії, призначені для кількох замовників;
- 4) розміщення товарно-матеріальних цінностей;
- 5) забезпечення кількісної та якісної безпеки запасів;
- 6) оновлення запасів;

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		15

7) управління асортиментним складом - це накопичення та формування асортименту продукції в очікуванні замовлень споживачів з подальшим їх сортуванням відповідно до замовлень;

8) комплектація партії вантажу-пересортування вантажів,отриманих від постачальників, та їх консолідація в партії, що надсилаються споживачам;

9) вирівнювання часової різниці між випуском продукції та її споживанням, тобто створення та утримання запасів [1].

На сьогоднішній день роль складів змінилася, зараз вони розглядаються швидше як проміжна ланка, через яку усі матеріальні запаси переміщається максимально швидко.

### 1.1.3. Сучасні склади

Сучасний склад являє собою складну технічну споруду, що складається з численних взаємозалежних елементів, що мають певну структуру та виконують ряд функцій щодо перетворення матеріальних потоків,а також накопичення, переробка та розподіл вантажів між споживачами [4].

Разом з тим, склад є лише елементом системи вищого рівня-логістичного ланцюга, який формує основні вимоги до складської системи, встановлює цілі та критерії її оптимального функціонування, диктує умови переробки вантажів.Тому склад має розглядатися не ізольовано, а як інтегрована складова логістичного ланцюга. Тільки такий підхід дозволить забезпечити успішне виконання основних функцій складу та досягти високого рівня рентабельності.

При цьому слід мати на увазі,що в кожному окремо взятому випадку, для конкретного складу параметри складської системи значно відрізняються один від одного та її елементи, і сама структура, заснована на взаємозв'язку цих елементів.

Склад використовується для зберігання запасів на всіх етапах логістичного процесу.

У логістиці складування розрізняють два типи запасів [2]:

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		16

- сировина, компоненти та запасні частини;

- готова продукція.

Приділяючи велику увагу іншим операціям (купівлі-продажу, виробництву, фінансовим розрахункам), слід пам'ятати, що мінімізації витрат по всьому шляху просування товару не можна досягти, якщо не організовано весь процес загалом.

Складські операції є однією з найважливіших складових у ціноутворенні товару. Недооцінка важливості цих операцій веде до підвищення витрат при обробці або транспортуванні товарів.

У логістичній системі розрізняють такі види (типи) складів [3]:

1. Склади сировини та матеріалів (вантажів, як правило, у рідкому або сипучому стані), що працюють з однорідним вантажем великих партій та щодо постійної оборотності, що дозволяє механізувати всі операції і дає можливість ставити питання про автоматизовану складську обробку вантажу.

2. Склади продукції виробничого призначення, що працюють з вантажами щодо однорідної номенклатури з високою масою, вимагають високого рівня механізації та автоматизації складських робіт. Постійна номенклатура з певною періодичністю та малими термінами зберігання дозволяє домогтися автоматизованої обробки вантажу або високого рівня механізації.

3. Склади розподільчої логістики, основне призначення яких є перетворення виробничого асортименту на торговельний та безперебійне забезпечення різних споживачів, включаючи роздрібну мережу, складають найбільш численну та різноманітну групу. Вони можуть належати як виробникам, так і оптовій торгівлі.

4. Склади оптової торгівлі товарами народного вжитку в основному забезпечують постачання роздрібною мережею та дрібних споживачів. Такі склади, через своє призначення, концентрують запаси із дуже широкою номенклатурою товару (від кількох сотень до кількох тисяч найменувань) та нерівномірною (сезонною) оборотністю товару, реалізованого різними партіями постачання.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

5.Склади роздрібної торгівлі ведуть постачання роздрібної торгової мережі. Вони об'єднані в єдину організаційну-господарську одиницю. Як і на оптових складах, тут зберігаються товари дуже широкого асортименту. Реалізація зі складу здійснюється дрібними партіями. Такі склади,як правило,не бувають великими,по-цьому на них найраціональніше вводити механізовану обробку вантажу при ручній комплектації замовлення,оскільки практично завжди має місце розформування вантажної одиниці, що надходить на склад.

6.Склади транспортних організацій, призначені для складування, пов'язаного з експедицією матеріальних цінностей. Сюди відносяться склади залізничних станцій,вантажні термінали автотранспорту,морських та річкових портів, термінали повітряного транспорту. За характером операцій вантажопереробки, що виконуються, вони відносяться до транзитно-перевалочних.

7.Контрактні склади функціонують у рамках партнерського спів-проголошення між користувачем та провайдером складських послуг.

8.Логістичні термінали можуть бути наступних основних типів:

– термінали на магістральному транспорті. Створюються на вантажних залізничних станціях,у морських та річкових портах,в аеропортах. Вони створюються в пунктах взаємодій різних видів транспорту та забезпечують передачу грузопотоків з одних видів транспорту на інші;

– термінали,що забезпечують постачання підприємств (ор-ганізацій) продукцією виробничо-технічного призначення. Сюди ж належать регіональні розподільчі центри;

– термінали в системах оптової та роздрібної торгівлі, на яких переробляються промислові та продовольчі товари народного споживання.

9. Розподільні (логістичні) центри або термінали – це складські комплекси,одержують товари від підприємств-виробників або підприємств оптової торгівлі (наприклад, що знаходяться в інших регіонах країни або навіть за кордоном) та розподіляючі їх (на основі вільної купівлі-продажу) дрібнішими партіями за заявками споживачів (промислових або торгових

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

підприємств дрібнооптової та роздрібною торгівлі) через власну чи чужу товаропровідну мережу. Важливим завданням розподільчих центрів є організація ефективних вхідних та вихідних вантажопотоків товарів на основі принципів ділової логістики, тому їх називають також логістичними терміналами.

Розподільний центр створюється з метою покращення постачання товарами населення та за своїм організаційно-правового статусу може бути самостійним комерційним підприємством, акціонерним або унітарним муніципальним торговим підприємством за участю адміністрації, де він розташований.

Зазвичай розподільні центри розташовані у районах споживання товарів, тобто на території цільового ринку. Це дозволяє складам встановити більш тісні та ефективні зв'язки зі споживачами-транспортні витрати з доставки їм товарів, а відповідно роздрібні ціни або збільшити прибуток розподільчого центру. При цьому важливо обґрунтовано встановити необхідну ємність складів, завжди доступну для придбання споживачами [4].

Для всіх видів перелічених складів незалежно від їх технічної оснащеності переробки товарів управління складськими операціями, облік руху товарно-матеріальних цінностей (ТМЦ) та обробка інформаційних потоків мають бути автоматизовані.

Склади класифікуються по відношенню до базисних функцій областям логістики та учасникам логістичної системи, виду продукції, формі власності, функціональному призначенню, рівнем спеціалізації, ступеня механізації складських операцій, виду складських будівель та споруд, можливості доставки та вивезення вантажу.

## 1.2. Документообіг складів

Встановлення єдиних правил роботи з документами у тій чи іншій сфері діяльності впливає із самої суті організації та управління. Оскільки, переважна

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

частина управлінських дій потребує їх фіксації, потрібна ефективна система документаційного забезпечення управління.

Рух документів з моменту складання на підприємстві або отримання від інших підприємств до здачі до архіву після їх обробки та систематизації називається документообігом [6]. Розклад термінів складання, подання та обробки первинних документів, реєстрації та угруповання облікових даних, проходження інших стадій облікового процесу прийнято називати графіком обліку.

Сучасне діловодство включає два процеси:

- забезпечення своєчасного та правильного створення документів – документування;
- організацію роботи з документами, тобто одержання, передачу, обробку, облік, реєстрацію, контроль, зберігання, систематизацію, підготовку документів для здачі в архів, знищення.

Розглянемо детальніше два процеси діловодства.

Документування – це процес створення та оформлення документа.

Інформаційно-документаційне забезпечення управління – ширший термін, має на увазі, крім традиційної роботи з документами, інформаційне обслуговування, створення, ведення та роботу з базами даних. Тому інформаційно-документаційне забезпечення управління будь-якої фірми, установи, організації, підприємства сприймається як найважливіша обслуговуюча функція управління [5].

Діловодство в організаціях має три основні системи:

При змішаній системі діловодства одні операції (прийом, відправка кореспонденції) здійснюються в одній із служб, а інші (реєстрація, оформлення та складання документів, формування справ) проводяться в інших функціональних підрозділах.

При децентралізованій системі всі види робіт із документами виробляються у структурних підрозділах організації, тобто діловодство кожен функціональний підрозділ веде самостійно.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

При централізованій системі всі операції, пов'язані з документаційним забезпеченням управління, зосереджуються в одному місці, в єдиній для всієї організації службі або в секретаря (прийом документів, їх реєстрація, контроль виконання, зберігання справ та ін.), що дозволяє значно підвищити якість їх обробки [1].

Без організації на сучасній основі документаційного забезпечення логістичних процесів реалізація цих цілей та завдань практично неможлива.

Традиційно виділяють такі види логістичної діяльності:

1. Логістику закупівель (закупівельну логістику).
2. Виробнича логістика.
3. Транспортну логістику.
4. Інформаційну логістику.
5. Митну логістику.

Кожна з яких підлягає документуванню спеціальними видами документів. Наприклад, нормативними документами, що регламентують порядок приймання, розміщення, зберігання та відпустки продукції є:

1. Інструкція про порядок приймання продукції виробничо-технічного призначення та товарів народного споживання за кількістю.
2. Інструкція про порядок приймання продукції виробничо-технічного призначення та товарів народного споживання за якістю.
3. Заовлення-заявка.
4. Договір постачання.
5. Журнал реєстрації замовлень покупців.
6. Картка незадоволеного попиту.
7. Рахунок-фактура.
8. Журнал передачі продукції зі складу на експедицію.
9. Журнал обліку продукції та рахунків-фактур, що приймаються на експедицію зі складів та відправляються покупцям.
10. Товарно-транспортна накладна.
11. Перепустка на в'їзд (виїзд) на (с) територію підприємства.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

12. Заявка на автотранспортні перевезення.
13. Журнал обліку використання автомобільних транспортних засобів.
14. Картка обліку інвентарної тари.
15. Книга реєстрації документів, зданих особою, яка здійснює централізовану доставку та завезення продукції.
16. Картка обліку виконання договорів постачання.
17. Довіреність.
18. Прибутковий ордер.
19. Акт про приймання матеріалів.
20. Лімітно-забірна карта.
21. Вимога-накладна.
22. Картка обліку матеріалів.
23. Реквізити Акту про нестачу продукції.
24. Реквізити Акту про неналежну якість продукції.
25. Товарний звіт.
26. Пакувальний (інвентарний) лист та ін [6].

Рахунки є додатками до договорів, укладених на постачання продукції замовникам. Вони містять номенклатуру продукції, яка планується до продажу, її кількість, вартість та строк поставки. Накладні від зовнішніх постачальників є підставою для оприбуткування продукції складі, т. е. основою до створення прибуткових накладних. Прибуткова накладна призначена для обліку продукції, що надходить на склад.

### 1.3. Цифровізація складського господарства

Сучасний етап суспільно-економічного розвитку немислимий без цифрових технологій, які з кожним роком набувають все більшого масштабу. Цифровізація проникає у підприємницьку чи державну сферу, а й стосується кожного у світі, тобто носить повсюдний характер.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Проте, як зазначають експерти, порівняно з цифровізацією телекомунікаційної, банківської сфери та засобів, логістична галузь є відстаючою в частині впровадження новітніх цифрових інноваційних технологій. Велика кількість компаній, як і раніше, віддають перевагу операціям, заснованим на ручній праці, що створює несприятливе середовище для впровадження сучасних цифрових технологій щодо вирішення проблем підвищення ефективності складського розподілу.

Проте, великі виробничі, торгові та логістичні компанії вже оцінили переваги цифровізації та застосування інноваційних технологій складського розподілу, які полягають у збільшенні швидкості вантажообігу, оптимізації логістичних процесів, економії матеріальних, тимчасових та трудових витрат.

Цифровізація складських бізнес-процесів стала реальністю, під яку необхідно підлаштовуватися, щоб розвиватися в умовах ринкового тиску та конкуренції, що зростає.

Цифрові технології продовжують еволюціонувати, що вносить у методи роботи складів кардинальні зміни. Щоб не відставати, потрібно стежити за новими трендами, які задаватимуть алгоритми для логістичних процесів у найближчі 5–10 років.

У «розумного» складу чимало переваг. При правильному застосуванні допоможе скоротити витрати, оптимізувати складські процеси без розширення штату співробітників. «Порозумнішати» складу дозволяють сучасні технології, що повністю або частково автоматизують складські процеси.

Створити зручний для керування складський простір, оперативно отримувати інформацію про стан будь-якого об'єкта та контролювати логістичні процеси допоможе інтернет речей. Саме на неї спираються будь-які технології. Щоб кожен партнер міг вчасно отримати товар, склад працює цілодобово. Робота має бути безперебійною, відвантаження - безпомилковою, простої логістики - просто неприпустимі.

Вирішити завдання допоможе гнучка інфраструктура. Працівники складу повинні отримувати завдання як реального часу. Для цього буде потрібна сис-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		23

тема складського обліку, мобільні термінали збору даних, а сполучною ланкою буде безперебійна мережа Wi-Fi. Вона повинна покривати всю територію складу, стійко працювати незважаючи на високі перегородки та стелажі, а керуватися з єдиного центру доступу.

На практиці виділяють два напрями інноваційних цифрових технологій у складській логістиці:

1. Інновації у системі комплектації замовлень «Товар до людини» (впровадження дронів, радіошатлів, робокарів, автоматизованих кранів – штабелерів з автоматичними конвеєрами та ін.).

2. Інновації в системі комплектації замовлень «Людина до товару» (технології Quick pick – швидкий відбір, Pick-by-Voice – голосовий відбір, Pick to light – відбір за світловим сигналом, RFID – радіочастотна ідентифікація, SMART-Окуляри - «збільшена реальність» та ін).

Дрони застосовуються на складах для сканування штрих-коду на верхніх стелажах, наприклад, під час проведення інвентаризації. Можливе застосування дронів - доставка вантажу із зон зберігання у зони комплектації та на відвантаження.

Роботи на складах можуть переміщати по навісних рейках вантаж, відбираючи певний товар. У даному контексті як практичний приклад часто наводиться досвід застосування роботизації складського господарства компанії «Amazon», яка є першопрохідником у цій галузі. Внаслідок застосування роботів на складах у компанії спостерігається скорочення часу пошуку, упаковки та транспортування товарів. Це не тільки дозволяє заощаджувати на витратах, збільшуючи рентабельність діяльності, але тягне за собою підвищення лояльності споживачів до бренду.

Кур'єрська служба DHL використовує роботів-колабораторів, які працюють в одному середовищі з людьми. Крім того, роботи працюють у сфері допомоги співробітникам з упаковки товарів, підвищуючи їхню продуктивність на 15-20%. Такі роботи розпізнають найпростішу мову жестів, також піддаються навчанню. Роботи використовуються також у вигляді автономних безпілотних

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

тягачів (робочарів), оснащених сенсорами, що транспортують великогабаритні вантажі на складах, відмінно орієнтуючись у приміщенні завдяки спеціальним сенсорам.

Результатом застосування безпілотних тягачів у реалізації простих функцій, що повторюються, стає підвищення продуктивності праці.

На сьогоднішній день роботизовані комплекси складських операцій широко поширені у світі, що зумовлено їхньою високою продуктивністю порівняно з людьми, а також нижчими витратами на їх використання порівняно із заробітною платою працівників. На сьогоднішній день існує понад 30 виробників робототехніки для логістичних процесів у світі.

Технологія голосового відбору VoicePicking є технологією автоматичної ідентифікації на складі, коли автоматизована система повідомляє працівнику необхідну інформацію про маршрут за стандартними завданнями на комплектацію. Існуючий зворотний зв'язок дозволяє відстежити процес в режимі онлайн. Процес комплектації внаслідок цього спрощується і прискорюється, показник продуктивності праці, як свідчить практика, збільшується на 10-35 %, збільшуючи пропускну здатність складу, а кількість скоєних помилок прагне нулю, підвищуючи якість складання вантажу.

Автоматизована система завантаження/вивантаження товарів використовується для підвищення ефективності роботи складу, дозволяючи скорочувати час роботи автотранспорту. Як показує практика, середній час завантаження/розвантаження автомобіля становить 30-60 хвилин, тоді як автоматизована система справляється із цим завданням за 8 хвилин.

Цифровізація складського розподілу полягає насамперед у впровадженні інноваційних систем складського зберігання та розподілу на основі віртуальної реальності або доповненої реальності.

Технологія доповненої реальності інтегрується в систему візуального відбору на складах з метою допомоги клієнту, і вже зайняла міцні позиції.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

З появою постійно зростаючого сектора e-commerce, потреби у швидшому реагуванні та необхідності керувати великою кількістю складських одиниць (SKU) з меншою кількістю помилок значно збільшилися.

Саме тому зараз стало цінуватися постійне масштабування та відповідність стандартам ефективного, «розумного» автоматизованого складу. Протягом 5–10 років прогнозований сплеск цифрової трансформації внесе фундаментальні зміни до методів роботи складів. Відповідно, впровадження революційної цифровізації складських приміщень досягне свого апогею.

Розглянемо деякі технології, які вже є на сучасних складах, але незабаром захоплять і всю галузь.

Блокчейн-технологія давно і успішно використовується в логістиці для більш швидкого та точного обліку всіх операцій. У 2018 році відразу кілька міжнародних логістичних компаній повідомили про впровадження корпоративного блокчейну для швидшого обміну інформацією по всьому світу та обліку переміщень вантажів.

Саме блокчейн допоможе зробити ланцюжок поставок максимально прозорим, що підвищить ефективність компаній та індустрії загалом.

Однак блокчейн досягає свого піку ефективності при взаємодії з ІОТ (інтернетом речей). ІОТ – це екосистема сенсорних пристроїв (наприклад, визначення місцезнаходження, вологості, температури), які пов'язані між собою цифровими мережами. Вони можуть збирати та передавати дані у реальному часі без втручання людини.

Разом ці технології забезпечують видимість у реальному часі та безперешкодну взаємодію між процесами по ланцюжку, що призводить до високорозвинутих, ефективних та дієвих моделей роботи.

Перехід від стаціонарних настільних робочих станцій до смартфонів та мобільних пристроїв – важливий крок до підвищення ефективності складських приміщень. Сьогодні цифрові пристрої та додатки суттєво скорочують час ходьби та дозволяють співробітникам складу працювати та отримувати доступ до даних на ходу як усередині, так і за межами складського приміщення.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Смартфони не лише звільняють складських службовців від рутини на робочому місці, а й додають нові можливості стандартним робочим станціям. Сучасні складські мобільні рішення можуть забезпечити відмінну операційну ефективність та обчислювальну потужність, необхідну складським операторам.

Переваги таких функцій, як обробка зображень, відстеження, інтеграція з хмарою, відеоконференцзв'язок, розпізнавання голосу/особи та навіть особисті голосові помічники відкривають нові горизонти для перетворень у галузі складських операцій.

Хоча вони ще не набули широкого поширення, AGV (автоматичні керовані візки або роботкари) як потенційна заміна навантажувача вилки обіцяють зробити революцію в способах транспортування вантажів всередині і за межами складу.

Такі гіганти, як Amazon, максимально використовують цю технологію і суттєво скорочують витрати, час та людські зусилля, використовуючи близько 15000 роботкарів.

Дрон, оснащений датчиками, камерами, сканерами штрих-коду або технологією RFID, може дістатися навіть у важкодоступні куточки складу. Роботкари можуть виконувати різні перевірки та керувати інвентаризацією менш ніж за третину часу, необхідного для виконання того ж завдання вручну.

AGV також можуть переміщувати товари на складі, прискорюючи процес комплектування та сприяючи операціям з управління запасами.

Дедалі більше менеджерів складів нині прагнуть інтерпретувати тенденції даних як прогнозування запасів, а й у оптимізації ємності складу та використання активів.

Саме тут на допомогу приходить прогнозна аналітика. Вона використовує статистичні методи, такі як прогнозне моделювання, big data та інтелектуальний аналіз даних для точного прогнозування.

Прогнозні аналітики, разом із штучним інтелектом (ШІ), можуть бути дуже ефективними для підготовки рекомендацій щодо оптимізації рівнів запасів,

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поповнення запасів та підвищення операційної ефективності, а також оптимізації складу в цілому.

Автоматизація складів – це реальність сьогодення, і вона, безперечно, є частиною цифрової трансформації майбутнього. Автоматизація та робототехніка можуть спростити виконання ручних завдань із набагато меншими сукупними витратами та підвищеною ефективністю.

Очікується, що робототехніка стане ще більш наближеною до людського розуму в аспектах пам'яті, сприйняття, навичок та схильності до навчання.

Автоматизація – це незамінний аспект, без якого склади навряд чи виживуть у майбутньому.

Цифровізація складів - це реальність, з якою складська галузь має змиритися, щоб процвітати в умовах зростаючої конкуренції та ринкового тиску. «Розумний склад», який на даний момент виглядає лише як «руйнівна сила», швидше за все стане нормою в найближчі десять років.

Прогнозовано, що інтелектуальним центром складських операцій стане WMS.

Warehouse Management Systems (скорочено WMS) - це система управління розумним складом, яка за рахунок підключення різних технологічних блоків може оптимізувати приймання, відвантаження, розміщення, зберігання та інші складські процедури.

Контролювати переміщення вантажів, вантажної техніки, роботу персоналу можна в режимі реального часу, що дозволяє оперативно ставити завдання співробітникам та коригувати складський процес - від приймання до доставки вантажу клієнтам.

За допомогою голосового керування та підбору зображення WMS може прискорити процес складання та пакування, звільнивши очі та руки працівника. Система автоматично згенерує голосову команду, співробітнику залишиться лише підтвердити виконання за допомогою мікрофона. А при відборі товарів на відвантаження подасть докладний опис асортименту та його точне місцезнаходження на спеціальний візуальний інтерфейс.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Вирішити проблему з пересортицею, надлишками та нестачею товару можна за допомогою системи маркування радіомітками RFID. Такий «маячок» кріпиться на кожен одиницю товару, що надходить на склад. Продукція автоматично приймається та відвантажується, будь-яку товарну позицію легко знайти, процес інвентаризації стає набагато простішим. А крім того, «забудкувати» співробітники не зможуть забрати зі складу «зайвий» товар. Система все відстежить.

За прогнозами експертів, до 2025 року на 50 тисячах складів у світі прогнозується встановлення понад 4 млн. роботів з метою здійснення різних логістичних операцій, у тому числі за складським розподілом. Цей ринок оцінюється аналітиками в 4 млрд. дол.

Досліджуючи різні варіанти цифровізації складського розподілу, слід зазначити, що використання вищерозглянутих технологій супроводжується великими витратами, які не може дозволити собі невелика компанія. Безсумнівним результатом цифровізації складського розподілу є підвищення ефективності роботи компанії, проте він має бути виправданим і реалізованим, виходячи з фінансових можливостей компанії.

Таким чином, на сьогоднішній день кожна компанія, що має складське господарство, що ставить перед собою завдання підвищення ефективності роботи, повинна застосовувати інноваційні логістичні технології з огляду на їхню різноманітність. У зв'язку з тим, що впровадження цифрових технологій потребує значних витрат, рішення щодо їх застосування залежить від масштабу діяльності компанії та її фінансових ресурсів.

#### 1.4. Розумний склад

Розумний склад – це автоматизоване приміщення всі процеси в якому виконуються без участі людини, а бухгалтерський облік ведеться не в паперовому, а в електронному форматі.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						29
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Індустрія 4.0 пропонує інтеграцію робототехніки, кіберфізичних систем, програмних служб і людей-учасників із такими функціями:

Інтероперабельність – машини, пристрої Інтернету речей (IoT) і люди повинні бути зв'язані між собою та координувати один одного.

Прозорість інформації – фізичні системи, удосконалені даними датчиків для створення інформаційних систем із додатковою цінністю.

Технічна допомога – передбачає використання інтелектуальних пристроїв для сприяння прийняттю обґрунтованих рішень. Роботизована автоматизація може виконувати повторювані, небезпечні або точні завдання.

Децентралізовані рішення – здатність таких систем приймати автономні рішення; лише в критичних випадках втручання людини [7].

#### 1.4.1. Технологія cyber-physical system

Для перетворення звичайних складів на розумні складські приміщення використовують Cyber-Physical System (CPS) (рис. 1.2).

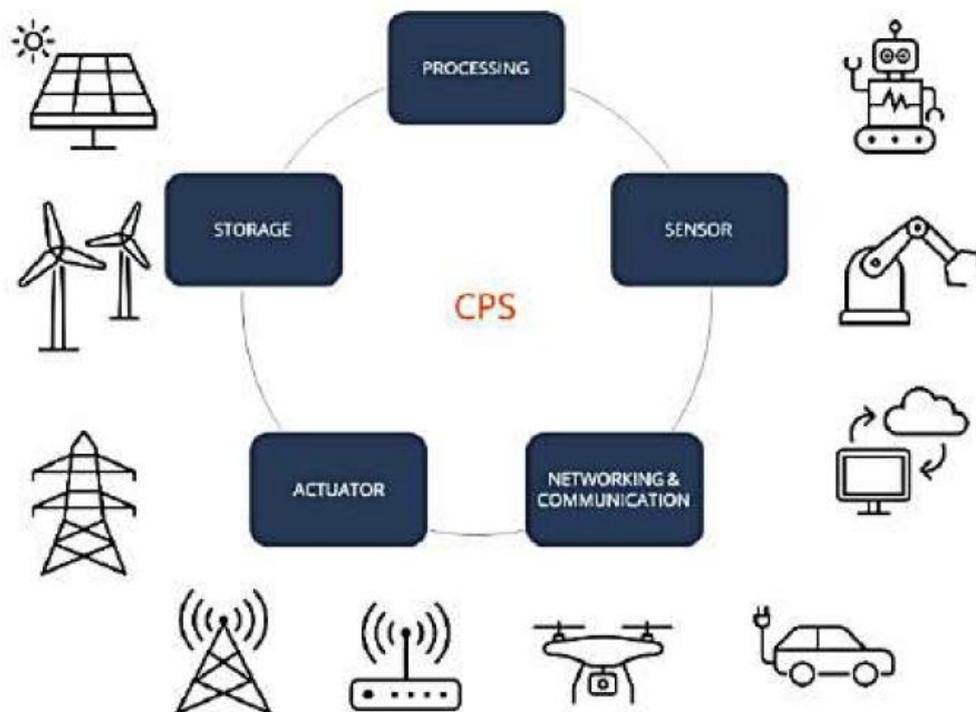


Рисунок 1.2 - Приклад Cyber-Physical System

CPS надає можливість створювати віртуальні копії процесів, які відбуваються на виробництві з можливістю контролювати, приймати рішення в режимі реального часу на основі отриманих даних про статус виконання того чи іншого процесу. CPS може об'єднати віртуальний і фізичний світи, для створення мережевої системи світу, де розумні об'єкти зможуть спілкуватися та взаємодіяти один з одним.

При створенні розумного приміщення на основі CPS в комплексі також використовуються різноманітні пристрої для покращення роботи, контролю процесів та передачі даних. Такими пристроями можуть виступати: NFC; різноманітні пристрої CPS, такі як Wi-Fi AP (точки доступу), Bluetooth, датчики та камери, тощо. Таким чином вплив людини на процес мінімальний, адже всю роботу виконують запрограмовані роботи та машини. Людині ж лише потрібно надсилати необхідні інструкції та за потреби контролювати процес [8].

В процесі створення розумного приміщення розглядають чотири основні теми:

1. Ефективне планування комунікацій (Efficient Communication Scheduling).

Полягає в утворенні щільної локальної мережі (LAN), за допомогою використання та поєднання між собою різноманітних за функцією та призначеннями пристроїв CPS. У створеній локальній мережі виконується збір даних, необхідних для правильної організації певного процесу. При цьому обмежена смуга пропускання бездротового зв'язку може не підтримувати збір даних у реальному часі з великої кількості пристроїв CPS.

2. Точна та надійна локалізація (Accurate and Robust Localization).

Проводиться для основних операцій на складі, зокрема таких як інвентаризація для отримання та відстеження розміщення продукції чи будь-яких інших об'єктів. Підхід до локалізації має бути точним, надійним, швидким, і широко охоплення.

3. Співпраця кількох роботів (Multi-Robot Collaboration).

Роботи складаються з різних датчиків, точних приводів і потужних процесорів. Ці компоненти дають змогу роботам приймати розумні рішення, а також

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

поводитися обережно та точно. Роботів використовують для покращення виконання складних завдань, які потребують багато часу для виконання їх людиною, тих завдань що можуть нашкодити людині та тих, які є технічно важкими у виконанні. Розумні роботи забезпечують великий потенціал для розумного складу, адже можуть виконувати безліч різноманітних завдань, наприклад: складських операцій, перенесення та переміщення, складання, маркування, сортування, тощо.

#### 4. Розпізнавання людської діяльності (Human Activity Recognition.).

Людина в системі розумних складських приміщень відіграє важливу роль в управлінні різного роду та виду діяльності об'єктами, товарами, пристроями, тощо. Для організації спільної одночасної роботи людини з комп'ютером (роботами) необхідно також розпізнавати діяльність людини.

##### 1.4.2. Розпізнавання об'єктів

Для розпізнавання об'єктів на складських приміщеннях за допомогою відео та зберігання даних про певні об'єкти в Інтернеті впроваджують Інтернету речей (IoT).

До існуючих засобів ідентифікації об'єктів відносяться:

- комп'ютерний зір – машини та технології, які можуть проводити, виявляти та визначати об'єкти;
- QR та штрих коди;
- мітки NFC та RFID;
- магнітні картки.

Така реалізація IoT базується на алгоритмі розпізнавання об'єктів, що використовує бібліотеку OpenCV для Python і Raspberry PI 3 для зберігання даних у веб-програмі [9].

На багатьох складах виникає потреба в сортуванні великої кількості товарів. Для реалізації сортування найчастіше використовують конвеєрні лінії оснащені додатково датчиками. Сортування у промисловості – це повторюваний виробничий процес, який зазвичай виконується працівниками вручну. Че-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		32

рез сортування вручну виникають неточності на основі людського фактору. Для того, щоб отримати якомога точний результат використовують спеціальні датчики, наприклад за допомогою використання датчика кольору TCS3200 (рис. 1.3), який може розрізняти різні кольорові об'єкти при цьому ефективно та швидко класифікувати їх.



Рисунок 1.3 – Приклад датчика кольору

Транспортування об'єктів організовується за допомогою використання конвеєрної стрічки. Об'єкти можна сортувати за допомогою різноманітних методів, включаючи сортування за масштабом (висота, довжина тощо), кольором, вагою, комп'ютерним зором (обробка зображень), вмістом об'єкта тощо. [10,11]

Лінії конвеєрного типу є дуже розповсюдженим пристроєм автоматизації для пересування об'єктів на підприємствах. Конвеєри використовуються майже на кожному підприємстві та розподіляються на:

- роликові – поверхня цього типу конвеєрної стрічки складається з роликів, які обрані відповідно до виробничих вимог, такими як вага або необхідна швидкість руху продуктів, які будуть переміщатися уздовж стрічки;

- пласкі – використовує серію привідних шківів для переміщення безперервного плоского ремня, який може складатися з натурального матеріалу або синтетичної тканини (наприклад, поліестер, нейлон);

- шевронні – стрічкові конвеєри з клином мають в своєму виконанні вертикальні клини або бар'єри. Ці шипи можуть забезпечувати безпеку сипучих матеріалів під час ухилів і ухилів, забезпечуючи рівномірне відстань між предметами і багато іншого.

Конвеєри вирішують завдання автоматизації й оптимізації процесу виробництва і є невід'ємною частиною різних технологічних ліній. [6-15] Наявність автоматичної системи керування режимами роботи стрічкового конвеєра розширює можливості підвищення показників надійності, тому що застосування регульованого приводу зі змінною швидкістю транспортування, можливість регулювати запуск конвеєра, натяг стрічки, розподіляти тягове зусилля між барабанами, дозволяє впливати на термін служби окремих елементів і всього конвеєра в цілому. Створюючи модульну систему з стрічкових конвеєрів можна створити лінію з функцією сортування об'єктів.

Керування конвеєрними стрічками вже є автоматизованим та відбувається за допомогою панелей керування чи персонального комп'ютерів в більш сучасних системах.

Для розпізнавання та сортування на складі можна також використовувати коди швидкого реагування (QR).

Для організації роботи на складі все найчастіше почали використовувати роботів. Сучасних роботів, яких використовують для автоматизації складських процесів, поділяють на дві групи: промислові та колаборативні. Промислові роботи – це програмовані машини, обладнані датчиками обліку даних у режимі реального часу, що замінюють ручну працю при складних повторюваних діях. На складах цей тип представлений підіймальними механізмами та автоматичними транспортерами. Колаборативні роботи (коботи) представляють собою об'єднання праці людини і машини. Такі роботи зазвичай можуть працювати автономно чи під керівництвом людини. У складській сфері коботи представлені маніпуляторами для переміщення вантажів і пакувальними машинами.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 1.5. Сучасні складські комплекси

Більшість сучасних складських комплексів використовують системи управління складом WMS, які отримують дані від баркодів та RFID-міток на упаковці товарів. На більш високому рівні функціонують системи контролю складу WCS, які моніторять не лише товари, але й складське обладнання за допомогою сенсорів. Дані цих систем використовуються для оптимізації складських процесів. Деякі склади також використовують системи автоматизації будівель BAS, які керують освітленням, кондиціонуванням, вентиляцією, а також виконують функції безпеки та контролю доступу.

Сучасні системи WMS, WCS і BAS обладнані інтерактивними інтерфейсами – дашбордами, що дає можливість складським працівникам ефективно управляти складним господарством. Технології Інтернету речей дозволяють об'єднати дані цих систем, забезпечити їхню крос-взаємодію для вирішення більш складних завдань. Ефективною при цьому є технології "розумний дім", які включають в себе системне обладнання, контролери, виконавчі та керовані пристрої (рис. 1.4).

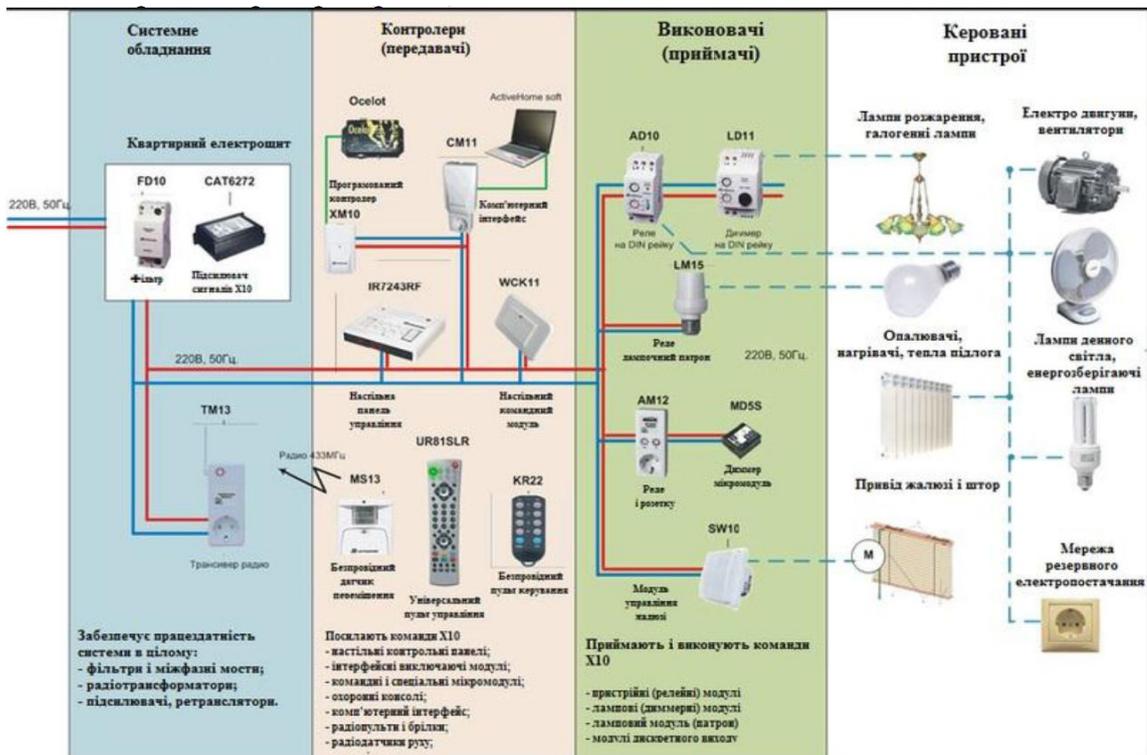


Рисунок 1.4 – Схема технології «розумний дім» відносно складських споруд

										Арк.
										35
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат						

Якщо мова йде про зберігання продукції, що швидко псується, що вимагає спеціального температурного режиму, то система BAS може відстежувати коливання температури на ділянці складу через сенсори. І, якщо вона досягла критичних значень, подавати сигнал у систему WMS, а та у свою чергу – інформувати складських працівників про ситуацію, що склалася.

Інтернет речей в логістиці може приймати різні форми, поєднуючи в собі різні технології, починаючи від пристроїв, що безпосередньо підключаються (датчики, сенсори, мітки, роботи) і закінчуючи способами встановлення між ними інтерконекту. Зв'язок пристроїв та систем забезпечують бездротові технології передачі даних Bluetooth , RFID, Zigbee та WiFi , а також мобільні 3G та LTE мережі, що об'єднують усі пристрої в єдине ціле.

Для логістичної системи, де мільйони об'єктів щодня маркуються та переміщуються на різні відстані, просто створена система Інтернету речей. IoT-пристрою використовуються на складах в першу чергу для того, щоб отримати інформацію про матеріальні активи на всьому протязі ланцюгів поставок для того, щоб потім обробляти і аналізувати отримані дані. Це дозволяє логістичним провайдерам, а також торговим і виробничим підприємствам, фірмам, компаніям, що виконують частину логістичних функцій самостійно, задіяти IT-інструменти для підвищення операційної ефективності, створюючи нові автоматизовані сервіси як для внутрішніх, так і для зовнішніх користувачів.

Сьогодні вже недостатньо просто маркувати товари на складі, щоб він почав працювати як годинник. Є ще безліч "тіньових" активів, починаючи від самих полиць і до навантажувачів, які можна змусити працювати ефективно і як єдине ціле за допомогою сучасних технологій.

Першою з областей застосування технологій IoT на складах є "розумна" інвентаризація (smart inventory management), а дані сенсорів і датчиків передаються в WMS-систему, дозволяючи в інтерактивному режимі стежити за тим, що зберігається на складі і в якій кількості, а також виправляти помилки зберігання.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Другою областю застосування являє контроль над цілісністю товарів та інших матеріальних активів. Вона дуже широка. Вище вже наводився такий приклад щодо зберігання продукції зі спеціальними умовами. Також за допомогою розташованих на складі та в зоні відвантаження камер можна виявити порушення цілісності упаковки, продукції.

Третя область застосування – це підвищення якості обслуговування клієнтів. Датчики в зоні відвантаження можуть забезпечити додатковий контроль за тим, що конкретний вантаж відправляється потрібному клієнту: це захищає від помилок та пересортування. Можна організовувати різні послуги для значних клієнтів з моніторингу належних їм і які зберігаються товари у режимі онлайн, що сприятливо позначиться з їхньої лояльності. Клієнти, які можуть відстежити свій вантаж по всьому ланцюгу, відчувають набагато більшу довіру до логістичного оператора.

Визначено, що IoT-рішення дозволяють підвищити ефективність роботи складського обладнання, починаючи від навантажувачів і закінчуючи стрічками транспортерів: вони можуть бути оснащені датчиками, щоб визначити їхню оптимальну пропускну здатність і швидкісний режим. Подібні рішення пропонує, наприклад, компанія Swisslog, одне з них називається SmartLIFT. У ньому об'єднані сенсори на вантажопідійомниках, баркоди на полицях, дані яких ідентифікуються за допомогою локальної системи GPS і передаються до WMS системи: завдяки цьому оператори навантажувачів отримують завдання з актуальним місцезнаходженням. Це рішення впроваджено на складі Bobcat і завдяки цьому збільшується обробка вантажів на палетах на 30% на годину без помилок.

Інтернет речей дозволяє ретельніше контролювати роботу співробітників складу та їхню безпеку. За даними асоціації промислового транспорту ІТА США, тільки в США використовується понад 855 тис. складських вилкових навантажувачів, з якими пов'язано понад 100 тис. нещасних випадків на рік: для цих випадків здійснювалось понад 94 тис. страхових виплат. Більш ніж 80% таких інцидентів залучено навколишній персонал.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						37
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Звичайно, використання сенсорів, мікропроцесорів та бездротових з'єднань на складах та на транспорті – це не новина, а маркування товарів за допомогою штрих-кодів та RFID-міток застосовується вже багато років. Можна сказати, що логістичні компанії стали одними із піонерів промислового Інтернету речей, поставивши собі на службу широкий спектр обладнання від ручних сканерів упаковки до сенсорів, що моніторять рух техніки. Але все це лише верхівка айсберга в порівнянні з тим, яким є потенціал IoT на сучасних складах (рис. 1.5).

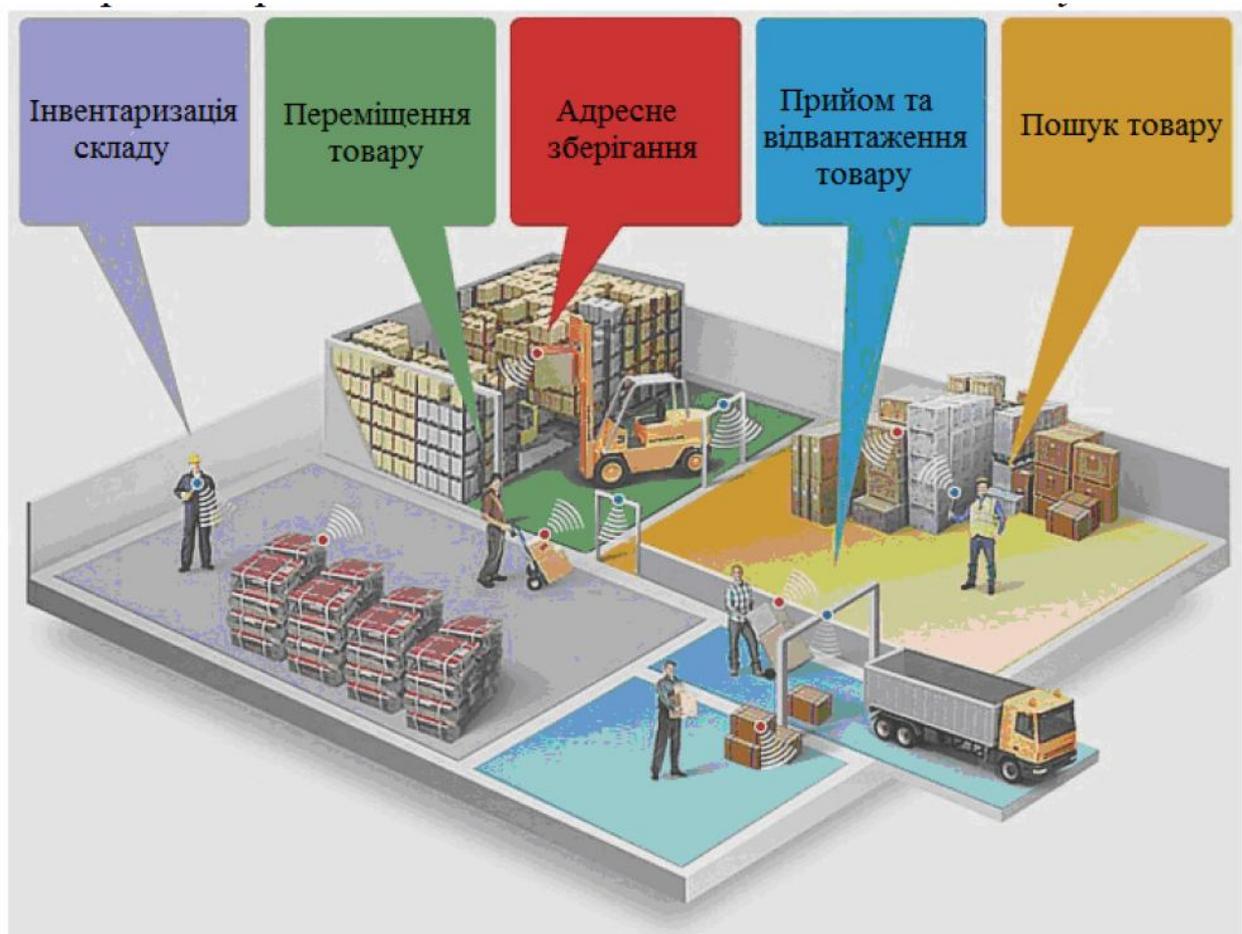


Рисунок 1.5 – Схема роботи технології "розумний склад"

В основі будь-якої складної технології завжди лежить більш проста. У випадку з системою "розумний склад" це технологія RFID (Radio Frequency IDentification) – радіочастотна автоматична ідентифікація, з допомогою якої зчитуються дані з транспондерів.

У ході технологічного розвитку RFID з'явилися нові можливості. Тепер за допомогою міток можливо передати як мінімум необхідної та будь-який обсяг додаткової інформації. У випадку з "розумними складами" це може бути термін придатності продукту, дані про виробника та виробництва, колір, маса, умови зберігання та багато іншого.

Крім RFID, велика роль відводиться технологіям WMS (Warehouse Management System) – спеціальній інформаційній системі, що автоматизує процеси управління роботи складу. До основних функцій WMS можна віднести управління трудовими ресурсами та основними складськими операціями: прийом, комплектація, відправка товару складування; управління замовленнями чи групами замовлень; поповнення складу; підбір варіантів упаковки товару залежно від розміру та умов транспортування; автоматизоване ведення документів; створення завдань для персоналу та управління людськими ресурсами.

Інновація "розумний склад" пропонує такі технологічні рішення:

1. Автоматизований складський облік та документообіг, але всі інші процедури виконуються вручну.

2. Автоматизація обліку та документообігу за допомогою датчиків та інтеграцій з обліковими системами – на складі використовуються радіотермінали, дані по приходам та замовленням виходять безпосередньо з облікових систем клієнта через інтеграцію.

3. Системи з бізнес-процесами, що прописуються: всі правила налаштовуються вручну людиною один раз, а потім вже застосовуються системою для оптимізації бізнес-процесів. Також володіють великим набором даних, що зберігаються. Це дає нові можливості для аналітики.

4. «Розумний склад» з «розумними» бізнес-процесами: система сама може розуміти, як оптимальніше налаштувати бізнес-процес, і допомагає користувачеві, вказуючи на "вузькі місця".

5. «Розумний склад» з підтримкою нових технологій організації «бізнес-процесів».

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						39
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Відповідно, година такої праці буде явно нижчою за собівартістю, ніж година роботи складу за "умовною класифікацією". Крім того, законодавство постійно і швидко змінюється, пред'являються нові вимоги до зберігання, маркування продукції та товарної документації, даних, що зберігаються. Стандартизація бізнес-процесів у такому кліматі вкрай скрутна, що ускладнює розвиток складів.

Smart warehouse (розумний склад) являє собою організаційно-технічний продукт. З одного боку, в ньому необхідно вибудувати внутрішню інфраструктуру у вигляді стелажів, боксів та майданчиків для зберігання великих товарів, з іншого – забезпечити оптимальні ланцюжки "розвантаження – доставку до "полиці" – обробку заявки – відвантаження". Чим швидше здійснюються ці операції, тим ефективніша дистрибуція, і тим менше обігових коштів необхідно підприємцю, який працює з цим логоцентром .

Очевидно, на чільне місце Smart warehouse ставиться програмне забезпечення (ПЗ), яке пов'язує у собі воедино не тільки ядро, що керувало безпосередньо складом, а й потенційних замовників та виробників. Коли закінчується певний товар, то згідно з "історією попиту" про це повідомляються клієнти, які регулярно купують цей продукт. Вони у відповідь інформують адміністратора Smart warehouse про свої плани, а той автоматично готує заявку постачальникам.

Далі ПЗ заздалегідь вибирає майданчики розміщення зазначеного товару. В основу береться затребуваність, умови зберігання та оптимальні маршрути доставки до пунктів відвантаження. Якщо товар повинен зберігатися за мінусової температури, його направляють у спеціальні холодильники.

Попит на ті чи інші групи товарів найчастіше має певну логіку. Наприклад, у передсвяткові дні зростає інтерес до цукерок і чим частіше їх замовляють, тим ближче до пунктів обробки товарів переміщуються стелажі із "запасами" – у так звану гарячу зону. Як тільки свята проходять, одразу ж цукерки переміщуються углиб зали у зв'язку з падінням запитів – уже у холодну зону.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Навіть якщо немає спеціальної техніки, і доставкою до пунктів обробки займаються складські працівники, то вони витрачають набагато менше часу. У найпростішому випадку, коли стелажі стаціонарні, контейнери з найбільш затребуваним товаром "на завтра" за вказівкою спеціальної програми переміщують автотранспортом після закінчення робочого дня.

Також має бути виділене місце для браку – про це теж має потурбуватися Smart warehouse . Це дозволяє проводити паралельно обробку товарів і найбільш оптимальними маршрутами; наповнюваність полиць у результаті наближається до 80-95% (у звичайних дилерських складах замовлення обслуговуються послідовно, а наповнюваність полиць із найбільш затребуваними товарами не перевищує 50%). При цьому енергоефективність як мінімум вдвічі вища, ніж у стандартних центрах.

Організувати роботу з перетворення звичайного складу на smart warehouse під силу невеликій групі досвідчених фахівців, – пояснює бізнес-консультант, – в той же час практика показує, що гривня, вкладена у "розумну логістику", приносить складу 1,5 гривні додаткового прибутку та економити близько 50% оборотних коштів бізнесменам, які обслуговуються у інноваційному центрі зберігання. А це вже логістична функція, що підвищує конкурентну здатність.

Найголовніше, слід усвідомити, що перехід до концепції "розумного" складу в кожному конкретному випадку потребує дослідження статистики переміщення товарів протягом щонайменше одного кварталу. Вважається, що цього часу цілком достатньо, щоб скласти загальне уявлення про особливості процесу клієнта. Знадобиться і спеціальне обладнання, у тому числі, і для автоматизації обліку на основі технологій штрих-кодування, мобільні промислові сканери та, звичайно, промисловий Wi-Fi для обміну даними між терміналом збору даних та співробітниками, які працюють на території комплексу.

Таким чином, "розумними" складами стають логокомплекси, в яких замовлення обробляються за алгоритмами інтелектуального програмного забезпечення та із застосуванням спеціалізованої робототехніки, терміналів збору даних, а також RFID-міток та штрих-кодів . При цьому зміна роботи товарних по-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						41
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

токів здійснюється автоматично відповідно до пріоритетів адміністратора складу, тоді як зараз ця робота носить рутинний характер "традиційного комірника".

Зрозуміло, оцінити вартість такого проекту складно навіть приблизно, оскільки склади, що працюють, мають свою специфіку. Але за американськими мірками це має бути не менше 2-4% виручки логоцентру за рік. У такому разі досягається прибуток у межах 25% від замовлення.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## 2 ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНТЕРНЕТУ РЕЧЕЙ (IoT)

Сама концепція IoT була сформована в 1999 році як результат розвитку засобів радіочастотної ідентифікації (RFID) (для взаємодії пристроїв між собою і оточенням). Однак, протягом першого десятка років інтернет речей залишався долею в значній мірі ентузіастів і вузьких фахівців. Значним поштовхом для розвитку інтернету речей послужив розвиток технологій, а також інтерес до даної тематики з боку більшості світових концернів. Що по суті є взаємодоповнюючими і взаємостимулюючими факторами.

Згідно з тлумаченням фахівців з компанії Cisco Business Solutions Group (CBSG), IoT - це стан Інтернету починаючи з моменту часу, коли кількість «речей або об'єктів», підключених до Всесвітньої мережі, перевищує населення планети.

Згідно IDC, «Інтернет речей» (IoT) - це провідна або бездротова мережа, що з'єднує пристрої, які мають автономне забезпечення, керуються інтелектуальними системами, забезпеченими високорівневою операційною системою, автономно підключені до Інтернету, можуть виконувати власні або хмарні додатки і аналізувати зібрані дані. Крім того, вони мають здатність захоплювати, аналізувати і передавати (приймати дані) від інших систем.

Переваги IoT, як і бездротових сенсорних мереж:

- здатність до самовідновлення та самоорганізації;
- здатність передавати інформацію на значні відстані при малій потужності передатчиків(шляхом ретрансляції);
- низька вартість вузлів та їх маленькі розміри;
- простота встановлення, відсутність необхідності в прокладці кабелю (завдяки бездротовій технології живлення від батареї);
- можливість встановлення таких мереж на вже існуючих та об'єктах, що введені в експлуатацію без проведення додаткових робіт;
- низька вартість технічного обслуговування.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		43

Концепція інтернету речей заснована на так званих мультиагентних технологіях, які дозволяють співвідносити реальний світ з віртуальним. Для кожного учасника фізичного світу (машини або людини) встановлюється програмний агент - об'єкт з віртуального світу з задатками, який відповідає за інтереси реального учасника в інтернет-реальності. Віртуальний світ копіює наше життя, але філософія набагато простіше: учасники (далі - агенти) слідуєть заздалегідь встановленим правилам. Агенти приймають дані з зовнішнього світу, обробляють їх і планують дії, які передають в реальний світ.

## 2.1 Базова архітектура

Оскільки IoT являє собою сенсорну мережу розглянемо загальну архітектуру сенсорної мережі.

Стандартизацією сенсорних мереж займається багато міжнародних організацій, серед яких ISO, IEC, ITU-T, IEEE та інші. Так дослідницька група по сенсорних мережах SGSN (Study Group on Sensor Networks) об'єднаного технічного комітету ISO/IEC JTC 1 (Joint Technical Committee 1) визначила базову архітектуру сенсорної мережі та її основні інтерфейси.

Сенсорний вузол складається з (рис. 2.1):

- апаратного забезпечення;
- базового програмного забезпечення;
- прикладного програмного забезпечення.

В складі архітектури визначені чотири базових інтерфейси:

1. Інтерфейс між базовим і прикладним програмними забезпеченнями сенсорного вузла.
2. Інтерфейс між базовим програмним і апаратним забезпеченнями сенсорного вузла (сенсори, актуатори та/або комунікаційний вузол і так далі).
3. Бездротові або дротові інтерфейси між вузлами мережі.
4. Інтерфейс між сенсорною мережею та зовнішнім середовищем (провайдери послуг, користувачі).

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						44
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

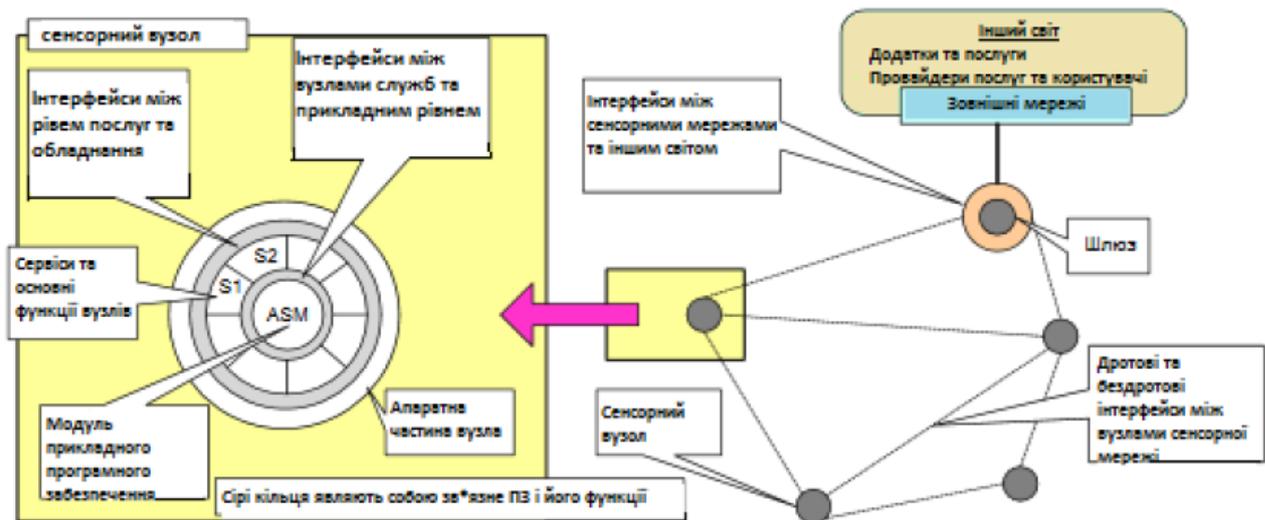


Рисунок 2.1 – Основні елементи та інтерфейси IoT

Дані мережі складаються з мініатюрних обчислювальних пристроїв з датчиками, актуаторами і трансиверами (приймопередавачами), що працюють в заданому діапазоні радіочастот. Такий вузол БСМ називають сенсорним вузлом або просто сенсором. Сенсорний вузол являє собою плату розміром зазвичай не більше одного кубічного дюйма. На платі розміщуються процесор, пам'ять - флеш і оперативна, цифро-аналогові і аналого-цифрові перетворювачі, радіочастотний приймач, джерело живлення і різні датчики, актуатори. Таким чином, апаратна частина вузла бездротової мережі може бути розділена на наступні чотири підсистеми (рис. 2.2):

- 1) комунікаційна підсистема - забезпечує бездротовий зв'язок з іншими вузлами в сенсорній мережі і містить радіо приймач;
- 2) обчислювальна підсистема - забезпечує обробку даних і функціональність вузла і складається з мікроконтролера MCU, до складу якого входять процесор, оперативна SRAM, незалежна EEPROM і флеш-пам'ять, аналого-цифровий перетворювач ADC, таймер, порти входу/виходу;
- 3) сенсорна підсистема - забезпечує з'єднання сенсорного бездротового вузла із зовнішнім світом, до складу якої можуть входити аналогові і цифрові сенсори, актуатори;

4) підсистема електроживлення - забезпечує енергетичне постачання всіх елементів бездротового сенсорного вузла і включає пристрої генерації і акумулювання енергії, а також регулювання напруги.

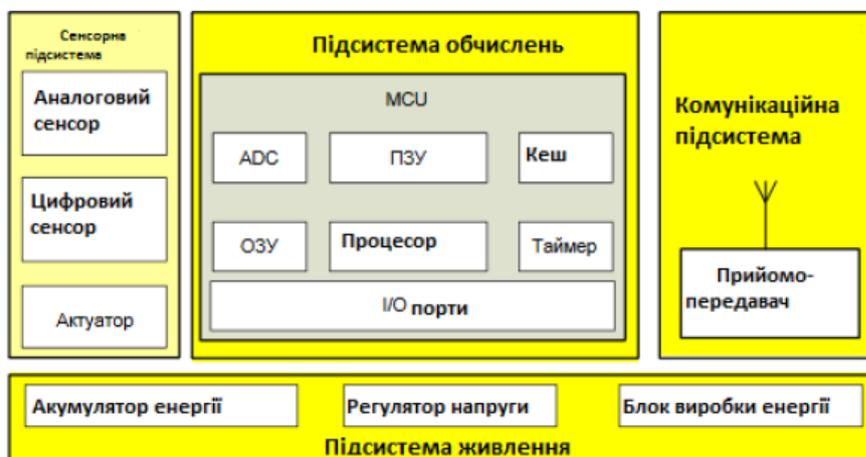


Рисунок 2.2 – Апаратна частина вузла сенсорної мережі

Датчики можуть бути найрізноманітнішими. Частіше використовуються датчики температури, тиску, вологості, освітленості, вібрації, розташування, рідше - магнітоелектричні, хімічні (наприклад, що вимірюють вміст CO, CO<sub>2</sub>, рівень радіаційного фону), звукові і деякі інші. Набір застосовуваних датчиків залежить від функцій, які виконуються бездротовими сенсорними мережами.

Отримані від датчика електричні сигнали часто не готові для обробки, тому вони проходять через стадію перетворення. Наприклад, сигнал часто вимагає підсилення для збільшення амплітуди, можливе застосування фільтрів для усунення небажаного шуму в певних діапазонах частот і т.п. Перетворений сигнал трансформується за допомогою аналого-цифрового перетворювача (АЦП) в цифровий сигнал. В результаті сигнал виходить в цифровій формі і він готовий до подальшої обробки в процесорі і зберігання в пам'яті мікроконтролера. При наявності виконавчих механізмів можлива також передача керуючих впливів від вузлів мережі до зовнішнього середовища через актуатор. Живлення сенсорного вузла здійснюється зазвичай від невеликої батареї.

Крім розміру, є й інші жорсткі обмеження для вузлів БСМ, вони мають:

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		46

- споживати дуже мало енергії;
- працювати з великою кількістю вузлів на малих відстанях;
- мати низьку вартість виробництва;
- бути автономними і працювати без обслуговування;
- адаптуватися до навколишнього середовища[5].

Багаторівнева архітектура мережі IoT складається з:

1. Рівень об'єктів, також відомий як рівень пристроїв, містить фізичні пристрої, які використовуються для збирання та обробки інформації з екосистеми IoT. Фізичні пристрої включають різні типи датчиків, такі як ті, які зазвичай базуються на технологіях мікроелектромеханічних систем (MEMS). Датчики можуть бути оптичними, датчиками світла, датчиками, що реагують на жести та близькість, датчиками дотику та відбитків пальців, датчиками тиску та ін. Методи стандартизованого підключення і відтворення повинні використовуватися рівнем об'єктів, щоб інтегрувати та налаштувати неоднорідні типи датчиків, що належать до пристроїв системи IoT. Дані пристрою, які збираються на цьому рівні переносяться на рівень абстракції об'єкта за допомогою безпечних каналів.

2. Рівень передачі даних, які збираються з об'єктів і передаються на рівень керування сервісом за допомогою безпечних каналів передачі. Передача даних може відбуватися за допомогою будь-якої з таких технологій: RFID, 3G, GSM, UMTS, Wi-Fi, Bluetooth low energy, Infrared, ZigBee.

У цьому шарі також присутні спеціалізовані процеси для обробки таких функцій, як хмарне обчислення та керування даними.

3. Рівень управління сервісом діє як проміжне програмне забезпечення для системи IoT. Цей шар надає конкретні послуги своєму запиту на основі адрес і імен. Забезпечує гнучкість програмістів IoT у роботі над різними типами неоднорідних об'єктів незалежно від їхніх платформ. Цей шар також обробляє дані, отримані від транспортного рівня. Після обробки даних приймаються необхідні рішення щодо надання необхідних послуг, які потім виконуються за допомогою мережевих протоколів.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Рівень додатків забезпечує різноманітні види послуг, які вимагає замовник. Тип послуги, що запитується клієнтом, залежить від конкретного випадку використання, прийнятого замовником. Наприклад, якщо розумний дім є розглянутим випадком використання, тоді клієнт може вимагати певні параметри, такі як нагрівання, вентиляція та кондиціонування(HVAC), а також значення температури та вологості.

5. Бізнес рівень виконує загальне управління усіма діями та службами IoT. На цьому рівні використовуються дані, отримані від мережевого рівня, для створення різних компонентів, таких як бізнес-моделі, графіки та блок-схеми. Цей рівень також несе відповідальність за розробку, аналіз, впровадження, оцінку та моніторинг вимог системи IoT, здатний використовувати великий аналіз даних для підтримки прийняття рішень. А також на рівні виконується порівняння отриманих проти очікуваних результатів для підвищення якості послуг.

## 2.2 Протоколи архітектури IoT

Протоколи архітектури IoT наведено на рис.2.3, а категорії протоколів IoT приведені на рис. 2.4.



Рисунок 2.3 – Протоколи архітектури IoT

Рівень додатків	DDS	CoAP	AMQP	MQTT	MQTT-SN	XMPP	HTTP REST
Виявлення сервісів	mDNS			DNS-SD			
Протоколи маршрутизації	RPL						
Мережевий рівень	6LoWPAN				IPv4/IPv6		
Рівень посилань	IEEE 802.15.4						
Фізичний рівень	LTE-A	EPCglobal	IEEE 802.15.4	Z-Wave			

Рисунок 2.4 – Категорії протоколів IoT

### 2.2.1 Протоколи інфраструктури

1). Протокол маршрутизації RPL. RPL означає протокол маршрутизації для мереж низької потужності та втрат. Це протокол IPv6. Мережі з низьким рівнем втрат потужності включають в себе бездротові локальні мережі (WPAN), мережі низьковольтних лінійних зв'язків (PLC) та мережі бездротових датчиків (WSN). Ці мережі мають деякі характеристики:

- Можливість оптимізувати та заощадити енергію.
- Можливість підтримувати схеми трафіку, відмінних від одноадресного спілкування
- Можливість запускати протоколи маршрутизації через шари каналів з обмеженими розмірами кадрів.

RPL був розроблений, щоб підтримувати мінімальні потреби в маршрутизації шляхом створення високоточної топології над мережами з втратами. Цей протокол надає підтримку різноманітних типів моделей трафіку: багатоточкове, точка-багатоточка та точка-точка. Пристрої в мережі, що використовують цей протокол, підключаються один до одного таким чином, щоб у цьому з'єднання

не було циклів. Для досягнення цього спочатку споруджується вузол, який називається цільовим орієнтованим ациклічним графіком (destination oriented directed acyclic graph, DODAG), який перенаправляється на одне призначення. Специфікації RPL звертаються до DODAG як до основи DODAG. Кожний вузол, який входить до складу DODAG, знає свій головний вузол, але не має інформації про його дочірні вузли. RPL підтримує щонайменше один шлях від кожного вузла до кореневого і до бажаного батьківського. Це зроблено для підвищення продуктивності пошуку швидшого шляху. Топологія DODAG, що використовується в RPL, зображена на рис. 2.5.

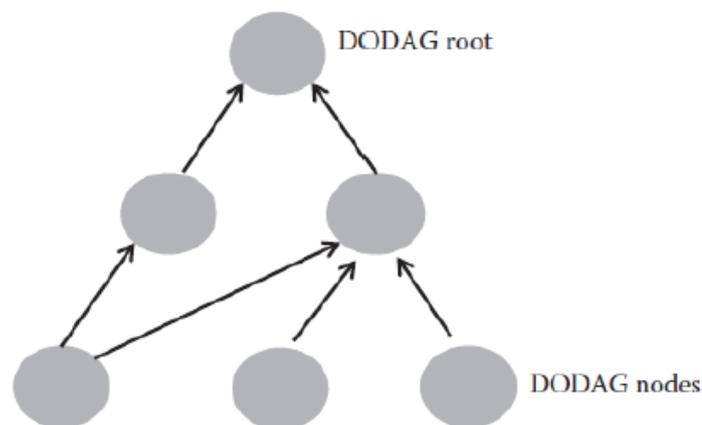


Рисунок 2.5 – Топологія DODAG

Маршрутизатори RPL працюють в одному з двох режимів роботи (MOP): режим не зберігання або зберігання. У режимі не зберігання повідомлення маршруту RPL рухаються у бік нижчих рівнів на основі маршрутизації джерела IP, тоді як у режимі зберігання маршрутизація вниз здійснюється на основі адресі призначення IPv6.

2). Протокол IEEE 802.15.4. Цей протокол (рис.2.6) був створений для того, щоб вказати підрівні для MAC та фізичного рівня, насамперед, для низькошвидкісних бездротових приватних мереж. Враховуючи різноманітні переваги, пропонувані цим протоколом, такі як низьке енергоспоживання, низька швидкість передачі даних, а також низька вартість та висока пропускна здатність повідомлень, вона дуже підходить для використання в системах IoT

як протокол зв'язку. Цей протокол також забезпечує надійне з'єднання і може обробляти величезну кількість вузлів (приблизно близько 65К вузлів). Ідеально підходить для забезпечення зв'язку, оскільки забезпечує високий рівень безпеки, шифрування та служби автентифікації. Єдиною негативною стороною цього протоколу є те, що вона не забезпечує жодної з QoS(quality of service) гарантій.

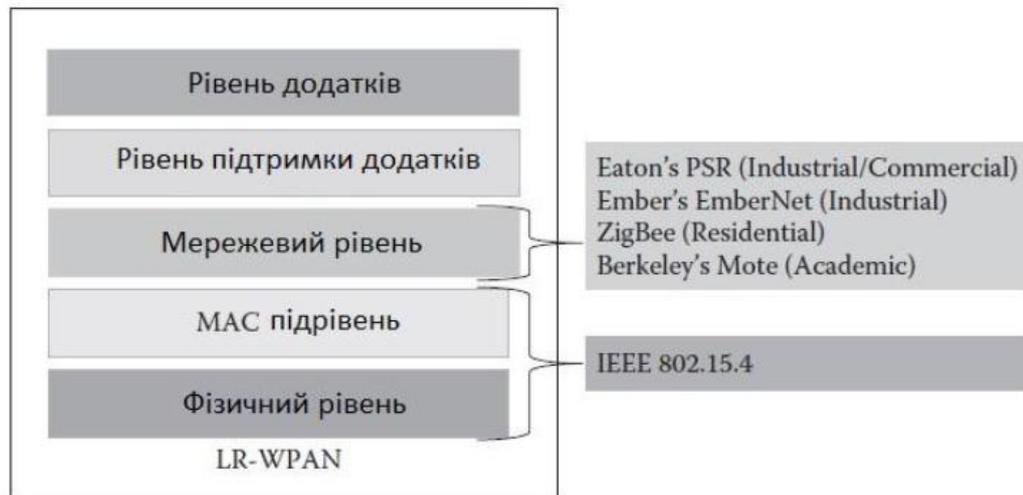


Рисунок – 2.6 Архітектура IEEE 802.15.4.

Цей протокол ґрунтується на ZigBee та інших протоколах, що використовуються в IoT-комунікації. IEEE 802.15.4 підтримує передачу у трьох частотних діапазонах, використовуючи метод DSSS(direct sequence spread spectrum). На основі частотного каналу, передача даних відбувається в три рази швидкість передачі даних:

- 250 kbps at 2.4 GHz;
- 40 kbps at 915 MHz ;
- 20 kbps at 868 MHz .

Цей протокол підтримує два типи вузлів мережі:

- Повнофункціональні пристрої (FFD) .
- Знижено функціональні пристрої (RFD).

FFD можуть працювати як координатор персональної зони (PAN) або просто як звичайний вузол. Координатор має можливість створювати, керувати та підтримувати мережу. FFDs можуть зберігати таблицю маршрутизації у своїй

пам'яті і можуть забезпечити MAC. Вони також можуть спілкуватися з іншими пристроями, використовуючи одну з наступних топологій:

- зірка;
- однорангова;
- кластерне дерево.

RFD - це дуже прості вузли, і вони мають обмежені ресурси. Вони можуть спілкуватися тільки з вузлом координатора, використовуючи тільки топологію зірки.

Топологія зірок: містить принаймні один FFD та кілька інших RFD. FFD, призначений для роботи в якості координатора PAN, повинен бути розташований у центрі мережі. Цей FFD несе відповідальність за управління та контроль усіх інших вузлів, які є частиною мережі (рис. 2.7).

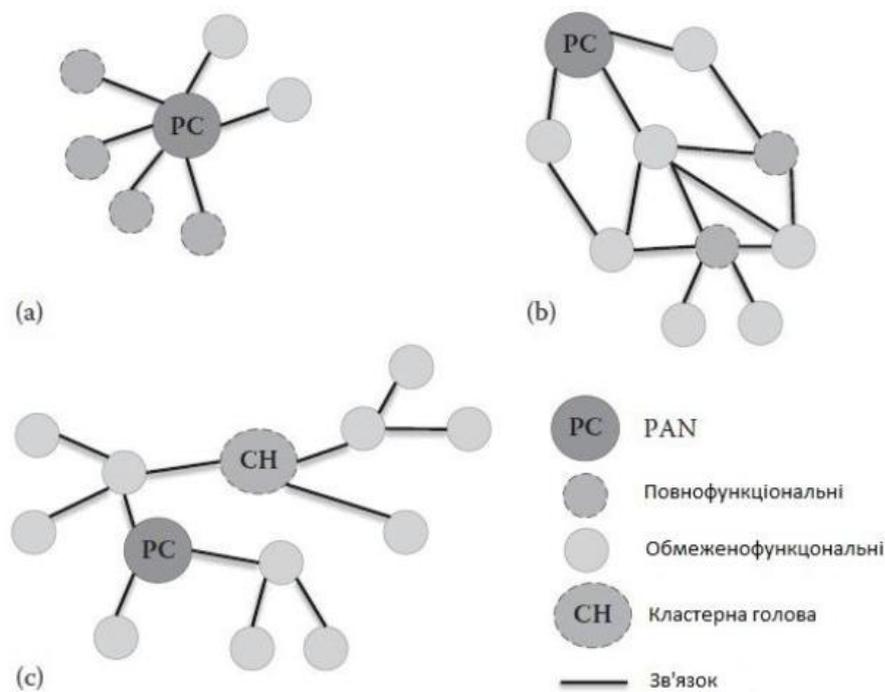


Рисунок – 2.7 Види топологій

Топологія однорангової мережі: вона містить координатора PAN, а інші вузли зв'язуються між собою в тій самій мережі або через проміжні вузли до інших мереж.

Топологія кластерного дерева: це особливий тип однорангових топологій. Він складається з координатора PAN, кластерної голови та нормальних вузлів.

3). IPv6 over Low-Power Wireless Personal Area Networks(6LoWPAN). Архітектура сітки 6LoWPAN зображена на діаграмі, яка наведена на рис. 2.8.

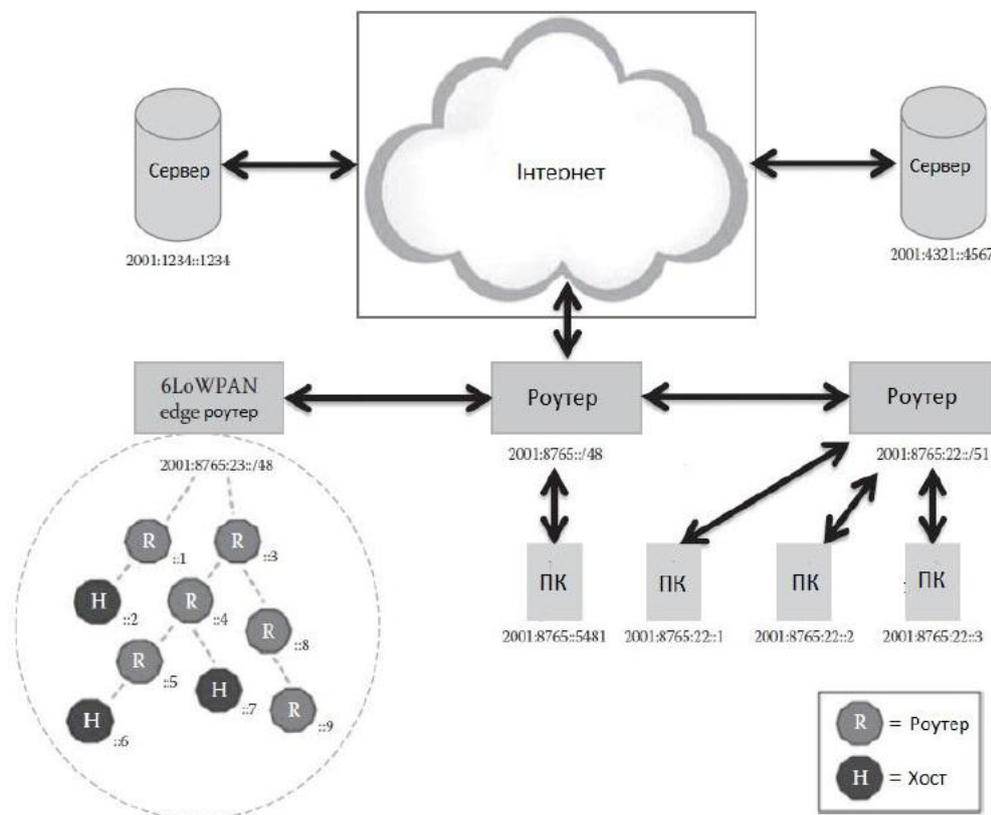


Рисунок – 2.8 Архітектура 6LoWPAN

Вихідна лінія до Інтернету забезпечується точкою доступу (AP, access point), яка в цьому випадку є маршрутизатором IPv6. Різні типи пристроїв, таких як ПК та сервери, можуть бути підключені до AP. Компоненти мережі 6LoWPAN підключаються до мережі IPv6 за допомогою маршрутизатора 6LoWPAN. Нижче наведено функції, які виконує «edge» маршрутизатор:

- Це дозволяє обмінюватися даними між пристроями 6LoWPAN та Інтернетом (або іншою IPv6 мережею).
- Це дозволяє обмінюватися даними між пристроями, що входять до мережі 6LoWPAN.
- Це допомагає генерувати та підтримувати мережу 6LoWPAN.

Оскільки мережі 6LoWPAN можуть спілкуватися з IP-мережами, вони підключаються до IP-мереж просто за допомогою IP-маршрутизаторів.

«Edge» маршрутизатори, які використовуються для підключення мереж 6LoWPAN до інших IP-мереж, передають IP-датаграми між різними носіями, що використовуються в IP-мережах. Медіа, що використовується в мережі IP, може бути Ethernet, Wi-Fi, 3G або 4G. Оскільки «edge» маршрутизатори, що використовуються в мережевих датаграмах мережі 6LoWPAN для інших IP-мереж із використанням мережевого рівня, вони не підтримують стан прикладного рівня. Це, в свою чергу, знижує робоче навантаження на «edge» маршрутизаторі з точки зору потужності обробки, що дозволяє використовувати дешеві вбудовані пристрої з простим програмним забезпеченням.

4). Bluetooth Low Energy. Bluetooth Low Energy (BLE) спочатку працював як частина базової специфікації Bluetooth 4.0. BLE використовує радіоприймач малої дальності з мінімальною потужністю і працює довгий час. Його діапазон охоплення становить близько 100 метрів, що приблизно в 10 разів перевищує звичайний Bluetooth. Затримка BLE в 15 разів менша за звичайну Bluetooth. BLE працює, використовуючи потужність від 0,01 мВт до 10 мВт. Ці характеристики роблять BLE ідеальним протоколом для використання пристроями IoT.

5). EPCglobal. RFID (радіочастотна ідентифікація) пристрої - бездротові мікрочіпи, які використовуються для позначення об'єктів для автоматичної ідентифікації. Електронний код продукту (EPC) - це унікальний ідентифікатор, що зберігається в тезі RFID, що допомагає ідентифікувати та відслідковувати елементи в сценарії керування ланцюжком постачання. EPCglobal - це організація, що розробила EPC, а EPCglobal також готує та підтримує стандарти, пов'язані з RFID та EPC. RFID може бути використана як ключова технологія для пристроїв IoT з наступних причин:

- відкритість;
- масштабованість;
- надійність;
- підтримка ідентифікаторів об'єктів та відкриття сервісів.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Тег RFID має дві основні компоненти (рис. 2.9): електронний мікросхеми для зберігання ідентичності об'єкта та антени, що дозволяє чіпу спілкуватися з системою читання тегів. Зв'язок між тегом і читачем тегів відбувається за допомогою радіохвиль. Два основних компоненти системи RFID:

- радіоприймач;
- читач тегів.

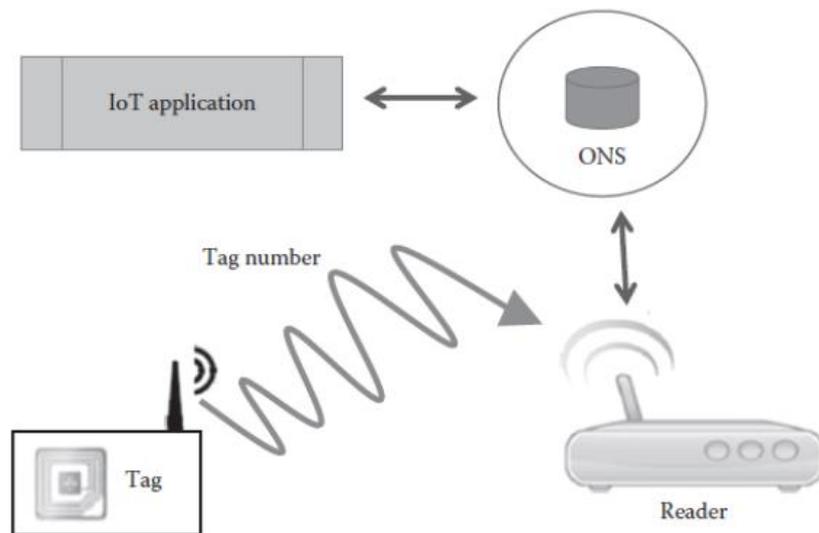


Рисунок – 2.9 Компоненти RFID системи

б). Z-Wave. Z-Wave - це протокол бездротового зв'язку з малою потужністю, який використовується переважно для домашніх мереж (HAN, home area networks). Він має широке застосування в розробці програм дистанційного керування для розумних будинків, а також інших невеликих комерційних областей. Z-Wave була розроблена компанією ZenSys, а пізніше вдосконалена альянсом Z-Wave. Z-Wave працює переважно в частотному діапазоні біля ГГц, що зазвичай становить близько 900 МГц.

Цей протокол використовує топологію мережевої сітки з малою потужністю. Кожен вузол або пристрій, що входить до складу мережі, має можливість надсилати та отримувати команди керування через стіни та поверхи будинку, і вони використовують проміжні вузли для маршрутизації даних навколо перешкод, які можуть бути присутніми в будинку. Складається мережа з контролерів та підпорядкованих пристроїв.

7). ZigBee. Протокол ZigBee був обраний альянсом ZigBee. Наступні особливості ZigBee роблять його дуже придатним для застосування IoT:

- низьке енергоспоживання;
- низька вартість;
- підтримка великої кількості вузлів мережі ( $\leq 65\text{K}$  вузлів).

Крім особливостей, перерахованих вище, ZigBee має децентралізовану топологію мережі, яка дуже подібна до Інтернету. Цей протокол має можливість, яка дозволяє вузлам знаходити нові маршрути, якщо один маршрут не працює в мережі. Ця функція робить його дуже надійним бездротовим протоколом.

Специфікація ZigBee використовує нижні шари стека протоколу IEEE 802.15.4 і визначає власні верхні шари від мережі до програми.

Ключові характеристики протоколів наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Систематизація ключових характеристик протоколів

Параметр	Wi-Fi	ZigBee	BT	LoRaWAN	SigFox
Частотний діапазон	2,4/5ГГц	0,8/0,9/ 2,4ГГц	2,4ГГц	0,43/0,8/ 0,9ГГц	0,8/0,9ГГц
Ширина смуги	20/40МГц	2МГц	1– 2МГц 80МГц	125кГц	200кГц
Швидкість передачі даних	1/10/54/300/ 600Мбайт/с	20/40/ 250Кбайт/с	1– 3Мбайт/с	300байт/с– 50Кбайт/с	100/ 600байт/с
Потужність (Max)	20дБм	<20дБм	20дБм	14–27дБм	14–22дБм
Енергоспоживання	1–3Вт	<0,1Вт	0,1– 0,4Вт	<0,25Вт	<0,3Вт
Дальність	100м	100м+	10м	1–20км (50)	1–20км (50)
Шифрування	Так, WPA2	Так, AES	Так, AES	Так, AES	Так, AES
Кількість пристроїв в мережі	30	65000	7	100000+	100000+
Топологія мережі	tree	star/mesh/ p2p/tree	tree	star	star

## 2.2.2 Протоколи виявлення сервісів

1). multicast Domain Name System (mDNS). mDNS - це служба, яка може працювати як унікальний DNS-сервер. Цей підхід дуже гнучкий через те, що простір імен DNS можна використовувати локально без будь-якої додаткової конфігурації. mDNS - це вигідний вибір для вбудованих пристроїв на базі Інтернету з наступних причин:

- Для керування пристроями не потрібна ручна настройка або адміністрування.
- Можна запустити без будь-якої додаткової інфраструктури.
- Високий рівень відмовостійкості через здатність функціонувати, навіть якщо відбудеться несправність інфраструктури.

2). DNS Service Discovery. Цей протокол допомагає клієнтам знаходити набір необхідних послуг, які присутні в мережі за допомогою стандартних DNS-повідомлень. Цей протокол також допомагає підключати пристрої без зовнішнього адміністрування або конфігурації. Виявлення служби DNS (DNS-SD) зазвичай використовує mDNS для надсилання пакетів DNS до певних адрес мультимовлення за допомогою UDP. Робота сервісу - це двоетапний процес:

1. Пошук назв вузлів необхідних служб.
2. Об'єднання IP-адреси з іменами хостів, використовуючи mDNS.

3). Universal Plug and Play. Universal Plug and Play (UPnP) - це набір мережевих протоколів, який був розроблений форумом UPnP. Основні особливості UPnP, що робить його придатним для сервісного виявлення пристроїв IoT, є наступні:

- Можливість підключення пристрою UPnP до мережі динамічно (автоматично) та отримання IP-адрес інших пристроїв і одночасно передавати свої можливості на інші пристрої.
- Конфігурація та адміністрування з нуля [6].

## 2.3 Стандартизація IoT

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Питаннями стандартизації та практичного впровадження окремих складових Інтернету речей (M2M, RFID, всепроникні сенсорні мережі та ін.) займаються багато міжнародних організацій, неурядові асоціації, альянси виробників і операторів, партнерські проекти. В цілому для Інтернету речей, як нового напрямку розвитку інфокомунікацій, в даний час визначені найзагальніші концептуальні та архітектурні рішення. Найближчим часом основною проблемою буде гармонізація різних стандартів з метою формування єдиної і несуперечливої нормативної бази для практичної реалізації Інтернету речей [7].

В рамках діяльності сектора стандартизації телекомунікацій Міжнародного союзу електрозв'язку (МСЕ-Т) є три глобальні ініціативи GSI (Global Standards Initiative). Під глобальною ініціативою розуміється комплекс робіт, виконуваних паралельно різними дослідницькими комісіями МСЕ відповідно до скоординованих планом робіт. Одна з таких ініціатив присвячена стандартизації Інтернету речей - IoT-GSI (Global Standards Initiative on Internet of Things). Дві інші глобальні ініціативи - по стандартизації мереж наступних поколінь NGN-GSI і систем телебачення на основі протоколу Інтернет IPTV-GSI - також базуються на використанні IP-технологій, як і IoT-GSI.

IoT-GSI будує свою роботу на основі зусиль МСЕ-Т в таких областях, як мережеві аспекти ідентифікаційних систем (Network Identifier, NID), всепроникні сенсорні мережі (Ubiquitous Sensor Networks, USN), межмашинного зв'язок (M2M), WEB речей (WoT) і т.п. В рамках серії МСЕ-Т Y.2xxx, присвяченій мереж наступного покоління NGN, вже затверджені перші рекомендації, присвячені спеціально Інтернету речей: Y.2060 «Огляд Інтернету речей», Y.2063 «Основа WEB речей» і Y.2069 «Терміни та визначення Інтернету речей» і ін.

В Рекомендації Y.2060 приведена еталонна модель IoT, яка дуже схожа на модель NGN і також включає чотири базових горизонтальних рівня (рис. 2.10):

- рівень додатків IoT;
- рівень підтримки додатків і послуг;
- мережевий рівень;

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						58
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

– рівень пристроїв [8].



Рисунок – 2.10 Еталонна стандартизація IoT згідно МСЭ-Т У.2060

Рівень додатків IoT в Рекомендації У.2060 детально не розглядається. Рівень підтримки додатків і послуг включає загальні можливості для різних об'єктів IoT з обробки та зберігання даних, а також можливості, необхідні для деяких додатків IoT або груп таких додатків. Мережевий рівень включає мережеві можливості (функція управління ресурсами мережі доступу та транспортної мережі, управління мобільністю, функції авторизації, аутентифікації і розрахунків, AAA) і транспортні можливості (забезпечення зв'язності мережі для передачі інформації додатків і послуг IoT). Нарешті, рівень пристроїв включає можливості пристрою і можливості шлюзу. Можливості пристрою припускають прямий обмін з мережею зв'язку, обмін через шлюз, обмін через бездротову динамічну ad-hoc мережу, а також тимчасові зупинки і відновлення роботи пристрою для енергозбереження. Можливості шлюзу припускають підтримку безлічі інтерфейсів для пристроїв (шина CAN, ZigBee, Bluetooth, WiFi і ін.) і для мереж доступу/транспортних мереж (2G / 3G, LTE, DSL і ін.). Іншою можливістю шлюзу є підтримка конверсії протоколів, в разі, якщо протоколи інтерфейсів пристроїв і мереж відрізняються один від одного.

Існує також два вертикальних рівня - рівень управління і рівень безпеки, що охоплюють всі чотири горизонтальних рівня. Можливості вертикального рівня експлуатаційного управління передбачають управління наслідками відмов, можливостями мережі, конфігурацією, безпекою та даними для білінгу.

Основними об'єктами управління є пристрої, локальні мережі та їх топологія, трафік і перевантаження на мережах. Можливості вертикального рівня безпеки залежать від горизонтального рівня. Для рівня підтримки програм та послуг визначені функції AAA, антивірусний захист, тести цілісності даних. Для мережевого рівня - можливості авторизації, аутентифікації, захисту інформації протоколів сигналізації. На рівні пристроїв - можливості авторизації, аутентифікації, контроль доступу і конфіденційність даних.

Основною метою проекту Європейського інтеграційного проекту IoT-A (Internet of Things - Architecture), учасниками якого є різні компанії, є розробка еталонної архітектурної моделі Інтернету речей з описом основних складових компонентів, яка б дозволила інтегрувати різноманітні технології IoT в єдину взаємопов'язану архітектуру.

Функціональна модель IoT-A (рис. 1.12) дещо відрізняється від моделі MCE, хоча вона теж є ієрархічною, але складається вже з семи горизонтальних рівнів, що доповнюються двома вертикальними (управління і безпеки), які беруть участь у всіх процесах[9][10].



Рисунок – 2.11 Функціональна модель IoT-A

## 2.4 Проблеми реалізації IoT

При практичній реалізації IoT існує ряд проблем:

1. Проблема енергоспоживання. Обмеження по енергоспоживанню пов'язаний з тим, що сенсори працюють від джерела живлення з обмеженим лімітом

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

енергії (зазвичай батарейка). Чим рідше вони будуть замінюватися або заряджатися, тим нижчу вартість буде мати їх обслуговування. Також енергоспоживання є важливим обмеженням при використанні сенсорів, доступ до яких є ускладнений, отже, джерело живлення не може бути замінено або заряджено. Для зменшення енергоспоживання зазвичай передбачається відключення передавачів сенсорних вузлів, коли немає необхідності передачі інформації. На мережевому рівні використовуються оптимальні шляхи передачі інформації від сенсорного вузла до координатора (базової станції), з огляду на число проміжних вузлів, необхідну енергію і доступну енергію. Крім мережевого протоколу на споживання енергії впливає конструкція вузлів (наприклад, маленький розмір пам'яті, ефективність перемикачів між завданнями), програмне забезпечення, механізми захисту і навіть робочі додатки.

2. Перехід до IPv6. У лютому 2010 року в світі не залишилося вільних адрес IPv4. Хоча рядові користувачі не знайшли в цьому нічого страшного, даний факт може істотно уповільнити розвиток Інтернету речей, оскільки мільярдам нових датчиків знадобляться нові унікальні IP-адреси. Крім того, IPv6 спрощує управління мережами за допомогою автоматичної настройки конфігурації і нових, більш ефективних функцій безпеки.

3. Проблема живлення датчиків. Щоб Інтернет речей повністю реалізував свої можливості, його датчики повинні працювати абсолютно автономно. А тепер уявіть, що це означає: нам знадобляться мільярди батарейок для мільярдів пристроїв, встановлених по всій планеті і навіть в космосі. Це абсолютно неможливо. Потрібно йти іншим шляхом. Датчики повинні навчитися отримувати електроенергію з навколишнього середовища: від вібрації, світла і повітряних потоків. Нещодавно в цій області був досягнутий великий успіх. Вчені анонсували придатний до комерційного використання наногенератор - гнучкий чіп, що перетворює в електроенергію людські рухи тіла (навіть одного пальця).

4. Проблема стандартизації. В області стандартів було досягнуто значного прогресу, проте попереду чекає велика робота, особливо в таких областях, як безпека, захист особистої інформації, архітектура і комунікації. IEEE - одна з

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		61

організацій, яка намагається вирішити зазначені проблеми за рахунок стандартизації методів передачі пакетів IPv6 по мережах різних типів. Важливо відзначити, що перешкоди існують, але не є непереборними. Переваги ж Інтернету речей настільки великий і, що людство обов'язково знайде рішення для всіх перерахованих проблем. Це лише питання часу [11].

5. Проблема самоврядування. IoT, як і інші сенсорні мережі часто мають працювати у віддалених областях і в жорстких умовах, без можливості їх обслуговування і ремонту. Тому, сенсорні вузли повинні конфігуруватися самостійно, взаємодіяти з іншими вузлами, адаптуватися до поломок, змін навколишнього середовища без втручання людини.

6. Проблема децентралізованого управління. Алгоритми побудови багатьох IoT будуються за централізованим принципом. При децентралізованому управлінні сенсорні вузли повинні обмінюватися інформацією з сусідніми вузлами, щоб згенерувати рішення про комутацію вузлів, без глобальної інформації про всю мережі. Внаслідок цього децентралізовані алгоритми можуть бути неоптимальними, але більш ефективними щодо енергії, ніж централізовані. Наприклад, при централізованому управлінні базова станція може «опитувати» всі сенсорні вузли, приймати від них інформацію, повідомляти кожному вузлу свій маршрут передачі інформації. При частій зміні мережі втрати будуть значні. Децентралізований підхід дозволяє кожному вузлу робити власне рішення, при наявності невеликої інформації (список сусідніх пристроїв, що включає інформацію про відстань до базової станції). В даному випадку втрати на управління будуть значно зменшені.

7. Проблема конструкції. Головною метою IoT є створення маленьких, дешевих і ефективних пристроїв. Через вимоги до низького споживання енергії типовий сенсорний вузол має невеликі швидкості виконання операцій і обсяги інформації, що зберігається. Також через це небажано використання деяких пристроїв, таких як GPS-приймачі. Обмеження за розмірами впливає на структуру протоколів і алгоритмів, реалізованих в бездротових сенсорних мережах. Наприклад, таблиця всіх маршрутів в мережі може бути занадто великою і не

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		62

поміститися в пам'яті вузла. Тому тільки невелика частина інформації (наприклад, список сусідніх вузлів) може зберігатися в пам'яті вузла.

8. Проблема безпеки. Віддалене розташування сенсорів і їх автоматична робота збільшує їх незахищеність до сторонніх вторгнень і атак. При бездротовому з'єднанні досить легко для порушника перехопити пакети, що передаються сенсорним вузлом. Наприклад, найбільш велика загроза здійснення атаки «відмови в обслуговуванні» (denial-of-service), мета даної атаки порушити коректне функціонування сенсорної мережі. Це може бути досягло за допомогою різних способів, наприклад, при подачі потужного сигналу, який заважає сенсорним вузлів обмінюватися інформацією («білий шум» або jamming attack). Є різні варіанти захисту систем від зловмисників, але для багатьох з них необхідні високі вимоги до апаратних ресурсів, що є важкодосяжним на жорстко обмежених по багатьох вимогах сенсорних вузлах. Отже, IoT вимагають нових рішень для створення ключів, їх поширення, ідентифікації та захисту вузлів [12].

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

### 3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СКЛАДУ ЗА ДОПОМОГОЮ ТЕХНОЛОГІЙ

#### LORAWAN

Всі прилади, які уможливають реалізацію IoT в бізнес-процесах, були винайдені вже понад 20 років тому, однак поштовхом до різкого поширення технологій саме зараз стала їхня доступність, а також можливість отримувати та обробляти дані з допомогою хмарних сервісів.

Можливість контролювати та моніторити віддалені процеси в режимі реального часу з допомогою хмарних сервісів із простою системою керування привабила різні сфери діяльності, в тому числі й транспортну і складську логістику.

Очевидно, цю технологію на теперішньому етапі застосовують лише передові компанії у своїх галузях, але згодом це стане одним із основних конкурентних інструментів, яким на сьогодні є, наприклад, система платіжних розрахунків пластиковою картою або система інтернет банкінгу. Особливо актуальним стає питання оптимізації складу і пришвидшення обслуговування в ланцюгу постачання для служб доставки, оскільки споживач звикає до принципу доставки “на наступний день”.

Термін “Розумний склад” передбачає власне використання технологій IoT (рис. 3.1). Ця технологія дозволяє отримати такі переваги, як підвищення безпеки складу, економія експлуатаційних витрат (енергія, робоча сила), повна ліквідація можливих помилок в складувальних процесах (людський чинник).

З допомогою IoT можна здійснювати наступні операції:

1. Візуальний та схематичний моніторинг завантажувально-розвантажувальних процесів.
2. Відбір номенклатури з одночасним обліком безпосередньо в загальній базі (picking).
3. Автоматизоване завантаження/розвантаження.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

4. Автоматизовані заміри ваги і перевірка цілісності та розмірів упакування вантажу.
5. Розподіл вантажу для складування та відвантаження.
6. Контроль температурних режимів та мікроклімату в приміщенні.
7. Моніторинг та контроль всіх рухомих об'єктів на складі.

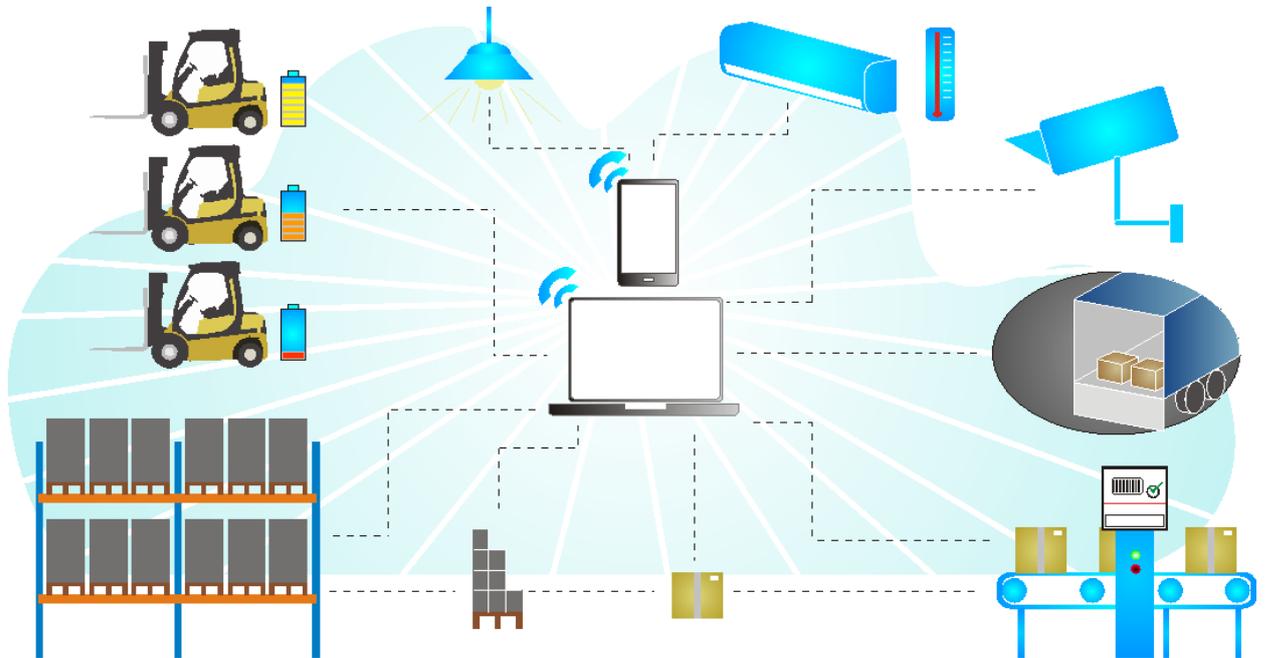


Рисунок 3.1 – «Розумниця склад» з технологією IoT

Окрім підвищення ефективності та швидкості обслуговування вантажу, автоматизація складу з допомогою IoT та відповідна зменшена потреба в персоналі на території складування створила додаткову можливість ущільнити складське обладнання та отримати додаткового простору для складування.

### 3.1 Технологія *LoRaWAN*

LoRaWAN – мережа далекого зв'язку з низьким енергоживленням. Дана мережа має топологію «Зірка» і складається з головного сервера, шлюзу та кінцевого пристрою. Сервер відповідає за збір, зберігання та обробку даних. Шлюз

виконує роль ретранслятору між кінцевим пристроєм та сервером. Кінцевий пристрій збирає дані з керуючого об'єкта або з датчиків, підключених до кінцевого пристрою.

Реалізацію мережі можна представити у вигляді кінцевих пристроїв (точок, нод, вузлів), дані яких передаються на шлюз, далі від шлюзу на сервер та до користувача.

LoRa – це тип модуляції, яка запропонована організацією LoRa Alliance, як єдиного глобального стандарту мереж з низьким енергоспоживанням. Фізичний рівень моделі OSI media layer 1, а LoRaWAN – це MAC-протокол канального рівня (OSI media layer 2).

Для цієї мережі основні характеристики:

Низьке енергоспоживання (Lower Power). Автономність роботи може сягати більше одного року.

Невисока швидкість обміну даними.

Великий радіус зв'язку. В сільській місцевості 15 км та 5 км в міській забудові.

Низька вартість для кінцевого пристрою. На ринку є дуже багато виробників, які постачають різноманітну кількість радіомодемів для підключення мережі LoRaWAN.

Технологія модуляції LORA™ (від англ. Long Range) являє собою метод модуляції, який дозволяє отримати значно більшу дальність зв'язку (зону покриття), ніж інші конкуруючі з ним способи. Цей тип модуляції ґрунтується на технології модуляції з розширеним спектром і варіації лінійної частотної модуляції (англ. CSS – chirp spread spectrum) з інтегрованою прямою корекцією помилок FEC (англ. FEC – forward error correction).

Технологія LORA значно підвищує чутливість приймача і, аналогічно іншим методам модуляції з розширеним спектром, використовує всю ширину смуги пропускання каналу для передачі сигналу, що робить його стійким до канальних шумів і нечутливим до зсувів, викликаних неточностями в налаштуванні частот при використанні недорогих опорних кварцевих резонаторів. Тех-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		66

нологія LoRa дозволяє здійснювати демодуляцію сигналів з рівнями на 19,5 дБ нижче рівня шумів.

### 3.1.1 Архітектура мережі

LoRaWAN end-node - кінцеві пристрої є елементами LoRaWAN мережі, системи LoRa, де вони виконують такі функції, як вимір або управління та контроль. Вони розташовуються віддалено і мають, як правило, батарейне живлення. Використовуючи мережевий протокол LoRaWAN, ці кінцеві пристрої можуть бути налаштовані для зв'язку з шлюзом мережі LoRaWAN. Дані в LoRaWAN мережі можуть передаватися в обидві сторони, як від кінцевих пристроїв до шлюзу, так і назад. Кінцеві пристрої передають дані не постійно, а вмикають передачу лише на деякий проміжок часу (як правило на 1-5 секунд), після закінчення якого відкривається два часових вікна для прийому даних. Решту часу трансивери кінцевого пристрою знаходяться в неактивному стані або в стані прийому, в залежності від класу пристрою (А, В або С).

Клас А. Кінцевий пристрій передає дані на шлюз короткими посилками за заданим графіком. Ініціатором обміну виступає сам кінцевий пристрій, як правило, не вимагає отримання підтвердження свого повідомлення від сервера, але протокол передбачає і повідомлення, на які сервер формує спеціальну відповідь, а сервер вибирає найкращий маршрут для відправки підтвердження (АСК від англ. acknowledgment - підтвердження) в момент відкриття кінцевим пристроєм вікна прийому повідомлення. Кінцевий пристрій переходить в режим прийому відразу після відправки даних на деякий нетривалий час, в інший час, знаходиться в режимі енергозбереження або сну. Сервер накопичує для кінцевого пристрою повідомлення і пересилає їх відразу пачкою, як тільки кінцевий пристрій виходить на зв'язок. Цей клас кінцевих пристроїв найбільш економічний при використанні енергії та найбільш поширений на практиці. Тому, в подальшому будемо використовувати саме цей клас кінцевих пристроїв.

Клас В. Кінцевий пристрій передає за графіком значення заданому шлюзу. Шлюз відправляє повідомлення кінцевому пристрою відповідно до розкладу.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

Ініціатором обміну може бути шлюз LoRaWAN мережі. Кінцеві пристрої цього класу синхронізують внутрішній час з часом мережі за допомогою маяків, які пристрій регулярно отримує від шлюзу. Кінцеві пристрої цього класу мають відносно низьку часову затримку при обміні даними і відкривають більш широке часове вікно прийому, в порівнянні з класом А. Кінцеві пристрої класу В також мають всі можливості пристроїв класу А.

Клас С. Кінцевий пристрій цього класу має постійно відкрите вікно прийому і закриває його тільки на період короткочасної передачі даних. Шлюз може ініціювати обмін в будь-який час і передати повідомлення кінцевому пристрою відразу, у міру їх появи. Цей клас пристроїв найбільш енергозатратний (в порівнянні з класами А і В), тому зазвичай не використовує батарейне живлення, але отримує дані від сервера LoRaWAN мережі з найменшими затримками (lowest latency). Пристрої класу С мають всі можливості пристроїв класів А і В.

Кінцеві пристрої можуть проводити обмін як з одним, так і з декількома шлюзами, пристрої можуть працювати в двох режимах: точка-точка (P2P), коли обмін відбувається між кінцевим пристроєм (end-node) і шлюзом (також можна цілком реалізувати обмін тільки між двома пристроями мережі без використання концентраторів і навіть шлюзу), і в гібридному режимі, коли один з вузлів підключений, з одного боку по радіоканалу до інших вузлів, а з іншого боку, має дротове підключення до мережі за протоколом TCP/IP і виступає в ролі шлюзу.

Такий одноканальний міні-шлюз може обслуговувати від одного до декількох десятків кінцевих пристроїв, які будуть конкурувати між собою за вільні тайм слоти міні-шлюзу для прийому і передачі даних.

### 3.1.2 Шлюз мережі LoRaWAN

Шлюзи LoRa призначені для використання в радіальних зіркоподібних мережевих архітектурах великого радіусу дії в системі LoRaWAN. Через властивості технології LoRa ці шлюзи можуть являтися собою багатоканальні мульті-модемні трансивери, які здатні виконувати демодуляцію відразу декількох ка-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

налів одночасно, і навіть одночасну демодуляції безлічі сигналів на одному і тому ж каналу. Ці шлюзи використовують інші радіочастотні компоненти, ніж ті, які застосовуються в кінцевій пристрої для забезпечення високої ємності мережі.

Шлюзи служать в якості інтерфейсу у вигляді прозорого моста для передачі повідомлень між кінцевими пристроями і центральним сервером. Зв'язок між концентраторами і центральним сервером LoRaWAN мережі здійснюється за допомогою традиційних технологій (Ethernet, WiFi, GSM) за протоколом TCP/IP. Якщо шлюзи підключаються до мережевого сервера через стандартні IP-з'єднання, то кінцеві пристрої використовують бездротове підключення до одного або кількох шлюзів. Всі кінцеві пристрої як правило, є двонаправленими, але вони також підтримують і функціонують в режимі, що забезпечує можливість здійснення групового оновлення програмного забезпечення через стільникову мережу або передачу інших масових повідомлень (Broadcast), що дозволяє скоротити час на їх передачу.

Залежно від каналної ємності і місць установки, доступні різні версії шлюзів: вони можуть встановлюватися як всередині приміщень, так і на вишках або будівлях. Кінцеві пристрої мережі LoRaWAN можуть бути в зоні покриття як одного шлюзу так і декількох. Шлюзом в мережах з високою щільністю абонентських пристроїв виступають спеціальні багатоканальні концентратори, які мають можливість приймати дані від декількох вузлів одночасно. Саме ця можливість шлюзу безпосередньо впливає на максимальну щільність абонентських пристроїв на ділянці місцевості, яка обслуговується одним концентратором. Концентратори на базі Semtech SX1301 мають можливість обслуговувати до 5 тисяч абонентських пристроїв на один квадратний кілометр (на борту 2 чіпа SX1257, що забезпечують подвійний RF на 8 незалежних каналів, які можуть працювати одночасно, і одним транспортним backhaul каналом).

Ємність мережі залежить від того числа пакетів, які можуть бути отримані в даний момент часу. Один шлюз на SX1301 з 8 каналами, використовуючи протокол LoRaWAN, здатний отримати близько 1,5 млн. пакетів в день. Так що,

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

якщо ваш вузол відправляє один пакет на годину, то один шлюз на SX1301 може з успіхом обслуговувати до 62500 таких кінцевих пристроїв. Зараз ведеться серйозна боротьба серед прихильників різних технологій і в порівняльних таблицях ви побачите різну кількість пристроїв, що обслуговуються одним шлюзом: від декількох сотень до мільйонів. Такі дані неінформативні і можуть ввести читача в оману, оскільки кожен кінцевий пристрій може відправляти дані з різною періодичністю, обсяг даних і швидкість передачі можуть істотно відрізнятися, тому говорити про теоретичну ємність мережі досить складно і для точних розрахунків потрібно брати до уваги безліч чинників.

Якщо ємності сегмента мережі недостатньо, то LoRaWAN мережа масштабується: більш висока щільність пристроїв, що досягається шляхом установки додаткових шлюзів. При появі нового шлюзу, центральний сервер мережі перерозподіляє навантаження, відправляючи кінцевим пристроям новий графік режиму передачі.

### 3.1.3 Центральний сервер LoRaWAN мережі

Проблему можливих колізій при одночасній передачі даних декількома пристроями вирішує центральний сервер LoRaWAN мережі, який адресно відправляє кінцевим пристроям мережі керуючі команди через шлюзи, виділяючи тайм-слоти для передачі і прийому індивідуально для кожного кінцевого пристрою. Адресація відбувається по унікальній 32-бітній DevAddr адресі для кожного центрального пристрою. Центральний сервер LoRaWAN мережі приймає рішення про необхідність зміни швидкості передачі даних пристроя, потужності передавача, виборі каналу передачі, її початку і тривалості за часом, контролює заряд батарей кінцевих пристроїв, тобто повністю контролює всю мережу і управляє кожним абонентським пристроєм окремо.

Кожен LoRaWAN пакет даних, що відправляються кінцевим пристроям, має в своєму складі унікальний ідентифікатор додатки AppEUI, що належить додатком на сервері сервіс-провайдера, для якого він призначений і цей ідентифікатор використовується центральним сервером LoRaWAN мережі для пода-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

льшої маршрутизації пакета і його обробки додатком на сервері. На практиці, як правило, послуги сервіс-провайдера надає виробник кінцевих пристроїв, який підтримує сервіс для обробки даних, куди маршрутизуються пакети з сервера LoRaWAN мережі для роботи.

Як окремий випадок, сервер додатків, сервер мережі і єдиний шлюз мережі (у вигляді одноканального LoRa трансивера) можуть бути об'єднані для побудови спрощеної моделі мережі в лабораторних умовах. Програмне забезпечення ядра мережевого сервера вільно не поширюється, але може бути отримано після укладення угоди з Lora Alliance, в загальному доступі знаходиться демонстраційна документація.

Протокол LoRaWAN визначає конкретний набір швидкостей передачі даних, але крайовий чіп або так званий фізичний шар (PHY, OSI media layer 1), тобто сама інтегральна схема, призначена для виконання функцій фізичного рівня мережевої моделі OSI, здатна дати більше варіантів. Наприклад, Semtech SX1272 підтримує швидкості передачі даних від 0,3 до 37,5 кбіт/с, а SX1276 від 0,018 до 37,5 кбіт/с.

### 3.2 Розробка мережі на основі протокола LoRaWAN

При розробці власного кінцевого пристрою, шлюзу та серверу, які використовують радіо-модулі стандарта LoRaWAN. необхідно здійснити підбір елементної бази пристроїв, які будуть відповідати наступним вимогам:

- Елементарна база повина забезпечити низьке енергоспоживання.
- Елементарна база повина визначати масогабаритні характеристики виробу.
- Теплові режими роботи не повині впливати на електричні характеристики пристроїв.
- Елементна технологічна база визначає його вартість.
- Електромагнітне випромінювання повино відповідати міжнародним стандартам.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

– Мережа не повина вносити перешкоди в роботу інших бездротових мереж.

В проектуванні кінцевого пристрою та шлюзу використовувалися наступні складові:

- Радіо-модем з підтримкою модуляція LoRa.
- Мікрокомп'ютер.
- Датчик температури.
- Датчик вологості.

### 3.2.1 Базовий радіомодем для кінцевого пристрою

В якості радіо-модему для кінцевого пристрою використано бездротовий трансивер LoRa RA-02 (рис. 3.2) на базі чіпа SX1278 виробника AI-Thinker. Радіомодуль побудований за технологією LoRa. Трансивер може працювати в діапазоні частот від 410 МГц до 525 МГц, вибір робочої частоти здійснюється програмно. Ra-02 може працювати і як приймач, і як передавач даних, можливе об'єднання кількох модулів в загальну мережу. На платі мо-дему розташований роз'єм IPEX під зовнішню антенну.

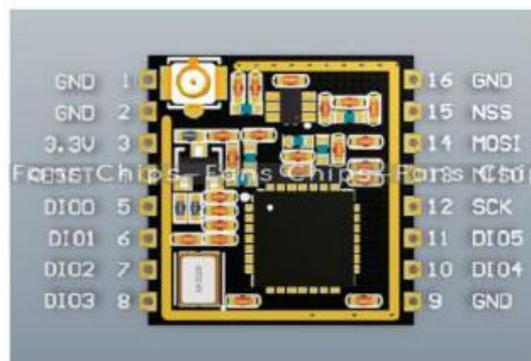


Рисунок 3.2 — Радіо-модем RA-02

Основні параметри радіомодему:

- Модуляція LoRaTM.
- Постійна вихідна потужність зі зміною напруги + 20 дБм - 100 мВт.
- Висока чутливість: до -148dBm.
- Напівдуплексний зв'язок SPI.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		72

- Програмована швидкість передачі даних до 300 Кбіт/с.
- Підтримка таких видів модуляції FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRaTM і OOK.
- Динамічний діапазон RSSI до 127дБ.
- Автоматичне детектування радіочастотного сигналу.

Модем LoRaTM має незалежний буфер даних входу/виходу в буфер обміну FIFO, доступ до якого здійснюється через інтерфейс SPI, загальний для всіх режимів. Щоб можна було оптимізувати модуляцію LoRaTM надається доступ до трьох критичні параметрів конструкції. Кожен з них дозволяє здійснювати вплив на якість зв'язку, спектральне заповнення та номінальну швидкість передачі даних. Ці параметри - коефіцієнт поширення, пропускна здатність модуляції та швидкість кодування.

Модуляція LoRaTM з розширеним спектром виконується шляхом представлення кожного біта інформації декількома чіпами інформації. Швидкість, з якою надсилається інформація, називається символною швидкістю ( $R_s$ ), відношенням між номінальною швидкістю символу та частоти чіпів - це коефіцієнт розповсюдження, який являє собою кількість символів, що надсилаються на біт інформації. Діапазон значень, доступних за допомогою модему LoRaTM, показаний у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 - Розширення спектру

<i>SpreadingFactor</i> (RegModulationCfg)	Spreading Factor (Chips / symbol)	LoRa Demodulator SNR
6	64	-5 dB
7	128	-7.5 dB
8	256	-10 dB
9	512	-12.5 dB
10	1024	-15 dB
11	2048	-17.5 dB
12	4096	-20 dB

Коефіцієнт розповсюдження (SF) повинен бути відомий заздалегідь на обох сторонах передачі та прийому оскільки різні фактори розповсюдження є ортогональними один для одного.

Також отримане співвідношення сигнал/шум (SNR), необхідне на вході приймача. Саме можливість прийому сигналів з негативним SNR збільшує чутливість, тому зв'яжіть бюджет і діапазон приймача LoRa.

Збільшення пропускної здатності сигналу дозволяє використовувати більш високу ефективну швидкість передачі даних, тим самим скорочуючи час передачі за рахунок зниження чутливості приймача. Звичайно, у більшості країн Європейського Союзу є нормативні обмеження допустимо зайнятої смуги пропускання. На відміну від модему FSK, який описаний в рамках єдиної бічної смуги, пропускна здатність модему LoRa™ відноситься до подвійної пропускної здатності бічної смуги (або загальної пропускної здатності каналу). Діапазон пропускної здатності, що відповідає більшості ситуацій роботи модему, наведено в таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 - Бітова швидкість

Bandwidth (kHz)	Spreading Factor	Coding rate	Nominal Rb (bps)
7.8	12	4/5	18
10.4	12	4/5	24
15.6	12	4/5	37
20.8	12	4/5	49
31.2	12	4/5	73
41.7	12	4/5	98
62.5	12	4/5	146
125	12	4/5	293
250	12	4/5	586
500	12	4/5	1172

Даний модуль змонтований на тестовій платі для проведення тестування в режимі реального часу. Даний модуль підключений за наступною розпіновкою модуля до мікроконтролера (таблиця 3.3):

Таблиця 3.3 - Підключення

VCC	3.3V
GND	GND
SCK	SCK
MISO	MISO
MOSI	MOSI
NSS	10
NRESET	9
DIO0	2

Отже визначили модуль, який буде використаний в кінцевому пристрої, коротко розкриті його характеристики та структурна схема роботи пристрою. Визначили схему підключення радіо-модуля до мікрокомп'ютера.

### 3.2.2 Базовий радіо-модем для шлюзу мережі

У якості трансиверу шлюзу мережі LoRaWAN використовуємо модуль RA-01 рисунок 3.3 на базі чіпу SX1301.

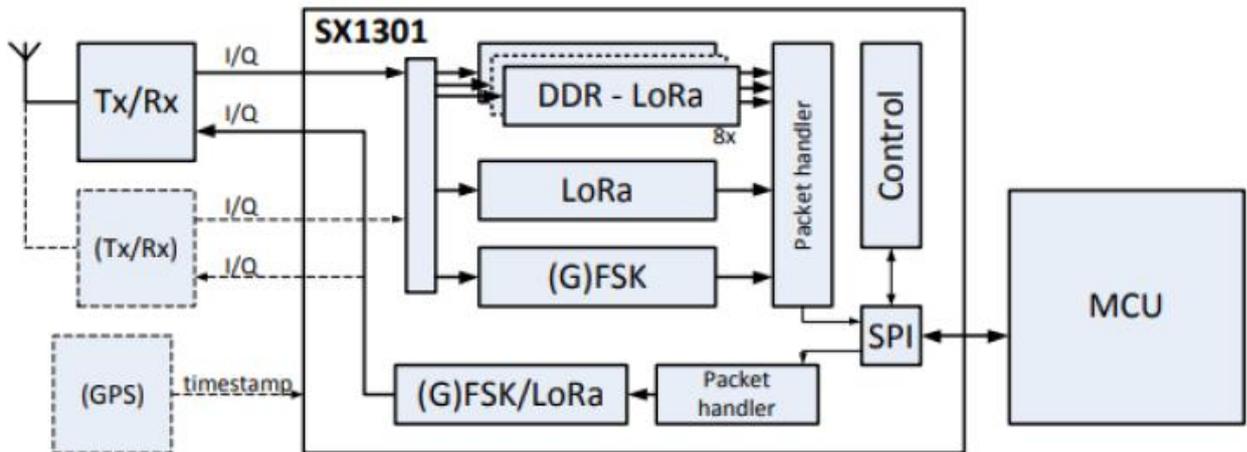


Рис. 3.3 - Структурна схема модему шлюзу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат

Цифровий чіп SX1301 є масовим цифровим механізмом обробки сигналів і спеціально розроблений, щоб запропонувати шлюз, який може працювати в діапазоні групи ISM по всьому світу. Завдяки цьому можлива інтеграція шлюза LoRaWAN. Концентратор LoRaWAN – це багатоканальний передавач/приймач, який призначений для одночасного отримання декількох пакетів LoRa за допомогою використання випадкових факторів розповсюдження сигналу. Його мета - забезпечити надійне з'єднання між центральним ядром мережі і величезною кількістю кінцевих пристроїв на дуже великій відстані.

Основні характеристики:

- Чутливість до -142дБм.
- Відхилення CW інтерференції до 70 дБ при зсуві 1 МГц.
- Можливо до 49х LoRa демодуляцій.
- Двонаправлений інтерфейс прийому та передачі.
- 10 програмованих паралельних демодуляторів.
- Динамічна адаптація до прийнятого сигналу.

Отже визначили основні параметри трансирвера для шлюзу мережі LoRaWAN. Розглянуто структурну схему роботу трансирверу та структурну схему буферу обміну між мережею та сервером обробки, збереження даних.

### 3.2.3 Вибір мікроком'ютера

Для реалізації обробки, зберігання та відображення інформації вибрано мікрокомп'ютер Orange Pi Lite (рис. 3.4).

Дана модель – це одноплатний міні-комп'ютер з відкритим вихідним кодом. Він використовує процесор Allwinner H3 SOC і має оперативну пам'ять 512 МБ DDR3 SDRAM. Він може працювати під управлінням Android 4.4, Ubuntu, Debian, Rasbian. Відмінною особливістю комп'ютера є те, що при збереженні функціональності і сумісності запропонований комп'ютер дуже малих розмірів.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		76

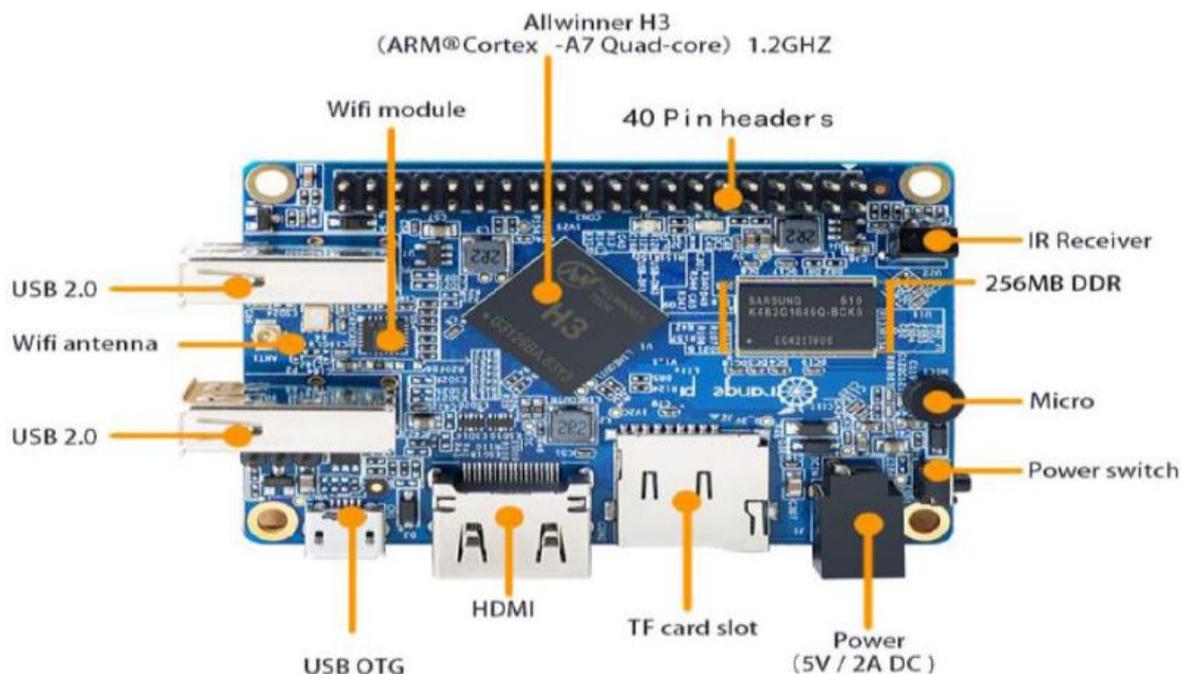


Рисунок 3.4 – Мікрокомп'ютер Orange Pi Lite

Основні характеристики мікрокомп'ютера:

- H3 чотирьохядерний процесор Cortex-A7 H.265.
- Пам'ять (SDRAM): 512 МБ DDR3.
- Зовнішня Wi-Fi антена.
- USB: 2 порти USB 2.0 і один USB 2.0 OTG.
- GPIO: 40 контактів.
- Живлення 5В 1А.
- Розмір: 69 x 48 мм.

Даний мікрокомп'ютер задовольняє наші умови, а саме чотирьох ядерний процесор зможе обробляти велику кількість даних. На платі змонтований роз'єм MicroSD для встановлення картки до 64 Гб. На даній картці встановлена система та основна програма для обробки мережі LoRaWAN. Ще великим плюсом є те, що плата живиться від 5 В. В даному випадку не важливе енергоспоживання системи, тому що шлюз буде встановлений в місці з постійним підведенням напруги.

### 3.2.4 Реалізація функціоналу збору даних кінцевого пристрою

З вище наведеного зрозуміло, що модем Ra-02 є лише трансивером для передачі інформації на шлюз. Для того, щоб керувати устаткуванням або збирати інформацію треба використати додатковий мікроконтролер, який виконує ці всі задачі. Для тестування системи кінцевий пристрій буде представлений такими складовими:

- Мікроконтролер ESP-32.
- Датчик температури DS18B20.
- Годинник DS3231.
- Радіомодем RA-02.

Шлюз представлений як мікрокомп'ютер Orange Pi Lite з трансивером на базі чіпу SX1301:

- На мікрокомп'ютері встановлена Armbian.
- Ядро системи LoRaWAN.
- Трансвер.

### 3.2.5 Тестування системи

Для перевірки системи встановимо попередньо написаний програмний код (Додаток А). В цьому коді реалізовано детектування радіомодему на шині даних мікрокомп'ютера. На рис. 3.5 зображено, що модем виходить на зв'язок та вже надсилає тестові дані:

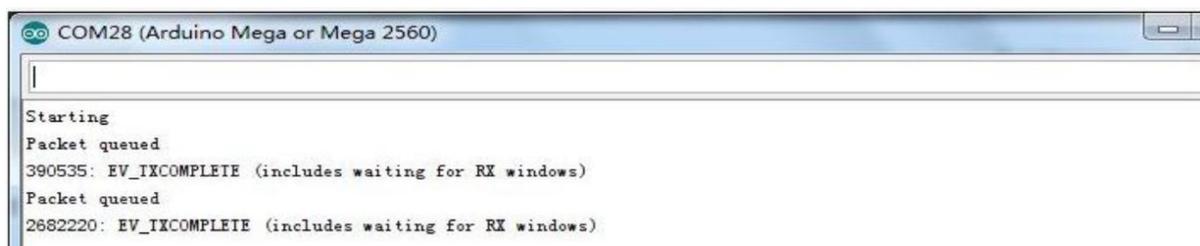


Рисунок 3.5 – Відповідь від радіомодему та відправка тестових даних

На мікрокомп'ютер встановлено ядро мережі LoRaWAN. Дане ядро приймає інформацію від кінцевого пристрою та зберігає їх на карті пам'яті. Для пе-

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		78

ревірки того, що сервер отримує показники від кінцевого пристрою, можемо побачити в терміналі рисунок 3.6.

```
SX1276 detected, starting.
Gateway ID: b8:27:eb:ff:ff:29:4b:3b
Listening at SF7 on 868.100000 Mhz.
-----
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:48:40 GMT","lati":0.00000,"long":0.0
0000,"alti":0,"rxnb":0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Si
ngle Channel Gateway","mail":"","desc":""}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:49:10 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}
Packet RSSI: -38, RSSI: -104, SNR: 10, Length: 26
rxpk update: {"rxpk":{"tmst":1480153284,"chan":0,"rfch":0,"freq":868.100000,"stat":1,"modu":"LORA",
"datr":"SF7BW125","codr":"4/5","lsnr":10,"rssi":-38,"size":26,"data":"QAQFmAmACAABLA78/PgookEQ8UNfxM
nFBTB="}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:49:40 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:1,"rxok":1,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:50:10 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:50:40 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:51:10 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}
stat update: {"stat":{"time":"2016-03-28 12:51:40 GMT","lati":0.00000,"long":0.00000,"alti":0,"rxnb"
:0,"rxok":0,"rxfw":0,"ackr":0.0,"dwnb":0,"txnb":0,"pfrm":"Single Channel Gateway","mail":"","desc":
""}}

```

Рисунок 3.6 – Отримання даних з кінцевого пристрою

### 3.3 Підсистема контролю рухомих об'єктів та персоналу всередині приміщень

Підсистема контролю контактів персоналу - це важливий інструмент створення безпечних умов праці з контролем місцезнаходження та переміщення співробітників (рис. 3.7).

Підсистема дозволяє:

- контролювати відстань між працівниками;
- зберігати інформацію про контакти кожного працівника;
- контролювати ланцюжки контактів усіх працівників підприємств;
- надавати всю інформацію у вигляді звітів.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		



Рисунок 3.7 – Підсистема контролю рухомих об’єктів та персоналу

Контроль контактів персоналу - це одна з можливостей системи контролю за місцем розташування та роботи персоналу. Повна система дозволяє отримувати дані про місцезнаходження співробітників у будь-який час, що призводить до скорочення витрат за рахунок підвищення ефективності їх роботи.

Повноцінна система дозволяє:

- Відображати в режимі реального часу розташування кожного співробітника незалежно від того, чи він знаходиться всередині будівлі чи за її межами.
- Показувати розташування співробітників на поверхах.
- Контролювати знаходження працівників у «Робочій геозоні»
- Контролювати знаходження співробітників у «Неробочій геозоні»
- Контролювати знаходження співробітників на території
- Контролювати знаходження співробітників у «Небезпечних геозонах»
- Контролювати час приходу на роботу
- Контролювати час закінчення роботи
- Контролювати тривалість перебування на роботі
- Фіксувати ранні приходи та запізнення

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						80
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

- Фіксувати ранні відходи та затримки
- Нормувати робочий час та отримувати звіти про відповідність роботи з нормованим часом роботи
- Фіксувати роботу у вихідні та святкові дні
- Контролювати історію та траєкторію переміщень

Для контролю ланцюжків контактів на промислових підприємствах, а також для контролю розташування персоналу, можна використовувати промислові рішення. Як обладнання використовувати промислові трекери MSM PASS.

Всім співробітникам мають видаватися спеціальні пиловологозахищені трекери, які визначають своє місце розташування на відкритому просторі по GPS, а всередині складу - по BLE маяках і передають його на Базову станцію LoRaWAN, яка, у свою чергу, через Інтернет ретранслює ці дані на сервер моніторингу. На сервері в особистому кабінеті всі дані відображаються, аналізуються та надаються у вигляді необхідних звітів та графіків.

Промислові BLE маяки, якими визначається місцезнаходження всередині складів, цехів та інших закритих будівель, встановлюються з кроком, що забезпечує потрібну точність і працюють від вбудованої батареї до 10 років. Маяки легко переставляються.

Переваги запропонованої нами архітектури в тому, що:

- Система швидко розгортається.
- Дальність зв'язку до 10 км.
- Система може доповнюватися в процесі роботи.
- Не потрібно підводити живлення до BLE маяків, оскільки вони працюють від вбудованої батареї.
- Використовуються спеціальні промислові BLE маяки з тривалим часом роботи.
- Співробітниками використовуються захищені трекери, у яких можуть бути вставлені RFID пропуски СКУД системи підприємства.
- Система легко масштабується.

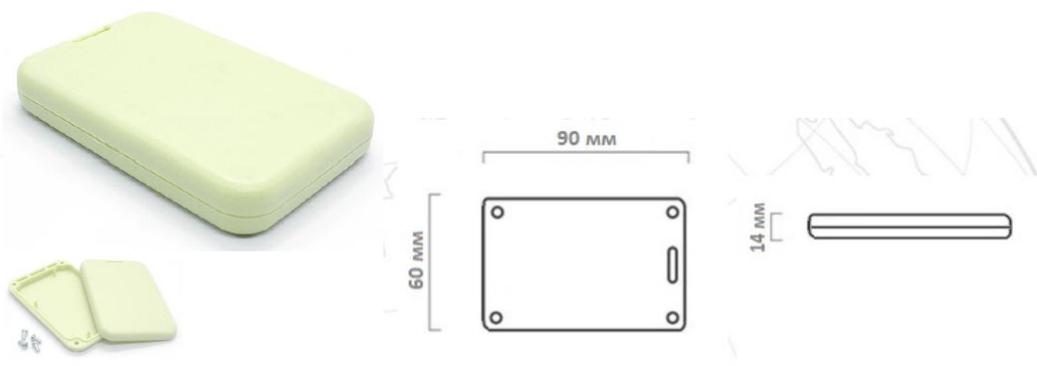
					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						81
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

– Немає жодних платежів за GSM трафік.

Система працює за протоколом LoRaWAN, який не вимагає жодних додаткових витрат. Зазвичай системи моніторингу використовують мережі GSM для передачі даних від трекерів на сервер, що при великій кількості контрольованих об'єктів може становити суттєву суму на оплату трафіку стільниковому оператору щорічно. Тому розгортання на території складу мережі зв'язку стандарту LoRaWAN для контролю персоналу є кращим, оскільки істотно знижує регулярні витрати на підтримку працездатності системи моніторингу.

### 3.3.1 Універсальний промисловий LoRaWAN трекер MSM PASS

MSM PASS - це універсальний промисловий LoRaWAN трекер (рис. 3.8), який спеціально розроблений для використання в системах indoor-моніторингу на промислових підприємствах. Даний трекер визначає своє місцезнаходження за сигналами від BLE маяків, а також визначає відстані до інших трекерів. Цей трекер виконаний з міцного пластику і має високу пиловологозахищеність.



а) зовнішній вигляд

б) габарити

Рисунок 3.8 –Промисловий LoRaWAN трекер MSM PASS

Можливості MSM PASS:

1. Робота в якості мітки Bluetooth.

MSM-Pass є універсальним пристроєм, який в залежності від начинки встановленої всередині плати може бути простим маяком Bluetooth і передавати дані на Bluetooth ХАБи.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		82

## 2. Робота в якості RFID пропуску і мітки Bluetooth.

Всередину корпусу MSM-Pass може бути поміщений пропуск СКУД системи. Тоді MSM-Pass стає міткою, що носить Bluetooth, яка передає сигнал на Bluetooth ХАБи і за цим сигналом визначається її місцезнаходження, а також пропуском у складі СКУД системи.

## 3. Робота як LoRaWAN трекера.

У MSM-Pass на додаток до Bluetooth чіпсету встановлюється LoRaWAN модуль. У такій зв'язці MSM-Pass визначає своє місцезнаходження по трьох видимих BLE маяках і передає його LoRaWAN.

## 4. Робота як LoRaWAN GPS трекера.

У MSM-Pass на додаток до Bluetooth чіпсету встановлюється LoRaWAN модуль та GPS модуль. Така версія MSM-Pass визначає своє розташування всередині приміщень за трьома видимими BLE маяками і передає його LoRaWAN. На вулиці розташування визначається за GPS.

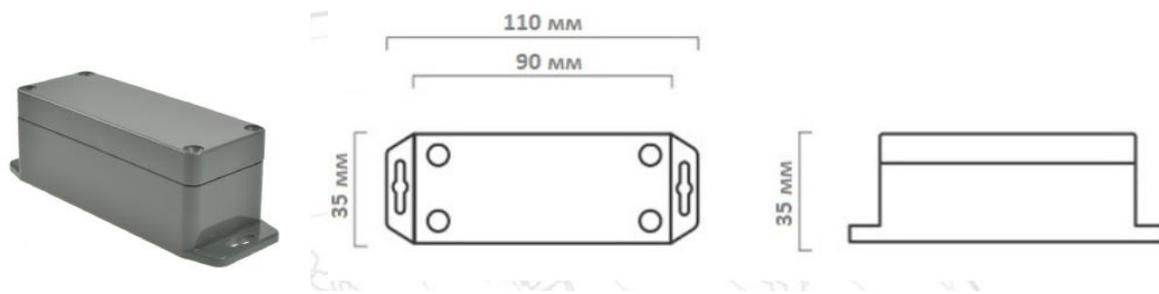
Тим самим MSM-Pass стає універсальним трекером для визначення місця розташування як на вулиці, так і всередині приміщень.

Контролює ланцюжки контактів співробітників. У процесорі MSM-Pass прошитий програма, яка визначає відстань до інших MSM-Pass трекерів і передає їх на сервер. Таким чином, MSM-Pass стає універсальним трекером, який контролює ланцюжки контактів співробітників та визначає розташування як на вулиці, так і всередині приміщень.

### 3.3.2 Промисловий Bluetooth маяк MSM

Промисловий Bluetooth маяк MSM (рис. 3.9) спеціально розроблений та вироблений для використання у системах моніторингу у важких кліматичних умовах. В архітектуру маяка закладені передові технології, що дозволяє значно збільшити радіус дії маяка і час автономної роботи. Використання спеціального захищеного корпусу дозволяє використовувати маяк для роботи на вулиці та на виробництві.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		83



а) зовнішній вигляд

б) габарити

Рисунок 3.9 –Промисловий Bluetooth маяк MSM

Технічні характеристики:

Довжина – 145 мм.

Ширина – 65 мм.

Висота – 40мм.

Матеріал корпусу – пластик.

Герметичність, пило-вологонепроникність – IP65.

Тип кріплення – фланець.

Температура використання – -40С – +80С.

VLE – iBeacon.

Bluetooth – 5 покоління.

Батарея – Lithium-Thionyl Chloride.

Передача інформації про рівень заряду батареї.

Час роботи – до 10 років.

Промисловий Bluetooth маяк MSM живиться від замінних Lithium-Thionyl Chloride батарей великої ємності. Встановлений маяк сучасний чіпсет від компанії Nordic, дозволяє маяку працювати без заміни батареї до 10 років. Використання Bluetooth 5 покоління збільшує радіус дії маяка, що дозволяє використовувати його на промислових підприємствах з високими стелями. Маяк працює за технологією iBeacon. Залежно від конфігурації маяк може бути встановлений акселерометр для визначення факту і сили удару, а також датчик температури.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						84
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ВИСНОВКИ

Метою цієї кваліфікаційної роботи є створення автоматизованої системи управління складськими процесами за рахунок застосування технології Інтернету речей.

У першому розділі проведено аналіз особливостей функціонування складських систем. Наведено опис основних логістичних функцій та документообігу складського господарства. Обґрунтовано доцільність цифровізації складського господарства. Проаналізовано технології, що використовуються на сучасних складських комплексах. Розглянуті базові принципи побудови «розумного складу». Наведено характеристики технології Інтернету речей, яка дозволяє модернізувати складське господарство.

У другому розділі розглянуто особливості технології Інтернету речей. Наведено архітектуру IoT, проаналізовано протоколи, що використовуються у цієї технології. Проаналізовано проблеми, які виникають при реалізації IoT.

В третьому розділі описаний технологічний процес розробки кінцевого пристрою та шлюзу мережі LoRaWAN. Також наведений опис процесу вибору елементної бази пристрою. Проведене попереднє налаштування для подальшого тестування мережі. Представлений вид кінцевого пристрою та шлюзу мережі. Наведений програмний код, який використовували для попереднього тестування мережі. Виконана перевірка того, що кінцевий пристрій передає інформацію на шлюз та шлюз отримує ці дані і коректно їх обробляє.

Обґрунтовано доцільність застосування підсистеми контролю рухомих об'єктів та персоналу всередині приміщень.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						85
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Işık Handan. Digital Warehousing To Modernize Your Supply Chain Management. URL: <https://www.threadinmotion.com/blog/digital-warehousing>
2. Марченко В.М., Шутюк В.В. Логістика: підручник. К.: Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.
3. Lopienski K. International Logistics: Advantages and Challenges for Ecommerce Stores. Retrieved from: <https://www.shipbob.com/blog/international-logistics/>
4. Szymonik A. International Logistics. Lodz University of Technology. 2014. 234p.
5. Hector Sunol. Warehouse Digitalization: The Future of Warehousing. URL: <https://articles.cyzerg.com/warehouse-digitalization-the-future-of-warehousing>
6. Марчук В. Є., Григорак М. Ю., Гармаш О. М., Овдієнко О. В. Складська логістика. Навчальний посібник. Київ, 2020. 256 с.
7. Katterpur, A. (2019), Workflow composition and analysis in Industry 4.0 warehouse automation. IET Collab. Intell. Manuf., 1: 78- 89. <https://doi.org/10.1049/iet-cim.2019.0017>
8. Liu, X.; Cao, J.; Yang, Y.; Jiang, S. CPS-Based Smart Warehouse for Industry 4.0: A Survey of the Underlying Technologies. Computers 2018, 7, 13. <https://doi.org/10.3390/computers7010013>
9. J. F. Ibañez, J. E. Serrano Castañeda and J. C. Martinez Santos, "An IoT Camera System for the Collection of Data Using QR Code as Object Recognition Algorithm," 2018 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), 2018, pp. 1-6, doi: 10.1109/CONIITI.2018.8587087.
10. F. H. Altaf Hussain, V. K. Shukla and A. Tripathi, "Sorting of Objects from Conveyer Belt through Colour Detection and Audrino UNO," 2021 International Conference on Communication information and Computing Technology (ICCICT), 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ICCICT50803.2021.9510037.
11. Євсєєв В.В. Проектування мобільних роботів на базі одноплатних комп'ютерів (Raspberry Pi и мови Python 3.6) // Невлюдов І. Ш., Андрусевич А. О., Євсєєв В. В. Підручник. – Харків : 2020. С. 257.
12. Бездротова мережа LoRaWAN URL: <https://lora-alliance.org/>.

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		86

13. What is the LoRaWAN™ Specification URL: <https://lora-alliance.org/about-lorawan>.

14. NB-IOT против LTE-M (4G), 5G. URL: <https://itkvariat.com/o-raznom/886-nb-iot-protiv-lte-m-4g-5g-kakim-budet-inter-netveschey.html>.

15. С. Гаевский. Чипсеты SX127x с радиоканалом LoRa: архитектура, управление и применение в системах связи // CHIP NEWS Украина. Инженерная микроэлектроника. 2017. № 3.

16. IBM-LMIC: LoRaWAN MAC on embedded systems. IBM, Zurich, 2017. URL: <https://github.com/mccsi-catena/ibm-lmic>

17. Orange Pi One: Debian XFCE 2016-12-12. URL: <http://piboard.io/topic/6/операционные-системыдля-orange-pi>.

18. Модуль мережі RA-02 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/lora-ra-02>.

19. Orange Pi One URL: <https://www.mini-tech.com.ua/orange-pi-one>.

20. Compact server for private LoRa networks. URL: <https://github.com/gotthardp/lorawan-server>

21. Датчик температуры DS18B20 URL: <https://www.mini-tech.com.ua/datchik-temperature-ds18b20>.

22. Yoon T. Bit-Error-Rate Performance Analysis of an Overlap-based CSS System / T.Yoon, D.Chong, S.Ahn, S.Yoon / World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Electrical, Computer, Energetic, Electronic and Communication Engineering Vol: 3, No: 2, 2009. P. 357 – 361.

23. IEEE 802.15.4 IEEE Standard for Information technology— Telecommunications and information exchange between systems— Local and metropolitan area networks — Specific requirements.

24. Pethuru Raj Anupama C. Raman The Internet of Things Enabling Technologies, Platforms, and Use Cases // электрон. книга URL: <https://www.kahkeshan.com/Source/.../948edc08-24ea-4b8d-a398-a761dd825bc3> (дата звернення: 04.12.2018)

25. Лекція 1. Загальні поняття Інтернету речей // электрон. текст. дані URL: <http://academicfox.com/lektsiya-1-zahalni-ponyattya-internetu-rechej/> (дата звернення: 04.12.2018)

26. Борейко О.Ю. Проектування IoT // электрон. текст. дані URL: <https://www.slideshare.net/ssuserf405bc/iot-79608563> (дата звернення: 04.12.2018)

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		87

27. 9. Vladimir\_Sklyar Стандарти архітектури для IoT // електрон. текст. дані URL: <https://habr.com/post/307668/> (дата звернення: 04.12.2018)

28. 10. Росляков А.В. Интернет вещей // електрон. текст. дані URL: [http://elib.psuti.ru/Roslyakov\\_Vanyashin\\_Grebeshkov\\_Internet\\_veschej.pdf](http://elib.psuti.ru/Roslyakov_Vanyashin_Grebeshkov_Internet_veschej.pdf) (дата звернення: 04.12.2018)

29. Дейв Эванс Интернет вещей Как изменится вся наша жизнь на очередном витке развития Всемирной сети // електрон. текст. дані URL: [https://www.cisco.com/c/dam/global/ru\\_ru/assets/executives/pdf/internet\\_of\\_things\\_iot\\_ibsg\\_0411final.pdf](https://www.cisco.com/c/dam/global/ru_ru/assets/executives/pdf/internet_of_things_iot_ibsg_0411final.pdf) (дата звернення: 04.12.2018)

30. Сафронов П.С. Анализ характеристик протокола функционирования беспроводных сенсорных сетей LEACH // електрон. текст. дані URL: [http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/16406/2017\\_272\\_safronovps.pdf?sequence=1](http://dspace.susu.ru/xmlui/bitstream/handle/0001.74/16406/2017_272_safronovps.pdf?sequence=1) (дата звернення: 04.12.2018)

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						88
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

## ДОДАТОК А. Код детектування радіомодему на шині даних мікрокомп'ютера

```
#include "SX1272.h"

int e;
char my_packet[100];

void setup()
{
    // Print a start message
    printf("SX1272 module and Raspberry Pi: receive packets with ACK and retries\n");

    // Power ON the module
    e = sx1272.ON();
    printf("Setting power ON: state %d\n", e);

    // Set transmission mode
    e = sx1272.setMode(4);
    printf("Setting Mode: state %d\n", e);

    // Set header
    e = sx1272.setHeaderON();
    printf("Setting Header ON: state %d\n", e);

    // Select frequency channel
    e = sx1272.setChannel(CH_10_868);
    printf("Setting Channel: state %d\n", e);

    // Set CRC
    e = sx1272.setCRC_ON();
    printf("Setting CRC ON: state %d\n", e);

    // Select output power (Max, High or Low)
    e = sx1272.setPower('H');
    printf("Setting Power: state %d\n", e);

    // Set the node address
    e = sx1272.setNodeAddress(8);
    printf("Setting Node address: state %d\n", e);

    // Print a success message
    printf("SX1272 successfully configured\n\n");
}
```

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						89
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		

```

    delay(1000);
}

void loop(void)
{
    // Receive message
    e = sx1272.receivePacketTimeoutACK(10000);
    if ( e == 0 )
    {
        printf("Receive packet with ACK and retries, state %d\n",e);

        for (unsigned int i = 0; i < sx1272.packet_received.length; i++)
        {
            my_packet[i] = (char)sx1272.packet_received.data[i];
        }
        printf("Message: %s\n", my_packet);
    }
    else {
        printf("Receive packet with ACK and retries, state %d\n",e);
    }
}

int main (){
    setup();
    while(1){
        loop();
    }
    return (0);
}

```

					ХНТУ 174.КРМ.25.04.ПЗ	Арк.
						90
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дат		