

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій
(повна назва)

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та робототехніки
(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Пояснювальна записка

перший (бакалаврський)

(рівень вищої освіти)

Розроблення підсистеми ідентифікації продукції з використанням технології

ІоТ

(тема)

Виконала:

студентка 4 курсу, групи АКТАКІТ-20-2

Ткаченко І. А.

Спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Тип програми Освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Керівник доц. Хрустальова С. В.

Допускається до захисту
Зав. кафедри КІТАР

(підпис)

Невлюдов І. Ш.

(прізвище, ініціали)

2024 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Автоматики і комп'ютеризованих технологій

Кафедра Комп'ютерно-інтегрованих технологій, автоматизації та
робототехніки

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(код і повна назва)

Тип програми освітньо-професійна

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студентові Ткаченко Інні Андріївні
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення підсистеми ідентифікації продукції з використанням технології ІоТ

затверджена наказом університету від _____ 03.06.2024 р. № 544 Ст

2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії _____ 18.06.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи _____

3.1 Призначення і цілі розробки: підсистема призначена для ідентифікації продукції на підприємствах

3.2 Середовище розробки: .NET Core

3.3 Дані мають передаватися безконтактно.

3.4 Сумісність з ОС Windows, Android, iOS.

3.5 Інтерфейс відображення даних повинен бути зручним для користувача.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі _____

4.1 Аналіз методів і технологій ідентифікації продукції.

4.2 Аналіз існуючих комерційних рішень для систем ідентифікації продукції на базі ІоТ.

4.3 Розроблення структурної схеми підсистеми ідентифікації продукції.

4.4 Реалізація програмної частини.

4.5 Розроблення підсистеми ідентифікації продукції.

4.6 Висновки

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) _____
Демонстраційний матеріал, представлений у форматі презентації Power Point (*ppt) – 17
ст. формату А4.

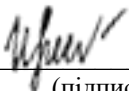
6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1)

Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		підпис	дата

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Аналіз технічного завдання</i>	18.05.2024	<i>виконано</i>
2	<i>Аналіз методів і технологій ідентифікації продукції</i>	19.05.2024	<i>виконано</i>
3	<i>Аналіз існуючих комерційних рішень для систем ідентифікації продукції на базі IoT</i>	21.05.2024	<i>виконано</i>
4	<i>Розробка структурної схеми підсистеми ідентифікації продукції</i>	24.05.2024	<i>виконано</i>
5	<i>Створення програмного забезпечення</i>	27.05.2024	<i>виконано</i>
6	<i>Розробка підсистеми ідентифікації продукції</i>	02.06.2024	<i>виконано</i>
7	<i>Охорона праці</i>	04.06.2024	<i>виконано</i>
8	<i>Оформлення пояснювальної записки</i>	07.06.2024	<i>виконано</i>
9	<i>Подання роботи на перевірку на плагіат</i>	08.06.2024	
10	<i>Подання роботи на рецензію</i>	10.06.2024	
11	<i>Подання роботи на підпис зав. кафедри</i>	12.06.2024	
12	<i>Подання роботи до ЕК</i>	18.06.2024	

Дата видачі завдання _____ 03.06.2024 р.

Студент _____  _____ Ткаченко І. А.
 (підпис)

Керівник роботи _____ доц. Хрустальова С. В.
 (підпис) (посада, прізвище, ініціали)

Я, як студентка ХНУРЕ, розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавала і не одержувала недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

«18» червня 2024 р.



Ткаченко І. А.

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 72 с., 7 табл., 21 рис., 1 дод., 30 джерел.

ІДЕНТИФІКАЦІЯ, ШТРИХ-КОД, РАДІОЧАСТОТНА ІДЕНТИФІКАЦІЯ, АВТОМАТИЗАЦІЯ, СКЛАДСЬКА ЛОГІСТИКА, ІНТЕРНЕТ РЕЧЕЙ, РАДІОЧАСТОТНА МІТКА, МІКРОКОНТРОЛЕР, ОБРОБКА ДАНИХ.

Мета роботи – підвищення ефективності ідентифікації готової продукції на виробництві.

Об'єкт дослідження – процес ідентифікації продукції за допомогою технології ПоТ.

Предмет дослідження – програмний засіб для ідентифікації продукції з використанням технології ПоТ.

Методами дослідження є метод аналізу та метод алгоритмізації.

Проведено аналіз методів і технологій ідентифікації продукції. Також проаналізовано існуючі комерційні рішення для систем ідентифікації продукції на базі ІоТ, досліджено їх структуру, технічні параметри, функціональні можливості та особливості їх використання, а також виявлено переваги та недоліки цих систем. Розроблена структурна схема та алгоритм роботи підсистеми ідентифікації продукції. Проведено вибір компонентів підсистеми, описано їх конструктивні та функціональні особливості, наведено їх технічні характеристики.

Розроблено програмну частину, що забезпечує автоматизований збір, обробку та передачу інформації про ідентифіковану продукцію на веб-додаток для подальшого моніторингу та аналізу цих даних.

ABSTRACT

Explanatory note: 72 pages, 7 tables, 21 pictures, 1 applications, 30 sources.

IDENTIFICATION, BARCODE, RADIO FREQUENCY IDENTIFICATION, AUTOMATION, WAREHOUSE LOGISTICS, INTERNET OF THINGS, RADIO FREQUENCY LABEL, MICROCONTROLLER, DATA PROCESSING.

The purpose of the work is to develop and increase the efficiency of identification of finished products in production.

The object of the study is the method of product identification using IIoT technology.

The subject of the research is the improvement of the product identification method using IIoT technology, which will be implemented in the form of software.

The methods of research are the method of analysis and the method of algorithmization.

An analysis of product identification methods and technologies was carried out. Existing commercial solutions for IoT-based product identification systems were also analyzed, their structure, technical parameters, functionality and features of their use were investigated, as well as the advantages and disadvantages of these systems were identified. The structural diagram and algorithm of the subsystem of product identification have been developed. The subsystem components are selected, their structural and functional features are described, and their technical characteristics are given.

A software part has been developed that provides automated collection, processing and transfer of information about identified products to a web application for further monitoring and analysis of this data.

ЗМІСТ

Перелік скорочень.....	9
Вступ.....	10
1 Аналіз методів та технологій ідентифікації продукції.....	12
1.1 Системи ідентифікації продукції.....	12
1.1.1 Складові систем ідентифікації продукції.....	12
1.1.2 Процес ідентифікації продукції.....	14
1.1.3 Використання технології Інтернету речей (ІоТ) у системах ідентифікації продукції.....	16
1.2 Огляд існуючих комерційних рішень для систем ідентифікації продукції на базі ІоТ.....	19
1.3 Існуючі методи та технології ідентифікації.....	21
1.3.1 Технологія ідентифікації за штрих-кодом.....	21
1.3.2 Технологія радіочастотної ідентифікації.....	27
2 Розроблення структурної схеми та алгоритму роботи підсистеми ідентифікації продукції на базі ІоТ.....	36
2.1 Загальний опис підсистеми.....	36
2.2 Вибір елементної бази.....	39
2.2.1 Вибір мікроконтролера та Wi-Fi модуля.....	39
2.2.2 Вибір модуля сканування RFID-міток.....	41
2.3 Вибір середовища розробки та мови програмування.....	43
2.4 Структурна схема підсистеми та алгоритм взаємодії з нею користувача...	47
3 Розроблення програмно-апаратного комплексу підсистеми ідентифікації продукції на базі ІоТ.....	50
3.1 Реалізація програмної частини.....	50
3.1.1 Опис методів API.....	50
3.1.2 Клієнтський веб-додаток.....	54
3.2 Реалізація апаратної частини.....	58

3.2.1 Пристрій для видалення продукції.....	62
3.2.2 Пристрій для додавання вільної RFID-мітки.....	62
4 Охорона праці.....	64
4.1 Аналіз умов праці в лабораторії.....	64
4.2 Промислова безпека в лабораторії.....	65
Висновки	67
Перелік джерел посилання.....	69
Додаток А Демонстраційний матеріал.....	73

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

AIDC – Automatic Identification and Data Capturing;

API – Application Programming Interface;

ERP – Enterprise Resource Planning;

IIoT – Industrial Internet of Things;

NFC – Near Field Communication;

RFID – Radio Frequency Identification;

WMS – Warehouse Management System.

ВСТУП

У сучасному виробничому середовищі, де важливість кожної деталі є критичною, автоматизація та використання новітніх технологій відіграють ключову роль в забезпеченні ефективності виробництва. Індустріальний Інтернет Речей (IIoT) впроваджує нові стандарти в автоматизації та моніторингу виробничих процесів.

Зі зростанням конкуренції та змінами у виробничих умовах, необхідно використовувати нові підходи до управління та контролю виробництва. IIoT дозволяє збирати і обробляти великі обсяги даних у реальному часі, що забезпечує швидку реакцію на зміни та оптимізацію виробничих процесів. Це дослідження присвячене існуючим методам, технологіям та системам автоматизованого обліку та ідентифікації готової продукції, а також можливостям їх удосконалення за допомогою технології IIoT.

Мета цієї роботи полягає в розробці та підвищення ефективності ідентифікації готової продукції на виробництві.

Об'єктом дослідження є процес ідентифікації продукції за допомогою технології IIoT. Робота спрямована на удосконалення підходів та методів, що використовуються для збору, аналізу та обліку даних про готову продукцію під час переміщення за допомогою технології IIoT.

Предметом дослідження є розроблення програмного засобу для ідентифікації продукції з використанням технології IIoT, який буде реалізований у вигляді програмного забезпечення. Методами дослідження є метод аналізу та метод алгоритмізації. Для досягнення поставленої мети потрібно розв'язати наступні завдання:

- розробити детальну структурну схему автоматизованої системи ідентифікації, враховуючи сенсори, мікроконтролери, мережеві з'єднання, хмарні сервіси, аналітика даних та інтерфейс користувача;

- розробити ефективний алгоритм, що включає етапи збору, передачі та обробки даних;
- обрати компоненти для удосконалення методу ідентифікації;
- реалізувати підсистему ідентифікації продукції у вигляді програмно-апаратного засобу;
- створити базу даних;
- реалізувати підсистему ідентифікації продукції у вигляді програмно-апаратного засобу, провести експеримент, та вивести результат у вікно програми на конкретному прикладі з описом реалізації;
- розробити та оформити пояснювальну записку, використовуючи навчальний посібник з дипломного проектування [1], методичні вказівки [2] та ДСТУ 3008-15 [3].

Виконання цих завдань дозволить систематизувати та реалізувати покращений метод ідентифікації готової продукції, підвищуючи його точність, ефективність та стійкість до зовнішніх впливів.

1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ТЕХНОЛОГІЙ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ

1.1 Системи ідентифікації продукції.

1.1.1 Складові систем ідентифікації продукції.

Системи ідентифікації продукції є комплексними технологічними рішеннями, які забезпечують можливість точного визначення та відстеження продукції на різних етапах її життєвого циклу. Основними складовими таких систем є:

а) ідентифікатори продукції;

1) штрих-коди – графічні зображення, що складаються з чорних та білих смуг різної товщини. Кожна смуга або проміжок між ними представляють певну інформацію, яку може зчитувати спеціальний сканер;

2) RFID-мітки (Radio Frequency Identification) – мітки, що використовують радіохвилі для передачі інформації на зчитувач. Вони можуть бути активними (з вбудованим джерелом живлення) або пасивними (живляться від поля зчитувача);

3) NFC-мітки (Near Field Communication) – мітки, що дозволяють обмінюватися інформацією на коротких відстанях (до 10 см), зазвичай використовуються у мобільних пристроях;

4) QR-коди – двовимірні коди, які можуть зберігати більше інформації порівняно зі штрих-кодами. Вони легко зчитуються за допомогою камер смартфонів та спеціальних додатків;

б) засоби зчитування ідентифікаторів;

1) сканери штрих-кодів – пристрої, що використовують лазер або камеру для зчитування інформації зі штрих-кодів;

2) RFID-зчитувачі – пристрої, що зчитують інформацію з RFID-міток за допомогою радіохвиль. Можуть бути стаціонарними або портативними;

3) NFC-зчитувачі – пристрої або мобільні телефони з підтримкою NFC, які дозволяють зчитувати інформацію з NFC-міток;

4) камери для зчитування QR-кодів – мобільні телефони або інші пристрої з камерою, що використовують спеціальні додатки для розпізнавання QR-кодів;

в) бази даних та системи управління даними;

1) бази даних – системи для зберігання інформації про продукцію, включаючи її ідентифікатори, характеристики, місцезнаходження тощо. Вони можуть бути локальними або хмарними;

2) системи управління базами даних (СУБД) – програмне забезпечення, що забезпечує створення, управління та доступ до баз даних;

3) інтерфейси прикладного програмування (API) – інструменти для інтеграції систем ідентифікації з іншими інформаційними системами підприємства, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) або WMS (Warehouse Management System);

г) програмне забезпечення для обробки ідентифікаційної інформації;

1) програмне забезпечення для зчитування та обробки даних – програми, що дозволяють зчитувати інформацію з ідентифікаторів, передавати її до бази даних та здійснювати обробку;

2) аналітичні інструменти – програмне забезпечення для аналізу зібраних даних, яке дозволяє отримувати звіти, виявляти тенденції та приймати обґрунтовані рішення на основі даних;

д) мережеве обладнання та інфраструктура;

1) мережеві маршрутизатори і комутатори – пристрої, що забезпечують з'єднання компонентів системи ідентифікації між собою та з іншими системами підприємства;

2) безпроводні мережі (Wi-Fi, Zigbee, Bluetooth) – технології для передачі даних між мобільними та стаціонарними компонентами системи.

Загальну структуру даних систем приведено на рисунку 1.1.

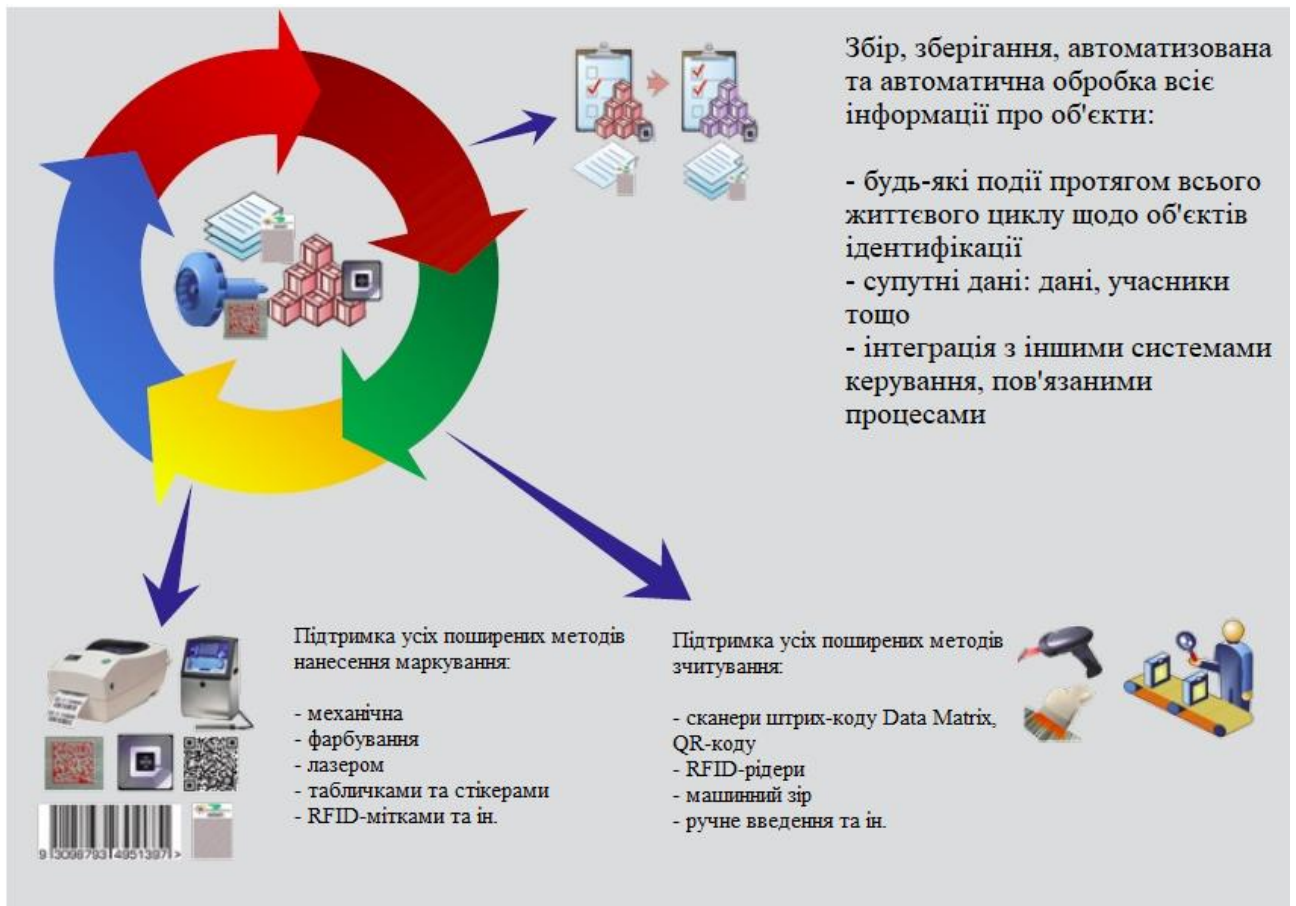


Рисунок 1.1 – Загальна структура систем ідентифікації виробів

Загалом, системи ідентифікації продукції базуються на інтеграції апаратних та програмних компонентів, які забезпечують точне та ефективно зчитування, передачу, зберігання та обробку інформації про продукцію. Впровадження таких систем дозволяє підвищити точність обліку, зменшити ризики помилок, оптимізувати логістичні процеси та підвищити загальну ефективність управління підприємством.

1.1.2 Процес ідентифікації продукції

Пристрої, що складають підсистему взаємодії з навколишнім середовищем, повинні зчитувати необхідні параметри та передавати їх для подальшої обробки.

У сучасному світі для виконання таких завдань існує технологія автоматичної ідентифікації та збору даних (Automatic Identification and Data

Capturing – AIDC). Під цим терміном розуміються методи автоматичної ідентифікації об'єктів, збору даних про них та передачі їх безпосередньо до комп'ютерних систем без участі людини. Ідентифікатор об'єкта складається з інформації, що дозволяє встановити асоціацію з цим об'єктом. Ця інформація може бути представлена у вигляді зображення, звуку або біометричних параметрів людини.

Завдання автоматичної ідентифікації полягає у отриманні даних шляхом обробки зображення або електромагнітних хвиль. Для збору даних використовується перетворювач, який конвертує отриману інформацію у вигляді зображення або аудіозапису в електричні сигнали, що піддаються подальшій обробці комп'ютером. Комп'ютер порівнює вхідну інформацію з існуючою базою даних або самостійно проводить ідентифікацію об'єкта.

Отримання даних може здійснюватися різними методами. Нижче наведено існуючі технології автоматичної ідентифікації об'єктів та збору даних:

- штрих-код;
- радіочастотна ідентифікація (RFID);
- магнітна стрічка;
- оптичне розпізнавання символів (OCR);
- смарт-картки;
- розпізнавання голосу.

Серед зазначених технологій для ідентифікації продовольчих та непродовольчих товарів широко використовуються штрих-код, радіочастотна ідентифікація та оптичне розпізнавання символів.

Оптичне розпізнавання символів часто застосовується при роботі з документами, але існує також практика ідентифікації товару за зображенням упаковки. Цей метод зручний, оскільки користувачеві потрібна лише камера, під'єднана до обчислювальної системи, що оброблятиме отримане зображення. Проте проблема полягає в тому, що для коректної роботи необхідна потужна нейронна модель, яка була б натренована на великій кількості фотографій різноманітних товарів. Враховуючи динамічність ринку роздрібної торгівлі,

появу нових товарів, ребрендинг або зміну дизайну упаковок, модель потрібно постійно оновлювати. Це призводить до значних витрат часу на створення та оновлення датасету зображень товарів і підтримання моделі в актуальному стані.

Ідентифікація продукції є широкою категорією маркування, що включає такі функції, як відстеження товару, захист торгової марки та спосіб відображення інформації про вироблений товар.

Переважна більшість продовольчих та непродовольчих товарів, що виробляються для роздрібної торгівлі, маркуються згідно з міжнародними стандартами.

1.1.3 Використання технології Інтернету речей (ІоТ) у системах ідентифікації продукції

Промисловий Інтернет речей (ІоТ) – це мережа взаємопов'язаних комп'ютерних систем та підключених до них виробничих об'єктів з вбудованими датчиками та програмним забезпеченням для збору й обміну даними. Ці системи надають можливість дистанційного контролю та управління в автоматизованому режимі без участі людини.

Застосування технологій ІоТ у системах обліку готової продукції є важливим для підприємств, які прагнуть підвищити ефективність і точність управління виробництвом. Аналіз включає різні аспекти, такі як використання сенсорних технологій для точного збору даних, засоби забезпечення надійного зв'язку, а також інноваційні рішення для оптимізації управління та контролю готової продукції.

Огляд технологій ІоТ охоплює дослідження передових інструментів, що використовуються для підключення та управління промисловими процесами. Це включає застосування різноманітних сенсорів, засобів збору та обробки даних, а також мережевих технологій для ефективного обміну інформацією.

Сенсорні технології використовуються для вимірювання параметрів виробничих процесів, таких як температура, тиск, вологість тощо. Ці дані надають точну та оперативну інформацію для прийняття управлінських рішень.

Засоби збору та обробки даних організують та аналізують великі обсяги інформації, що надходять від сенсорів та інших джерел. Аналіз даних дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати сценарії виробництва та підвищувати ефективність виробничих процесів.

Мережеві технології забезпечують зв'язок між усіма пристроями та системами виробництва, створюючи єдину структуру для обміну даними. Це включає використання хмарних сервісів, протоколів IoT та інших інноваційних методів передачі інформації. Технології зв'язку, такі як 5G, NB-IoT та Wi-Fi, визначають швидкість і надійність передачі даних між пристроями.

Кібербезпека в контексті IoT є критичним аспектом, оскільки зі зростанням кількості підключених пристроїв необхідно забезпечити безпечний обмін інформацією у промислових мережах. Захист конфіденційності та цілісності даних є ключовим завданням кібербезпеки. Використання шифрування даних допомагає запобігти несанкціонованому доступу до конфіденційної інформації. Контроль цілісності даних дозволяє уникнути змін або втрати важливих виробничих даних. Аутентифікація та авторизація відіграють важливу роль у впровадженні кібербезпеки в IoT, дозволяючи перевіряти ідентифікацію пристроїв та користувачів і керувати рівнями доступу до систем і даних. Заходи захисту від атак і вразливостей важливі для безпеки систем IoT. Регулярний моніторинг і аналіз потенційних загроз дозволяють своєчасно реагувати на можливі атаки та запобігати їх наслідкам.

Переваги впровадження IoT у системи обліку готової продукції:

- моніторинг в реальному часі: технології IoT дозволяють постійно відстежувати готову продукцію в реальному часі, швидко виявляти відхилення, керувати запасами та реагувати на зміни у виробничому процесі;

- точність і автоматизація обліку: автоматизовані системи на базі IoT забезпечують високу точність обліку готової продукції, уникаючи помилок, які виникають при ручному обліку, та надаючи надійні дані;

– оптимізація управління запасами: системи ІоТ дозволяють ефективно відстежувати та управляти рівнем запасів готової продукції, уникати надмірних запасів, знижувати витрати на утримання складів та покращувати планування виробництва;

– забезпечення якості продукції: моніторинг параметрів якості продукції за допомогою сенсорів та засобів ІоТ дозволяє оперативно виявляти відхилення у якості, що сприяє своєчасному втручанню та покращенню якості готової продукції;

– зменшення витрат і оптимізація виробничих процесів: автоматизація за допомогою технологій ІоТ спрощує багато виробничих операцій, що зменшує витрати на працю та оптимізує робочі процеси;

– покращення рішень на основі даних: збір і аналіз великого обсягу даних створює продуктивні аналітичні інструменти, що покращують прийняття рішень в управлінні готовою продукцією;

– забезпечення кібербезпеки: технології ІоТ можуть включати заходи кібербезпеки, що захищають дані про готову продукцію від несанкціонованого доступу та кібератак.

Впровадження технологій ІоТ у системи обліку готової продукції сприяє підвищенню ефективності та конкурентоспроможності підприємства.

На рисунку 1.2 представлені приклади ІоТ системи.

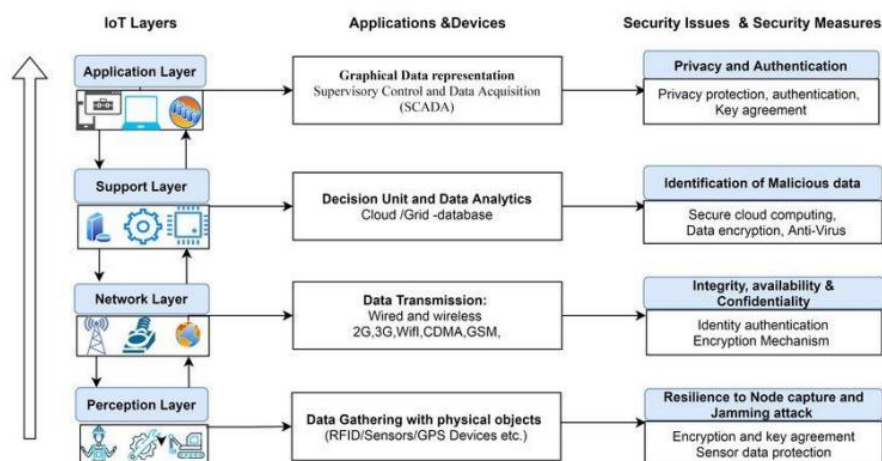


Рисунок 1.2 – Приклади ІоТ системи

1.2 Огляд існуючих комерційних рішень для систем ідентифікації продукції на базі IoT

Найбільші світові торговельні мережі, такі як Wal-Mart Stores Inc., Tesco PLC та Metro AG, вже оцінили переваги технології RFID та активно впроваджують її у своїх розподільчих центрах та складських комплексах. Наприклад, 40 заводів Ford Motor Co. обладнані системами радіоідентифікації. Англійська компанія Tesco встановила понад 4 тисячі пристроїв першого покоління для зчитування та 16 тисяч антен для збору даних з радіоетикеток товарів, що проходять через ворота доків англійських складів. Tesco також застосовує радіочастотні мітки на лезах фірми Gillette, що дозволяє відстежувати кожен товар на складі та в торговому залі. Якщо ефективність буде підтверджена, то радіочастотні мітки можна буде використовувати для багатьох продуктів у майбутньому. Це значно спростить роботу персоналу з інформацією та покращить обслуговування покупців. За допомогою радіоміток можна легко визначити кількість товарів на полицях та їх термін придатності.

Німецька компанія Metro розпочала пробний проект у листопаді 2005 року, в рамках якого 100 постачальників встановлювали радіомітки з даними про місця призначення у 10 оптових магазинах та на 250 складах. Перший RFID-проект Metro був спрямований на вирішення проблеми відсутності товару на полицях (out-of-stock), що може призводити до втрати в середньому 8% річного виторгу ритейлерів, що становить близько 93 мільярдів доларів на рік. Використання RFID на рівні складу дозволяє скоротити кількість відсутніх товарів на полицях від 15% до 20%. Проект був завершений у жовтні 2007 року, і в 180 німецьких магазинах Metro Cash & Carry та Real, а також у розподільчих центрах та на складах Metro Group Logistics (MGL) всі поставки повністю автоматизовані. Це був перший приклад масштабного практичного використання RFID у Європі, що допомогло заощадити близько 28 мільйонів доларів у 2007 році.

Згідно з дослідженням американського системного інтегратора Alinean, використання RFID на складах допомагає запобігати помилкам при поставках,

збільшує швидкість обробки замовлень від 20% до 30% та знижує експлуатаційні витрати на 2-5%, що в результаті призводить до зростання річного виторгу від 2% до 7%. Завдяки RFID набагато простіше відстежувати або знаходити товар у ланцюгу постачань, що дозволяє знизити втрати на цьому етапі на 18%.

Саймон Ленгфорд, менеджер Wal-Mart з глобальних стратегій RFID, оцінює, що технологія RFID та штрихове кодування будуть співіснувати протягом наступних 10-15 років. Усі поточні проекти найбільших ритейлерів світу (Wal-Mart, Metro, Target) щодо застосування технології RFID обмежуються використанням тегів для маркування палетів, коробок та ящиків з товарами. Зокрема, у червні 2003 року Wal-Mart зажадав від 100 своїх найбільших постачальників перейти на технологію RFID для маркування коробок, ящиків та палетів до 2005 року. У серпні 2003 року Wal-Mart заявив, що до 2006 року всі постачальники повинні використовувати теги RFID для маркування коробок, ящиків та палетів для забезпечення більш ефективної системи взаємодії.

Наприкінці квітня Wal-Mart розпочав пілотний проект RFID у своєму розподільчому центрі та у семи центрах на околицях Далласа, Техас. Це рішення є важливим для подальшого впровадження цієї технології. Згідно з оцінками компанії Sanford C. Bernstein, після повного впровадження технології RFID Wal-Mart зможе економити до 8,4 мільярда доларів щороку за рахунок зниження кількості ручної праці, виключення втрат продажів від відсутності товару на полицях, збільшення ефективності та прозорості свого ланцюга постачань.

Історія показує, що якщо Wal-Mart приймає рішення, то всі інші слідують його прикладу. У 80-ті роки Wal-Mart зіграв вирішальну роль у поширенні технології штрихового кодування. Хоча штрих-коди були стандартизовані у 1973 році, до 1984 року лише 15 тисяч виробників товарів використовували їх. Після втручання Wal-Mart до 1987 року вже 75 тисяч постачальників застосовували штрих-коди.

1.3 Існуючі методи та технології ідентифікації.

1.3.1 Технологія ідентифікації за штрих-кодом.

Штрих-код був винайдений у 1949 році аспірантами Інституту Технологій Дрекслея Бернардом Сілвером та Норманом Вудлендом. Вони отримали патент на свій винахід у 1952 році. Однак, штрих-коди не використовувалися в роздрібній торгівлі до 1967 року, коли сканери штрих-кодів почали впроваджуватися в продуктових магазинах у Сполучених Штатах. Принцип кодування полягає в тому, що цифри та літери представлені у вигляді смуг різної ширини. Сьогодні більшість штрих-кодів мають прямокутну форму, тоді як оригінальний дизайн включав концентричні кола різної товщини.

На сьогоднішній день штрих-коди широко використовуються у різних сферах. Для пересічної людини вони найвідоміші завдяки маркуванню товарів у магазинах, що прискорює та спрощує процес доставки товарів від виробника через магазини до покупця. Але це не єдине їх застосування. Наприклад, членські картки роздрібних мереж також використовують штрих-коди для ідентифікації клієнтів, які здійснюють покупки у конкретних магазинах. Такий підхід дозволяє проводити індивідуальний маркетинг та краще розуміти модель покупок з точки зору магазину.

Переважна більшість існуючих методів відстеження товарів базується на ідентифікації за допомогою штрих-кодів. Наприклад, штрих-коди використовують для маркування орендованих автомобілів, багажу в аеропортах, відходів на атомних електростанціях, поштових відправлень тощо.

У медичній сфері штрих-коди знайшли широке застосування. Вони використовуються як для ідентифікації пацієнтів, так і для ведення історії хвороби (фіксація кожного візиту до лікаря у цифровому форматі). Навіть виписування медикаментів може бути підкріплене штрих-кодом та зчитане на касі в аптеці для відображення конкретного списку ліків.

Штрих-коди використовують одновимірну схему кодування. Стійкість коду забезпечується висотою смуг. Тобто, якщо частина символу отримає

пошкодження, то послідовність все одно буде зчитано коректно. Дана характеристика є дуже важливою, оскільки саме упаковка продукції найчастіше пошкоджується. Код містить інформацію про виробника, категорію продукції та безпосередньо її номер. Проте, він не містить інформації про ціну, дату виробництва тощо. Це лише ідентифікатор, за яким вся необхідна інформація має бути отримана з інших джерел даних, наприклад, бази даних магазину або складу виробника.

Види штрих-кодів.

Існує безліч різновидів штрих-кодів, які поділяються на два основні типи: 1D та 2D штрих-коди. Одновимірні (1D) штрих-коди є найбільш поширеними і зазвичай використовуються на упаковках та етикетках. Цей тип кодування називають одновимірним, оскільки інформація зберігається в одній площині – ширині смуг та пробілів. Висота смуг не має значення для інформації, а лише забезпечує стійкість коду. Чим довше повідомлення, тим довший штрих-код. Одновимірні коди підходять для передачі невеликої кількості інформації, наприклад, ідентифікаційного коду товару, за яким можна отримати всю необхідну інформацію з бази даних. Найпоширенішим стандартом одновимірних штрих-кодів у Європі є EAN-13, як показано на рисунку 1.3.



Рисунок 1.3 – Приклад повідомлення у вигляді штрих-коду стандарту EAN-13

Варто зазначити, що часто розшифрована інформація розміщується під штрих-кодом для можливості ручного вводу, наприклад, якщо упаковка товару пошкоджена, касир може вручну ввести числовий код у касову систему.

Двовимірні (2D) штрих-коди є удосконаленою технологією одновимірних кодів. Їх також називають матричними або двовимірними штрих-кодами. Основна відмінність полягає в тому, що інформація зберігається у двох вимірах – вертикально та горизонтально. Графічно ці коди виглядають як набір спеціально впорядкованих точок, квадратів, кіл або шестикутників. Прямокутний 2D штрих-код може містити тисячі символів, що дозволяє компактно розміщувати велику кількість інформації. Це зручно для використання в логістичних структурах, де в код можна помістити адресу, контактні дані та імена отримувача та відправника посилки [4].

Найпоширенішим стандартом двовимірних штрих-кодів є QR-код. Завдяки своїй популярності, QR-коди підтримуються стандартними камерами смартфонів, що дозволяє кожному зчитувати коди та взаємодіяти з інформацією. Наприклад, закодувавши адресу веб-сайту в QR-код, можна швидко перейти на сайт за допомогою смартфона. Або, якщо в коді, як показано на рисунку 1.4, закодувати SSID Wi-Fi мережі та пароль, смартфон спробує автоматично підключитися до цієї мережі.

```
WIFI:S:<SSID>;T:<WPA|WEP|>;P:<password>;H:<true|false|>;
```

Рисунок 1.4 – Формат запису інформації в QR-коді для підключення до Wi-Fi

На рисунку 1.5 зображений приклад QR code, що містить необхідну інформацію для доступу до Wi-Fi мережі з SSID «Test_WiFi» та паролем «32168421».



Рисунок 1.5 – QR code з інформацією для підключення до Wi-Fi мережі

Двовимірні штрих-коди мають значну перевагу над одновимірними не лише завдяки обсягу інформації, яку вони можуть вміщати. Матричні штрих-коди також можуть виправляти помилки, що дозволяє правильно декодувати інформацію навіть при частковому пошкодженні коду. Зокрема, QR-коди мають вбудовану корекцію помилок за допомогою кодів Ріда-Соломона, які часто використовуються в контролерах оперативної пам'яті комп'ютерів та при запису й читанні інформації з оптичних дисків.

Сканери штрих-кодів.

Для зчитування інформації зі штрих-кодів використовуються спеціальні пристрої – сканери штрих-кодів. Це оптичні пристрої, які декодують дані з надрукованих штрих-кодів і передають їх на комп'ютер або інші оброблювальні пристрої. Конструкція сканера включає джерело світла, лінзу та оптичні сенсори, які перетворюють оптичні сигнали на електричні. Сканери також оснащені інтегральними схемами-декодерами, які аналізують зображення штрих-коду і передають розшифровані дані на вихідний порт.

Існує безліч видів сканерів штрих-кодів, кожен з яких підходить для конкретних завдань та сфер застосування. Наприклад, сканери можуть бути стаціонарними або портативними. Стаціонарні сканери зазвичай використовуються на касових апаратах, тоді як портативні зручні для роботи на складах, де працівники можуть переміщатися від одного товару до іншого для

сканування. Сучасні сканери штрих-кодів можна класифікувати за такими технологіями:

- ручний сканер;
- лазерний сканер;
- світлодіодний сканер;
- сканер вбудований у камеру;
- всепрямований сканер.

Ручний сканер виглядає як ручка з вбудованим джерелом світла та фотодіодом. Щоб зчитати штрих-код, необхідно провести ручкою по всіх смугах штрих-коду з постійною швидкістю. Під час сканування фотодіод вимірює інтенсивність відбитого світла і визначає ширину смуг та відстані між ними. Чорні смуги поглинають світло, а білі його відбивають, що дозволяє фотодіоду створювати сигнал на основі рівня відбитого світла. Цей сигнал представляє штрих-код у вигляді електричних імпульсів.

Головною перевагою ручного сканера є його компактність. Однак процес сканування є менш зручним для великих обсягів штрих-кодів, оскільки користувачеві потрібно постійно проводити ручкою по поверхні штрих-коду для його правильного зчитування.

Лазерні сканери функціонують практично так само, як і сканери-ручки, з цією відмінністю, що вони використовують лазерний промінь як джерело світла. Крім того, вони використовують дзеркало або призму для направлення променів після відбиття від штрих-коду знову на поверхню, яку потрібно зчитати. Також, як і у сканері-ручці, для аналізу інтенсивності відбитого світла використовується фотодіод. У обох цих типів сканерів світло, що випромінюється, швидко змінює свою яскравість в залежності від зчитуваних смуг, а використання фотодіодів для розпізнавання коду за інтенсивністю світла підходить тільки для заздалегідь відомої модуляції сигналу.

Світлодіодні сканери (також відомі як CCD або LED сканери) використовують масиви сотень мікросенсорів, розташованих в ряду вгорі сканера. Кожен сенсор вимірює інтенсивність світла безпосередньо перед собою.

Кожен окремий сенсор має дуже малі розміри, але через те, що вони розташовані в одному ряду, вихідний електричний сигнал формується шляхом послідовного збільшення напруги на кожному сенсорі.

Важливою особливістю світлодіодних сканерів є те, що вони вимірюють інтенсивність світла навколо білих та чорних смуг штрих-коду. У той час, коли раніше розглянуті технології вимірюють тільки відбите світло певної частоти, що генерує сам сканер [5]. Схематичний вигляд світлодіодного сканера наведено на рисунку 1.6.

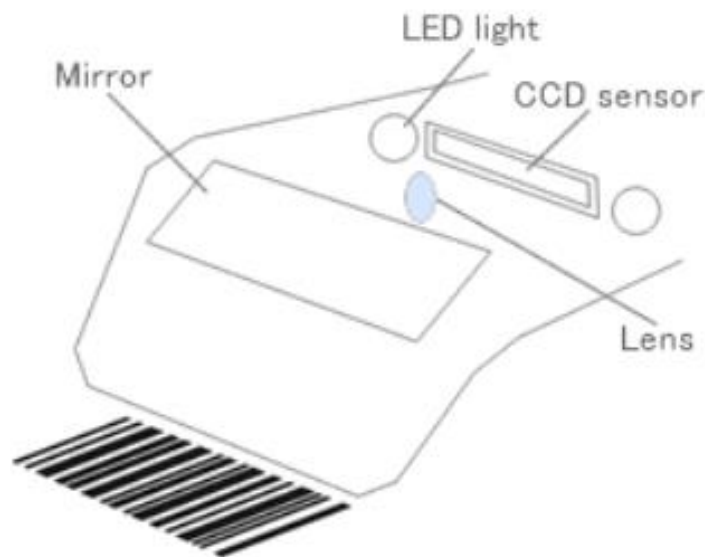


Рисунок 1.6 – Зовнішній вигляд світлодіодного сканера

Камерні сканери в мобільних пристроях вважаються передовим методом для пересічного користувача для сканування штрих-кодів. Здебільшого, ця технологія дозволяє сканувати двовимірні штрих-коди, такі як QR-код або Data Matrix, за допомогою камери смартфона. Серед таких сканерів, варто відзначити ті, які використовують високоякісні промислові камери для здійснення одночасного захоплення та розпізнавання кількох штрих-кодів. Всі коди, що потрапляють у кадр камери, декодуються негайно за допомогою технології ImageID [6].

Багатонаправлені сканери штрих-кодів використовують послідовність прямих або кривих ліній для сканування у різних напрямках, утворюючи зірчасту фігуру Ліссажу, щоб перетинати всі лінії штрих-коду. Більшість таких сканерів використовують лазер як джерело світла. На відміну від простіших лінійних сканерів, багатонаправлені сканери можуть зчитувати штрих-код під будь-яким кутом. Зазвичай такі сканери застосовуються в касах супермаркетів, де товари скануються через скляне або сапфірове віконце. Ці сканери добре зарекомендували себе в комерційних умовах і можуть бути відмінними від тих, що зчитують на короткій відстані, до промислових конвеєрних сканерів, що зчитують інформацію з віддалі кількох метрів [7]. Роботу такого сканеру можна побачити на рисунку 1.7.

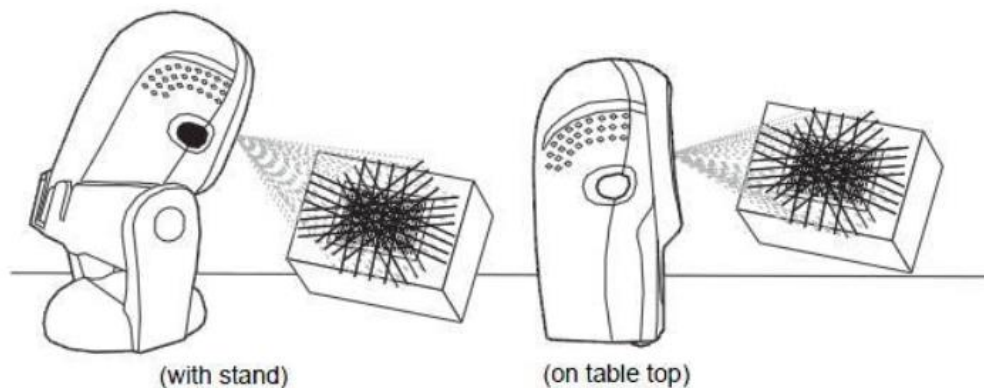


Рисунок 1.7 – Розсіювання променів багатонаправленого сканеру

Саме ця технологія сканування штрих-кодів вважається найбільш надійною при пошкодженні кодів, включаючи погану якість друку або пошкодження поверхні штрих-коду.

1.3.2 Технологія радіочастотної ідентифікації

Радіочастотна ідентифікація або RFID – це технологія автоматичного введення даних, що уможливлює швидке безконтактне зчитування інформації з

невеликих радіо-міток на відстані та за відсутності прямої видимості за допомогою стаціонарних та мобільних зчитувачів.

Радіочастотна ідентифікація використовується, щоб ідентифікувати, простежити, розсортувати та виявити необмежену кількість предметів, включаючи людей, транспортні засоби, одяг, контейнери, транспортну тару та піддони.

Вона може бути використана в таких додатках, як контроль доступу, ідентифікація транспортного засобу, контроль матеріально-виробничих запасів, автоматизація виробництва, контроль за переміщенням потоків вантажів і транспорту, автоматизація складської обробки, автоматизація завантаження-розвантаження. RFID ґрунтується на радіочастоті і є безконтактною технологією, яка не вимагає ні контакту зі зчитувачем, ні прямої видимості зчитувача (як у технології штрих-кодів). Ось чому RFID знімає проблеми, пов'язані з «контактними» і «технологіями, що знаходяться в зоні видимості».

Наприклад, гарне зчитування гарантовано у спеку, дощ, холод, при забрудненні жиром чи корозійними хімічними речовинами.

Стандартна RFID система складається з нижческазаних елементів.

Мітки (tag) – пристрої, здатні зберігати та передавати дані. У пам'яті позначок міститься їхній унікальний ідентифікаційний код. Деякі мітки мають пам'ять, що перезаписується.

Зчитувачі (reader) – прилади, які читають інформацію з міток та записують у них дані. Ці пристрої можуть бути як постійно підключеними до облікової системи, і працювати автономно.

Облікова система – програмне забезпечення, яке накопичує та аналізує отриману з міток інформацію та пов'язує всі елементи в єдину систему. Більшість сучасних облікових систем (програми 1С, корпоративні інформаційні системи MS Ахарта, R3Com) вже сумісні з RFID-технологією і не потребують спеціального доопрацювання.

Ідентифікація об'єктів здійснюється за унікальним цифровим кодом, що зчитується з пам'яті електронної мітки, що прикріплюється до об'єкта

ідентифікації. Зчитувач містить у своєму складі передавач та антену, за допомогою яких випромінюється електромагнітне поле певної частоти. Мітки, що потрапили в зону дії зчитувального поля "відповідають" власним сигналом, що містить інформацію (ідентифікаційний номер товару, дані користувача і т.п.). Сигнал уловлюється антеною зчитувача, інформація розшифровується та передається в комп'ютер для обробки.

Мітки RFID (рис. 1.8) однозначно ідентифікують предмет, на якому вони закріплені та мають у собі пам'ять що дозволяє розширити функціональність цього предмету. Чіп мітки живиться від радіохвиль, що поглинаються антенною та перетворюються у енергію живлення. Таким чином мітки не потребують власного живлення та можуть бути зчитані на відстані до 9 метрів по прямій лінії без перешкод. Існує три типи міток: пасивні, активні та напівактивні [8].



Рисунок 1.8 – Різновиди RFID-міток

Пасивні мітки не містять акумулятор. Вони використовують енергію, яку електромагнітна хвиля від зчитувача індукує в антені, щоб увімкнути мікросхему і передати дані назад до зчитувача. Пасивні мітки відбивають енергію від зчитувача або отримують і тимчасово зберігають енергію, щоб генерувати відповідь мітки зчитувачу. Антенна мітки поглинає енергію радіохвилі і направляє її до чіпу. Тобто, чим більше площа антени, тим вона може поглинути більше енергії або ловити хвилі на більшій віддаленості від джерела радіохвиль.

Активні мітки мають власне джерело живлення, як правило, акумулятор, щоб запускати мікросхеми та передавати дані зчитувачу. Активна мітка дозволяє приймати слабкі та може генерувати сигнал високого рівня для передачі назад до зчитувача. Активна мітка знаходиться у сплячому режимі, поки не отримає сигнал пробудження від зчитувача. Як тільки мітка отримує сигнал пробудження, носій даних переходить у робочий режим. Після завершення транзакції даних мітка знову переходить у сплячий режим. Оскільки у активних міток є акумулятор, вони можуть передавати дані, не вимагаючи живлення від зчитувача. Тому вони мають значно більший діапазон зчитування, ніж пасивні мітки. З іншого боку, через те, що вони містять акумулятор, їх термін експлуатації обмежений [9].

Напівактивні або напівпасивні мітки, залежно від виготовлення, також мають вбудований акумулятор. Акумулятор в цьому випадку використовується тільки для роботи мікросхеми. Як і пасивна мітка, напівактивна використовує енергію в електромагнітному полі для пробудження мікросхеми та передачі даних зчитувачу. Ці мітки іноді називають пасивними з допомогою акумулятора (з англ. “Battery Assisted Passive”).

В кожен мітку запрограмовано її власний ідентифікатор (tag identifier – TID) – це унікальний серійний номер, що записується у мітку виробником. Також у мітку може бути банк пам'яті для зберігання унікального ідентифікатора для відстеження товару, на який згодом буде прикріплена мітка. Він зветься electronic product code або EPC.

ЕРС зберігається в пам'яті чіпу та займає зазвичай 96 біт даних. Перші 8 біт це заголовок, що ідентифікує версію протоколу. Наступні 28 біт ідентифікують організацію, що контролює цю мітку (номер організації за GS1). Наступні 24 біт – це ідентифікатор класу до якого належить продукт. Останні 38 біт це унікальний серійний номер самої мітки. Останні два поля заповнюються організацією, що виготовила цю мітку [10]. Весь код в цілому може бути використаний як ключ до бази даних що ідентифікує предмет, до якого прикріплена ця мітка.

Не існує універсальної мітки для всіх сфер застосування. Саме сферу застосування у більшості випадків визначає антена мітки. Деякі мітки повинні працювати тільки на визначеному діапазоні частот, в той же час інші мають видавати найкращу потужність коли прикріплені до речей, що не пристосовані до бездротової комунікації (наприклад, рідини та метали). Антени можуть бути вироблені з різних матеріалів. Вони можуть бути надруковані, стравлені, відштамповані чорнилами що проводять струм або навіть бути прикріплені парою до паперу.

RFID-мітки з функціями пам'яті варіюються від простих RO-міток до міток з інтелектуальними криптографічними функціями. Є мітки, які мають діапазон пам'яті від декількох байт до приблизно 4 мб пам'яті. Це залежить від того, який тип мітки, пасивний чи активний, обрано та якого стандарту було дотримано при її виробництві.

RO-мітка (з англ. «Read-Only» – тільки для зчитування) має попередньо запрограмований серійний номер, записаний в її пам'яті. Серійний номер вказується під час виготовлення чіпів. Користувач не може змінювати цей серійний номер або записувати нові дані в мітку. Коли мітка заходить у зону запиту зчитувачів, вона надсилає свій серійний номер і буде робити це постійно, поки не вийде із зони зчитування. Зв'язок даних є односпрямованим; передача даних від зчитувача до мітки неможлива. Під час використання міток RO потрібно з'єднати серійний номер мітки продукту, з яким вона пов'язана, з відповідним програмним забезпеченням [11].

RW-мітка (з англ. «Read-Write» – зчитування-запис). Такий тип міток передбачає запис нової інформації в мітку або перезапис наявної інформації. Записувати інформацію в мітку можна лише тоді, коли вона знаходиться в зоні зчитування. Водночас, звичайно, можна прочитати інформацію з мітки. Мітки RW зазвичай мають заздалегідь запрограмований серійний номер, який неможливо перезаписати. Але на відміну від міток RO, мітка RW має простір пам'яті, де користувач може розмістити власну інформацію. Мітка RW має обмежені цикли запису залежно від типу пам'яті, який вона використовує.

WORM-мітка (з англ. «Write Once Read Many» – запиши один раз, прочитай багато разів) – це мітка, яка займає середнє місце між RO та RW. З назви зрозуміло, що створити запис можна лише один раз, а потім прочитати його багато разів. Коли дані записано в мітку, вони блокуються, і з неї можна лише зчитувати інформацію [12].

Зчитувачі RFID.

Зчитувачі RFID – це пристрої, що живлять мітки та обмінюються з ними інформацією за допомогою бездротового зв'язку та передають дані до програмного забезпечення. Ці пристрої підтримують двонаправлений зв'язок з пристроями, на які прикріплені мітки, в радіусі їх допустимої дії. Зчитувачі можуть виконувати велику кількість завдань включаючи просту безперервну інвентаризацію, фільтрування (пошук мітки за заданими критеріями), запис даних у певні мітки тощо.

Пристрої зчитування RFID-міток можуть ідентифікувати та визначити місце знаходження до 1000 міток в секунду. Зчитувачі можуть бути стаціонарними або мобільними та використовувати інтегровану антенну для отримання даних від міток. Чіпи зчитувачів можуть бути вбудовані в такі пристрої як ручні зчитувачі, розумні автомати, пристрої для відстеження товарів, мобільні пристрої та ін.

Стаціонарні зчитувачі повинні мати антенну що посилає енергію через радіохвилі та дані з командами до міток. Оскільки ці зчитувачі часто використовуються для автоматизації, вони можуть підтримувати додаткове

підключення до зовнішніх сенсорів або до світлових пристроїв для сповіщення користувачі про завершення зчитування. Зазвичай такі пристрої підключені до хоста або до мережі щоб передавати дані від міток до додатків вищого рівня [13].

Зараз застосовують два найбільш розповсюджених типи антен: антени з лінійною та з круговою поляризацією (рисунок 1.9).

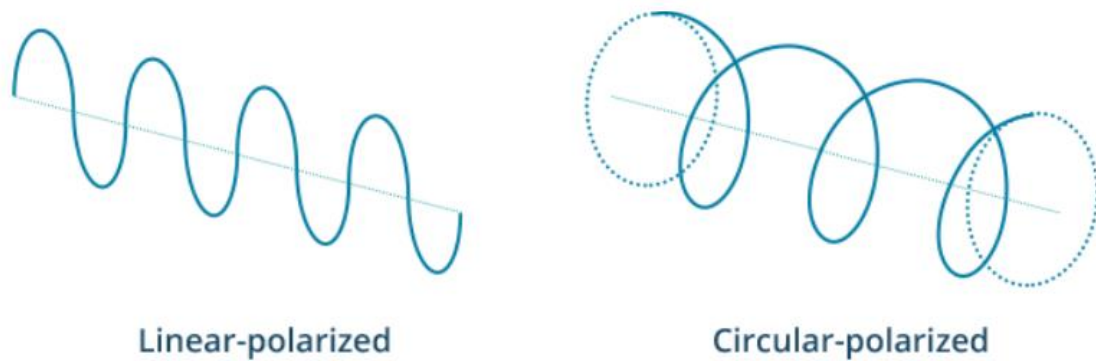


Рисунок 1.9 – Сигнали різних типів антен

Антени, що випромінюють лінійні електричні поля, мають великий діапазон та високий рівень потужності який дозволяє сигналу проходити крізь різні матеріали щоб комунікувати з мітками. Але лінійні антени чутливі до положення міток. Залежно від кута або розташування мітки, зчитувачі з лінійно-поляризаційними антенами можуть краще або гірше тримати зв'язок з міткою.

Вибір антени також визначається відстанню між RFID зчитувачем та міткою, яку необхідно зчитати. Антена зчитувача може працювати або в ближньому полі (короткий діапазон хвилі) або в дальньому полі (довгий діапазон хвилі). У системах з коротким діапазоном хвилі зчитування мітки здійснюється на відстані менше 30 см та використовується магнітний зв'язок для передачі енергії. Також в системах ближнього поля на якість зв'язку не впливає наявність у полі діелектриків, таких як вода або метал.

У зчитувачах за антенами дальнього поля відстань між міткою та зчитувачем перевищує 30 см і навіть може досягати кількох десятків метрів. Антени такого типу використовують електромагнітний зв'язок. Таким чином діелектрики можуть погіршити якість зв'язку між зчитувачем та міткою.

Відстань зчитування RFID.

Максимальна відстань зчитування фізичної мітки залежить від потужності зчитувача RFID, потужності антени, фактичної інтегральної схеми, яка використовується в RFID мітці, матеріалу та товщини матеріалу, яким мітка покрита або захищена, типу антени, яку використовує мітка, матеріалу, до якого прикріплено мітку та інше.

Хоча теоретичний діапазон зчитування RFID-міток у специфікації може бути зазначений як 5 метрів (ідеальні умови), насправді ж, він може становити лише 1 метр, якщо мітка прикріплена до предмета, який знаходиться на металевій поверхні, оточеній водою та електромагнітними хвилями (не ідеальні умови).

Загалом, максимальні відстані зчитування для RFID-міток наступні:

- 125 кГц і 134,3 кГц. Низькочастотні пасивні мітки RFID – відстань зчитування 30 см або менше – зазвичай 10 см, якщо не використовується дуже велика мітка, яка може мати відстань зчитування до 2 метрів при приєднанні до металу;

- 13,56 МГц. Високочастотні пасивні RFID-мітки – максимальна відстань зчитування 1,5 метра – зазвичай менше 1 метра. Можна використовувати одночиповий багатопортовий зчитувач та спеціальні антени, щоб збільшити діапазон зчитування до мітки з довшою відстанню або ширшою зоною зчитування RFID. Для отримання більш ніж 1 метра потрібен зчитувач із вихідною потужністю RFID більше 1 Вт;

- від 860 МГц до 960 МГц. Ультрависокочастотні пасивні RFID-мітки – мінімальна відстань зчитування понад 1 метр. Наприклад, мітки Gen2 можуть мати діапазон зчитування до 12 метрів, однак нові покоління мікросхем з плюсовою антеною збільшують цю відстань до більш ніж 15 метрів. Мітки Gen2 можуть мати частоти 860 МГц або 902 МГц. Gen2 EPCglobal мають діапазон частот від 860 МГц до 960 МГц. Оснащені батареєю мітки Gen2 Semiactive, є напівпасивними (напівактивними) мітками та мають діапазон зчитування до 50 метрів. Мітки Gen2 Semiactive тільки з'являються на ринку;

– від 860 МГц до 960 МГц. Інтегральні схеми 3-го і 4-го покоління. Нові покоління інтегральних схем (Monza4, Higgs3 та NXP G2XM) тепер доступні у різних вбудованих конструкціях. Використання іншого кристалу кремнію забезпечує на 40% більшу чутливість, зменшуючи радіочастотні перешкоди. Це означає, що мітки, які використовують кремній нового покоління, можуть мати діапазон зчитування понад 16 метрів згідно з правилами FCC по 4 Вт EIRP [14];

– 433 МГц. Ультрависокочастотні активні RFID-мітки – діапазон зчитування до 500 метрів;

– 2,45 ГГц. Супервисокочастотні активні RFID-мітки – діапазон зчитування до 100 метрів. Існує кілька різних модуляцій для 2,45 ГГц. Також з цих активних міток можна отримувати інформацію про місцезнаходження в реальному часі.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ТА АЛГОРИТМУ РОБОТИ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ НА БАЗІ ПОТ

2.1 Загальний опис підсистеми

Функціонування системи полягає на тому, що завжди є інформація про те, яка продукція наявна в даних момент часу в магазині/складі тощо. Тобто, система відслідковує, коли продукція з'явилася, та коли її використали, продали або утилізували.

Важливим параметром цієї системи є придатність товарів до ідентифікації. В попередніх розділах було зазначено, що більшість товарів маркуються виробниками за допомогою використання штрих-кодів. Такий спосіб є найдешевшим, оскільки вимагає лише надрукувати на упаковці штрих-код що має невелику площину та складається лише з чорних та білих смуг різної товщини. Існують інші види ідентифікації, але вони вже потребують використання додаткових пристроїв, що підвищує ціну виробництва продукту.

Але з точки зору зручності використання, ідентифікація за допомогою штрих-кодів має певні недоліки, а саме:

- для зчитування штрих-коду необхідно мати прямий доступ до самого коду. Будь-яка перешкода зробить неможливим коректне зчитування коду;
- штрих-коди не мають можливості запису та зчитування додаткових даних окрім ідентифікатора;
- штрих-коди вимагають забагато витрат людського часу та роботи, оскільки кожен штрих-код необхідно відсканувати індивідуально;
- штрих-коди мають низький рівень безпеки, бо їх можна легко сфальсифікувати;
- штрих-коди легко пошкоджуються, оскільки їх друкують на зовнішній стороні упаковки продукції.

Отже, для підвищення ступеню автоматизації процесу вирішено використовувати засіб ідентифікації, що не потребує людського втручання. Такою технологією була обрана радіочастотна ідентифікація – RFID.

Значною перевагою з боку підвищення автоматизації є те, що для використання такого способу користувачу необхідно лише закріпити RFID-мітку на будь-який вид продукції. З цього моменту даний продукт може бути внесено в облікову систему. Це дає можливість додавання навіть тих товарів, упаковки яких не мають штрих-кода. Зчитувачі RFID-міток миттєво реагують, коли в їх радіус дії потрапляє мітка. Для цього не має потреби певним чином фіксувати мітку під зчитувачем, а достатньо лише піднести її на мінімально необхідну відстань.

У будь-якого виду продукції є певний час існування від того моменту, як його було вироблено чи придбано, до того моменту, коли його буде утилізовано або продано. Це є життєвим циклом продукту у складському приміщенні підприємства. Як було зазначено, для того щоб визначити, який товар повинен бути куплений/вироблений знову, треба відслідкувати, коли його було використано або утилізовано. Тобто, система має виявляти, коли життєвий цикл цієї продукції завершився.

Для моніторингу життєвого циклу було запропоновано спиратися на ідентифікатор, котрий присвоєно продукції на етапі у систему. Для цього на виході зі складу, або неподалік від нього необхідно здійснювати ідентифікацію продукції.

В контексті розроблюваного програмно-апаратного комплексу як системи моніторингу продукції на складі, інтеграція технології радіочастотної ідентифікації систему дасть змогу користувачам не виконувати зайвих операцій для додавання в систему вхідних даних. Для визначення продукції як утилізованої/проданої, користувачеві треба лише завчасно розмістити RFID-зчитувач неподалік від виходу зі складу.

Однак застосування RFID призводить до збільшення витрат для користувача. Нажаль, сьогодні маркування RFID-мітками товарів в магазинах

можна зустріти доволі рідко, адже це не завжди доцільно. Такому способу маркування підлягають лише цінні товари.

Але все ж таки у світі прогресує тенденція до заміни штрих-кодів на RFID-мітки. Вже цьогоріч, третя по величині мережа роздрібної торгівлі, після Walmart та The Home Depot, Kroger представила новий формат магазинів, де замість штрих-кодів для обліку використовуються радіочастотні мітки. Спільно з Microsoft вони реалізували розрахунок на касі через мобільний додаток, використовуючи чіпи NFC [15].

Такі події з участю всесвітньо відомих компаній в сфері маркетингу свідчать підтвердженням того, що у майбутньому світ може відмовитися від використання штрих-кодів на користь RFID-міток. Тож можна сказати, що для сьогоднішніх потенційних користувачів розроблюваної системи незручності, пов'язані з необхідністю самостійного маркування товарів радіочастотним мітками, є лише тимчасовими. В подальшому, коли маркування RFID-мітками буде забезпечуватися мережами роздрібної торгівлі, або навіть виробниками, користувачам не треба буде витрачати час та кошти на маркування товарів самостійно.

Програмне забезпечення розроблено таким чином, що може обробляти дані будь-якого з пристроїв – сканеру RFID або смартфона. Це надає досить широкий вибір альтернатив у контексті сучасних засобів ідентифікації продукції. Отриманий ідентифікатор через Інтернет передаватиметься до сервера та опрацьовуватиметься програмним забезпеченням.

В розроблюваному програмно-апаратному комплексі програмна частина має відповідати за обробку інформації що надходить від фізичних пристроїв та представлення її у зручному для користувача вигляді.

Найбільш оптимальним способом реалізації є створення веб-додатку. Для ідентифікації користувача в веб-додатку передбачено реєстрацію аккаунту.

Програмно-апаратний комплекс призначений для застосування в приміщенні, де необхідно автоматизувати складську логістику. Апаратна частина комплексу складається з двох пристроїв. Один з яких має бути розміщений на

виході зі складу, оскільки він відповідає за фіксацію факту утилізації/продажу одиниці продукції.

Інший пристрій використовуватиметься для маркування продукції радіочастотними мітками. За його допомогою користувач фіксуватиме в системі появу певної RFID-мітки, після чого зв'язуватиме її з певним товаром з числа тих, які вже наявні у системі моніторингу.

Обидва пристрої є автономними одиницями оскільки мають власне джерело живлення – акумулятор, який можна заряджати за допомогою інтерфейсу micro-USB. Такий мобільний підхід дозволить легко розмістити ці два пристрої в будь-якому приміщенні без необхідності забезпечувати ці пристрої стаціонарним живленням.

2.2 Вибір елементної бази

2.2.1 Вибір мікроконтролера та Wi-Fi модуля

ESP8266 – це Wi-Fi модуль, що виробляється компанією Espressif та представляється як високоінтегроване рішення системи на кристалі для інтернету речей (рис. 2.1) [16].



Рисунок 2.1 – Мікроконтролер ESP8266

Завдяки широким та самодостатнім можливостям взаємодії з Wi-Fi мережею, ESP8266 може виступати як самостійний базовий компонент для проектування систем з автоматизації розумного дому, так і бути відомим пристроєм по відношенню до ведучого пристрою у вже існуючій більш складній системі. Коли ESP8266 використовується як основний компонент проекту та має в собі вшитий програмний код, він запускається з флеш-пам'яті та починає виконувати команди передбачені програмою. В той же час він може виступати в якості Wi-Fi адаптеру для будь-якого мікроконтролера та отримувати від нього команди за SPI або UART інтерфейсами.

В модуль вбудовано розширену версію 32-бітного процесора Tensilica L106 Diamond series та вбудовану SRAM пам'ять. Комунікація з зовнішніми пристроями відбувається через цифрові лінії GPIO. Наявне SDK надає приклади програм для побудови простих проектів з використанням даного модулю.

Модуль ESP8266 підтримує повний стек протоколів 802.11 b/g/n. При використанні протоколу 802.11 n швидкість передачі даних модулем може сягати 72 Мбіт/с. Модуль працює на частоті хвиль 2,4 ГГц, що є недоліком в розрізі того, що все більше і більше пристроїв отримують підтримку роботи на частоті 5 ГГц. Це дозволяє зменшити трафік з одного каналу мережі Wi-Fi шляхом розподілення навантаження між двома каналами. Для отримання вищої якості зв'язку, до модуля може бути під'єднана зовнішня антена. Живиться ESP8266 постійною напругою від 3 В до 3,6 В.

Слід зауважити, що чіп є вкрай чутливим до виходу напруги за визначений діапазон. Навіть незначне перевищення може призвести до пошкодження чіпу. Тому вкрай необхідно забезпечити модуль стабільним живленням з напругою 3,3 В.

Процесор Tensilica L106, яким оснащений модуль, має дуже низький рівень споживання енергії та досягає тактової частоти 160 МГц. В модулі присутня операційна система RTOS (Real-Time Operating System). Вона дозволяє модулю виконувати інструкції, що містяться в програмі, розміщеної у флеш пам'яті. Процесор має наступні інтерфейси для зовнішньої взаємодії:

- програмовані інтерфейси ОЗУ та ПЗУ (iBus), які можна підключити до пам'яті контролера, а також використовувати для доступу до флеш-пам'яті;
- інтерфейс оперативної пам'яті даних (dBus), який може з'єднуватися з контролером пам'яті;
- інтерфейс АНВ, який можна використовувати для отримання даних з реєстру.

Реалізація модулю, як системи на кристалі об'єднує пам'ять контролера та окремі блоки пам'яті, включаючи SRAM і ROM. Мікроконтролер може отримати доступ до цієї пам'яті, як вже було сказано, через інтерфейси iBus, dBus та АНВ. Для програмування модулю, розробнику доступно до 16 Мб флеш-пам'яті [16].

ESP8266, як і Arduino, існує в багатьох реалізаціях. Кожна з них відрізняється типом антени, кількістю виведених пінів від мікроконтролера назовні та кількістю флеш-пам'яті.

2.2.2 Вибір модуля сканування RFID-міток

Для підтримки технології радіочастотної ідентифікації необхідно створити спеціалізовані апаратні пристрої, що будуть її здійснювати. Після отримання даних з радіочастотної мітки, вони будуть передані через мережу Інтернет до API веб-додатку.

Для сканування RFID-міток було обрано модуль RC522. Це один з найдоступніших модулів для зчитування радіочастотних міток. Він побудований на базі інтегральної мікросхеми MFRC522, що виробляється компанією NXP. Модуль сканеру може взаємодіяти з зовнішнім мікроконтролером через SPI інтерфейс, що складається з чотирьох пінів. Максимальна швидкість обміну даними складає 10 Мбіт/с. Також підтримуються інтерфейси UART та I²C для зовнішньої комунікації [17]. Модуль RC522 зображено на рисунку 2.2.

RC522 створює електромагнітне поле з хвилями частоти 13,56 МГц. Це поле використовується для комунікації з мітками стандартів ISO/IEC 14443, MIFARE та NTAG. В модулі присутній спеціальний пін переривання. За його допомогою модуль сам дає інформацію про те що в полі дії з'явилась мітка [18].

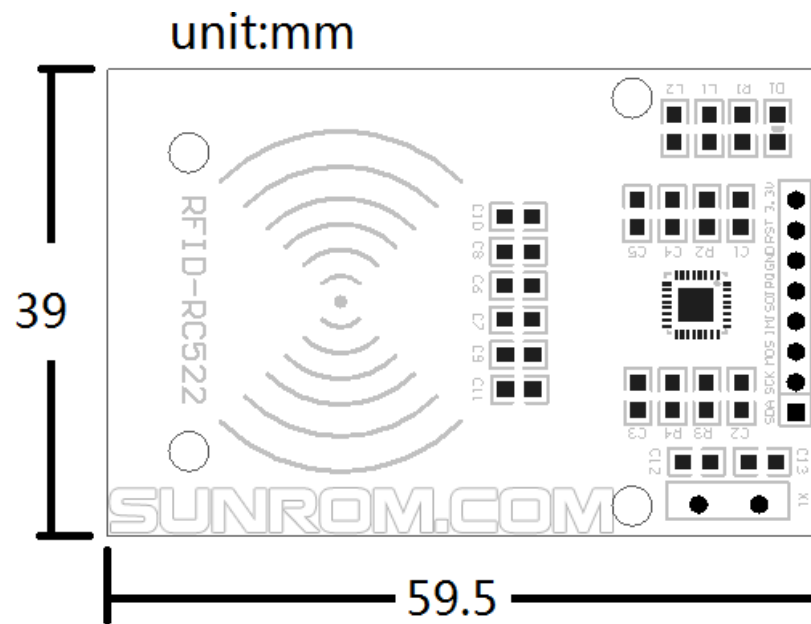


Рисунок 2.2 – Зображення модулю RFID-зчитувача RC522

Робоча напруга модулю складає від 2,5 В до 3,3 В. Також цей модуль має логічні піни, що толерантні до напруги 5 В. Це означає що модуль може легко взаємодіяти з Arduino та іншими мікроконтролерами з 5 В логікою без використання додаткових логічних перетворювачів [19]. В таблиці 2.1 наведено технічні характеристики RC522.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики зчитувача RC522

Споживання струму під час розпізнавання	від 13 мА до 26 мА
Робоча напруга	від 2,5 В до 3,3 В
Робоча частота	13,56 МГц
Відстань до зчитування мітки	від 0 мм до 50 мм
Підтримка міток	Стандарти MF1xxS20, MF1xxS70 та MF1xxS50
Інтерфейси комунікації	SPI, I ² C, UART

Всього модуль має 8 пінів, що доступні для зовнішньої взаємодії:

- VCC – пін живлення модуля. На нього необхідно подавати постійну напругу від 2,5 В до 3,3 В;
- RST – пін для переведення модулю в неактивний режим (сигнал низького рівня) та для скидання налаштувань (сигнал високого рівня);
- GND – пін для заземлення. Має бути з'єднаний з відповідним піном зовнішнього мікроконтролера;
- IRQ – пін переривання, що сигналізує про наявну мітку в електромагнітному полі зчитувача;
- MISO – вхід ведучого, вихід веденого (англ. Master In Slave Out) для SPI інтерфейсу;
- MOSI – вихід ведучого, вхід веденого (англ. Master Out Slave In) для SPI інтерфейсу;
- SCK – пін, що приймає тактові імпульси від генератора зовнішнього мікроконтролера;
- SS – пін, що слугує приймачем сигналу початку або кінця зв'язку для SPI інтерфейсу.

2.3 Вибір середовища розробки та мови програмування

Розглянемо детальніше стандартну модель використання розроблюваної підсистеми. В нижче вказаних сценаріях застосування треба взаємодіяти з веб-додатком. Він є невід'ємною частиною розроблюваної системи. Веб-додаток поєднує в собі, як ядро системи, так і клієнтський застосунок.

Програмна частина має здійснювати обробку та аналіз отриманих даних, синхронізувати інформацію між пристроями користувачів та виконувати функцію базового інструмента автоматизації ведення складського обліку.

Для розроблення програмного забезпечення обрано платформу .NET Core. Ця платформа є крос-платформним спадкоємцем платформи .NET Framework від Microsoft. Тобто розроблення та хостинг застосунків здійснюватиметься на всіх

операційних системах для комп'ютерів: Windows, MacOS, Linux [20]. Для розробників це означає, що їх не буде обмежено вибором машини для розробки програмного забезпечення.

Для бізнесу це буде означати, що можна розміщувати додатки на хостингах та серверах з будь-якою операційною системою. Слід зауважити, що сервери під управлінням Windows в середньому виходять дорожче за аналогічні сервери з іншою операційною системою. Це було одним з ключових недоліків платформи .NET Framework коли мова йшла про вибір платформи для розробки програмного забезпечення.

В рамках платформи .NET Core існує чотири сценарії розробки застосунків [21]:

- веб застосунки ASP.NET Core;
- консольні застосунки;
- допоміжні бібліотеки та фреймворки;
- застосунки для Windows 10 (UWP – Universal Windows Platform).

Серед усіх інших інструментів створення веб-застосунку було обрано ASP.NET Core. Це потужний фреймворк в рамках платформи .NET Core що забезпечує розробника повним стеком технологій для розробки повноцінного веб-застосунку. Він включає в себе наступні компоненти для розробки [22]:

- Entity Framework (EF) Core;
- Identity Core;
- MVC Core;
- Razor Core;
- SignalR;
- Blazor.

В розробці програмного застосунку було використані всі компоненти фреймворку ASP.NET Core окрім SignalR та Blazor. Короткий опис кожного з них наведено нижче.

Entity Framework (EF) Core – це інструмент роботи за базою даних, так званий object-relational mapper (ORM). Він представляє таблиці бази даних та

записи в них, у вигляді звичних для розробника класів та об'єктів відповідно [23]. Це значно полегшує взаємодію з базою даних.

Entity Framework Core може взаємодіяти з різними СУБД. Для цього платформа .NET Core надає велику кількість провайдерів для роботи з базами даних. Серед них є провайдери для роботи з наступними базами даних: MySQL, MariaDB, MS SQL Server, PostgreSQL, SQLite, Oracle DB та ін. Для того, щоб не залежати від операційної системи розробки та хостингу було вирішено використати MySQL, оскільки ця СУБД має широку підтримку та зручний інтерфейс для розробки [24]. За допомогою засобів ASP.NET Core та EF Core було створено модель бази даних за принципом code-first: спочатку були створені класи для кожної моделі та сутності бази даних, а потім інструментами EF Core був сгенерований скрипт для створення відповідної схеми бази даних.

Identity Core – це система авторизації та аутентифікації засобами графічного інтерфейсу у веб-застосунку. За її допомогою користувачі можуть створити обліковий запис, що буде зберігатися в базі даних. Також Identity Core може бути інтегрований із зовнішнім постачальником послуг аутентифікації. Наразі підтримуються наступні зовнішні постачальники послуг: Facebook, Google, Microsoft та Twitter [25]. В такий спосіб користувачу не має потреби реєструвати обліковий запис на свою пошту та запам'ятовувати ще один пароль. Уся необхідна інформація для аутентифікації буде отримуватися з облікового запису вище перелічених постачальників послуг аутентифікації.

Identity Core створює свої таблиці в базі даних для того, щоб зберігати інформацію про ролі, права, токени для надання доступу та інформацію з облікових записів користувачів. В веб-застосунку створюються два контролери, що відповідають за всі дії пов'язані з роботою з обліковим записом: логін та реєстрація аккаунту, відновлення паролю, редагування особистої інформації, інтеграція із зовнішніми постачальниками послуг аутентифікації та навіть впровадження двох-факторної аутентифікації через мобільний пристрій. При реєстрації кожному користувачу присвоюється ідентифікатор в строковому форматі, що зберігається в таблиці aspnetusers [26]. Саме за цим ідентифікатором

в подальшому буде встановлюватися зв'язок між веб-застосунком, користувачем та тими товарами, що знаходяться в підсистемі моніторингу.

MVC Core та Razor Core – це фреймворки для побудови клієнтських застосунків. Вони схожі, але є в них відмінність у концепції побудови архітектури. Виходячи з назви зрозуміло, що MVC Core надає інструмент побудови веб-застосунків та API використовуючи шаблон розробки Model-View-Controller (MVC) [27]. Це архітектурний шаблон, що розділяє застосунок на три основні групи компонентів: модель (model), представлення (view) та контролер (controller). Такий поділ допомагає досягти такого поняття у програмуванні, як розділення відповідальності (separation of concerns). Схема взаємодії компонентів MVC з користувачем зображена на рисунку 2.3.

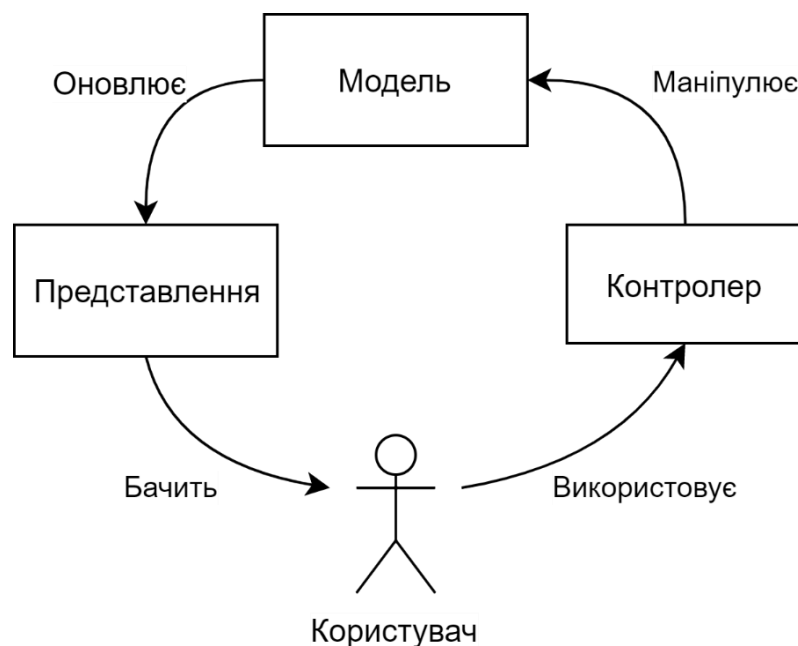


Рисунок 2.3 – Взаємодія компонентів в шаблоні MVC

Razor Core – це технологія що з'явилась нещодавно в платформі .NET. На відміну від MVC Core полягає в тому, що модель і контролера вже включені в саму сторінку застосунку. Інакше кажучи, шаблон приймає вигляд Model-View-ViewModel (MVVM). Така модель забезпечує двонаправлений рух даних у застосунку. Якщо дані були змінені у моделі, то оновиться представлення, і

навпаки (у MVC тільки однонаправлений рух даних – від моделі до представлення) [28].

2.4 Структурна схема підсистеми та алгоритм взаємодії з нею користувача

Підсистема з використанням радіочастотної ідентифікації включає в себе можливості додавання міток нової продукції, відслідковування міток наявної та видалення міток реалізованої/утилізованої. Її структурну схему наведено на рисунку 2.4.

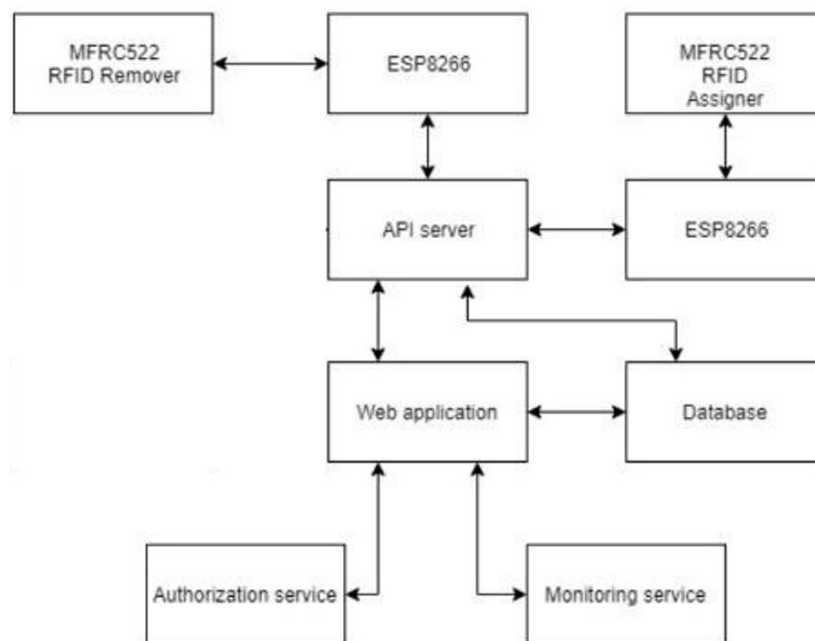


Рис 2.4 – Структурна схема підсистеми ідентифікації продукції

Розміщення підсистем видалення та додавання міток залишається незмінним – пристрій знаходиться біля входу та біля виходу зі складу. Як тільки в радіусі дії RFID-зчитувача з'являється мітка, то він відразу її зчитає та надішле дані ідентифікатора до сервера для подальшої обробки. Процедура видалення продукції RFID-сканером зображена на рисунку 2.5.

Щоб вирішити проблему відсутності маркування товарів радіочастотними мітками, використовується аналогічний пристрій – зчитувач RFID-міток.

Основне завдання цього пристрою – зареєструвати радіочастотну мітку в системі. Для цього потрібні спеціальні наклейки-мітки. Кожна мітка, відсканована цим пристроєм, стає видимою для системи моніторингу, але ще не прив'язана до конкретного товару. Таку мітку можна назвати "вільною". Щоб прив'язати мітку до товару, користувач наклеює її на упаковку товару. Потім у веб-додатку він натискає відповідну кнопку навпроти потрібного товару, зв'язуючи його з вільною міткою.

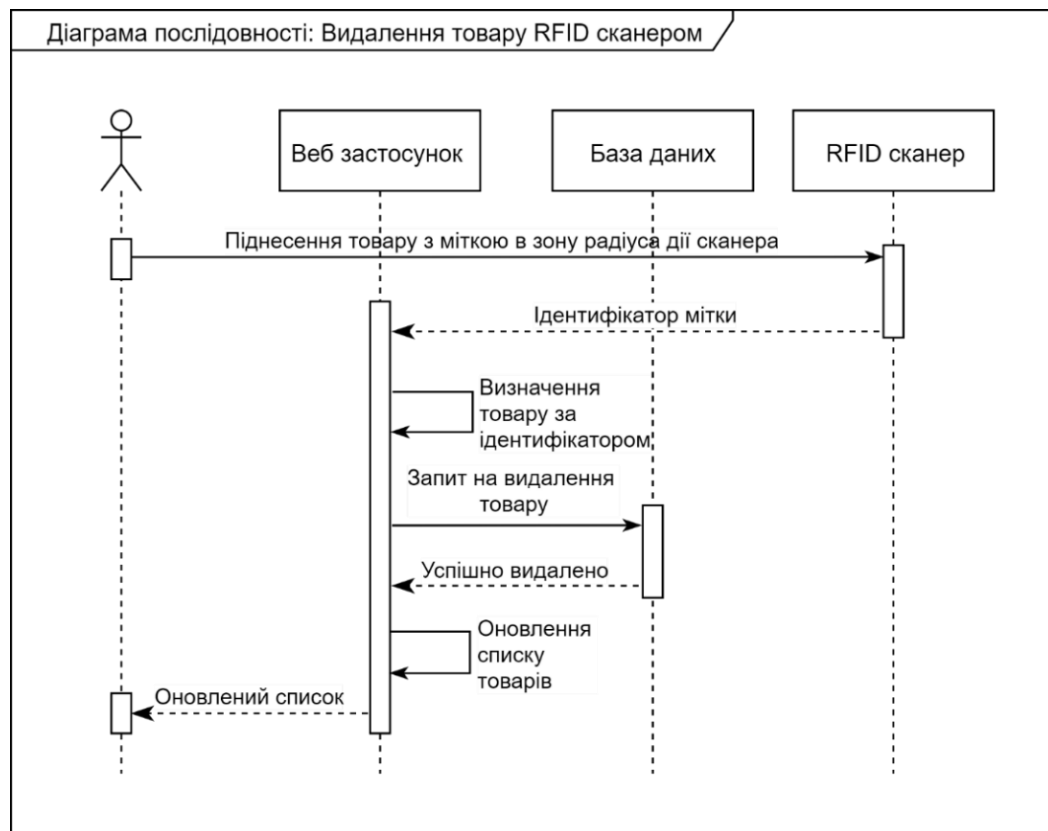


Рисунок 2.5 – UML діаграма послідовності видалення мітки RFID-сканером

Тепер система знає, що мітка з певним ідентифікатором прив'язана до конкретного товару. Процес додавання товару за допомогою RFID показано на рисунку 2.6.

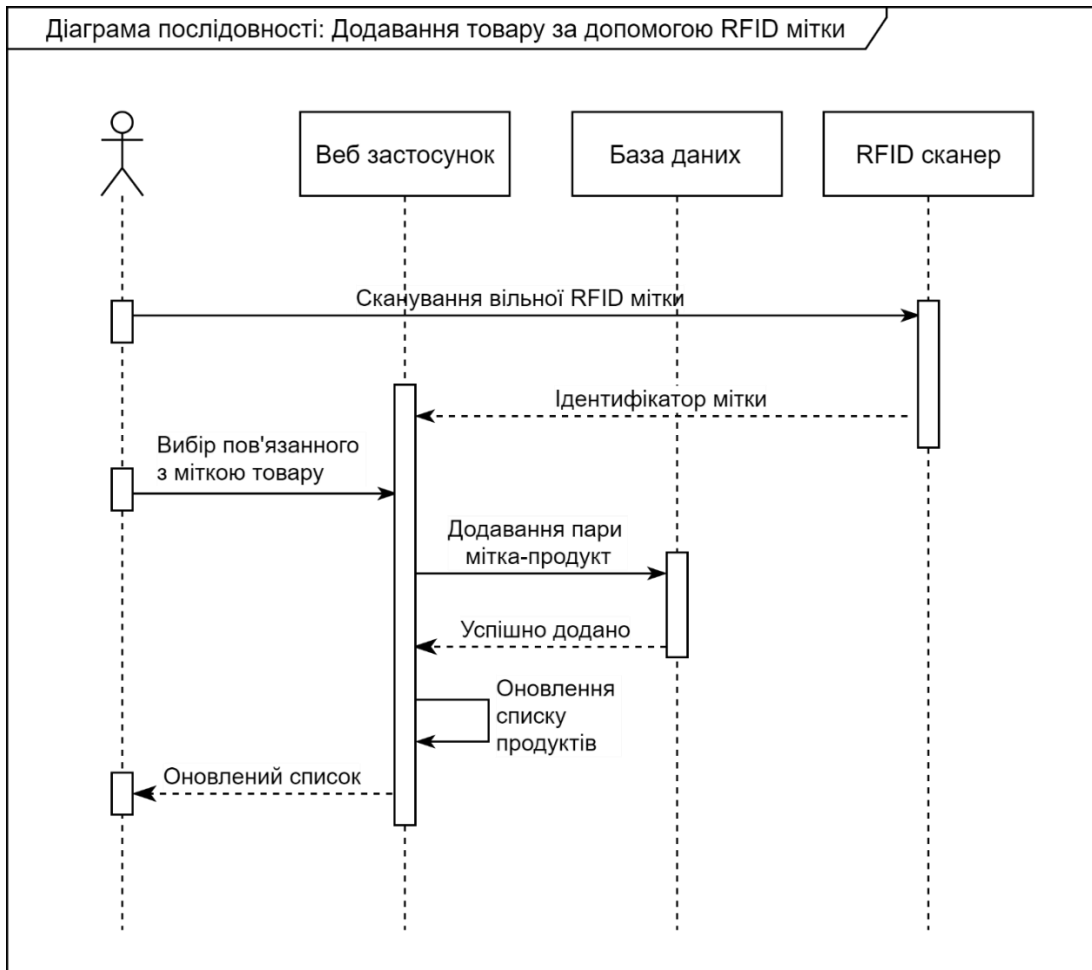


Рисунок 2.6 – UML діаграма послідовності додавання продукції

Таким чином користувач може здійснювати маркування всієї наявної продукції, користуючись перевагами радіочастотної ідентифікації.

3 РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНО-АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ ПІДСИСТЕМИ ІДЕНТИФІКАЦІЇ ПРОДУКЦІЇ НА БАЗІ ПОТ

3.1 Реалізація програмної частини

3.1.1 Опис методів API

Програмна частина системи забезпечує відкритий API (інтерфейс прикладного програмування) для взаємодії з віддаленими пристроями і функціонує як веб-сервер для клієнтських додатків. API є інтерфейсом або протоколом для зв'язку між клієнтом і сервером, що спрощує розробку програмного забезпечення на стороні клієнта. Цей інтерфейс має заздалегідь визначені методи і формат відповідей на запити до цих методів. Це означає, що розробник, працюючи над програмним забезпеченням для апаратних пристроїв, знає, які дані і в якому форматі потрібно надіслати на сервер, щоб отримати потрібну відповідь.

API системи розроблений з використанням MVC Core і являє собою виділений контролер, який надає наступні публічні методи для взаємодії з апаратною частиною і клієнтським додатком:

- GetProduct;
- AddUserProduct;
- AddUnassignedRfid;
- BindUnassignedRfidToUserProduct;
- UserProductToBin;
- UserProductToBinByRfid.

Нижче наведено опис кожного методу API та всі необхідні параметри для роботи з ним.

GetProduct. Надає дані про товар: його ідентифікатор, назву та короткий опис.

HTTP запит: GET /api/get-product.

Параметри URL запиту методу GetProduct наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Метод GetProduct

code	Тип: string
	Опис: штрих-код товару

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі:

```
{
  success: <bool>, product: {
    id: < ідентифікатор продукту > , title: < назва продукту > , description: <
опис продукту >
  }
}
```

AddUserProduct. Додає товар до підсистеми моніторингу для відповідного користувача.

HTTP запит: POST /api/add-user-product

Параметри URL запиту методу AddUserProduct наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Метод AddUserProduct

userId	Тип: string
	Опис: ідентифікатор користувача
	Тип: int
	Опис: ідентифікатор товару
	Тип: int
	Опис: кількість одиниць товару

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі:

```
{ success: true }
```

AddUnassignedRfid. Додає вільну RFID-мітку до системи. В такому стані мітка очікує, поки користувач не прив'яже її до конкретного товару через інтерфейс веб- застосунку.

HTTP запит: POST /api/add-unassigned-rfid.

Параметри URL запиту методу AddUnassignedRfid наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Метод AddUnassignedRfid

rfid	Тип: string
	Опис: ідентифікатор RFID-мітки
	Тип: string
	Опис: ідентифікатор користувача

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі:

```
{ success: true }
```

BindUnassignedRfidToUserProduct. Зв'язує вільну мітку з наявним товаром у підсистемі моніторингу для поточного користувача. Відповідний запис додається до бази даних

HTTP запит: POST /api/bind-unassigned-rfid-to-user-product.

Параметри URL запиту методу BindUnassignedRfidToUserProduct наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Метод BindUnassignedRfidToUserProduct

userProductId	Тип: int
	Опис: ідентифікатор запису у підсистемі моніторингу, до буде прив'язана RFID-мітка

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі:

```
{ success: true, message: "RFID-мітка успішно прив'язана до товару" }
```

UserProductToBin. Видаляє з системи моніторингу певну кількість товарів, що пов'язані з певним користувачем. Якщо більше немає таких товарів (усі одиниці товару було утилізовано/реалізовано), запис повністю видаляється з бази даних.

HTTP запит: POST /api/user-product-to-bin.

Параметри URL запиту методу UserProductToBin наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Метод UserProductToBin

userId	Тип: string
	Опис: ідентифікатор користувача
	Тип: int
	Опис: ідентифікатор товару
quantity	Тип: int
	Опис: кількість одиниць товару

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі: { success: true }

UserProductToBinByRfid. Виконує ті самі дії, що і метод UserProductToBin. Критерієм пошуку запису для видалення є інший запис, що пов'язує RFID-мітку та товар. Цей запис знаходиться за переданим до запиту ідентифікатором мітки. Після успішного видалення товару з моніторингу для поточного користувача, запис, що пов'язує RFID-мітку та товар, видаляється з бази даних. RFID-мітка з відповідним ідентифікатором може бути знову використана для прив'язання до іншого товару.

HTTP запит: POST /api/user-product-to-bin-by-rfid.

Параметри URL запиту методу `UserProductToBinByRfid` наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Метод `UserProductToBinByRfid`

rfid	Тип: string
	Опис: ідентифікатор RFID-мітки

Якщо запит виконано успішно, тіло відповіді буде мати наступний вигляд у JSON форматі:

```
{ success: true }
```

За допомогою вищеописаних методів реалізована вся бізнес-логіка програмно-апаратного комплексу автоматизації. Всі пристрої, що так або інакше взаємодіють з товарами, надсилають отримані дані в якості параметрів до методів API через Інтернет.

3.1.2 Клієнтський веб-додаток

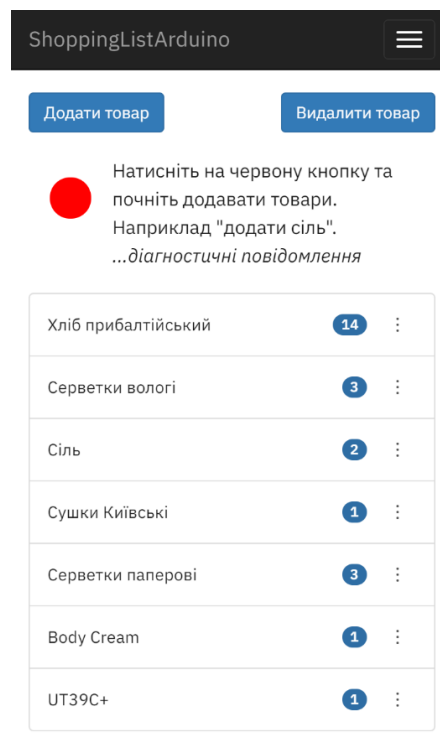
Клієнтська частина представлена у вигляді веб-додатку, що складається з декількох сторінок. Головна сторінка є центральною і містить посилання на сторінки для додавання та видалення товарів через смартфон, список наявних товарів на складі, а також кнопку для запису голосових команд. Список товарів формується з бази даних і відображає товари, що є у підсистемі моніторингу для поточного користувача. Кожен елемент списку включає назву товару і кількість наявних одиниць. Наприкінці кожного рядка є функціональне меню з наступними опціями:

- прив'язати RFID-мітку: натиснувши цю опцію, вільна RFID-мітка буде пов'язана з обраним товаром, і відповідний запис буде додано до бази даних;
- редагувати: ця дія переадресовує користувача на сторінку редагування, де можна змінити кількість наявних товарів. Це дозволяє легко додавати або видаляти товари в процесі ведення складського обліку;

– видалити: ця дія видаляє запис про обраний товар з бази даних для поточного користувача.

Веб-додаток підтримує голосове управління, що може бути більш зручним для користувачів порівняно зі скануванням штрих-кодів за допомогою камери смартфона. Така функціональність особливо корисна для людей з обмеженими можливостями. Для базової взаємодії з товарами голосове управління підтримує дві команди: додавання і видалення товару з підсистеми моніторингу. Команди потрібно вимовляти чітко, згідно з назвою товару, відображеною у веб-додатку, оскільки пошук здійснюється саме за назвою, а не за ідентифікатором на упаковці.

Для використання голосового управління необхідно натиснути червону кнопку на головній сторінці (рис. 3.1). Це активує мікрофон пристрою і починається запис голосової команди. Далі користувач має вимовити команду у форматі: дія (додавання або видалення) і назва товару, до якого потрібно застосувати цю дію.



© 2019 - ShoppingListArduino

Рисунок 3.1 – Головна сторінка веб-застосунку

У спливаючому вікні буде відображатися результат розпізнавання команди. Оскільки навіть сучасні алгоритми не завжди точно розпізнають українську мову, підтвердження дії таким чином є доречним. Якщо команду було правильно розпізнано, відповідні запити автоматично надсилаються до API веб-додатку. Користувач побачить повідомлення про успішне виконання операції. У випадку, якщо голосову команду розпізнано, але вона не відповідає шаблону, користувач отримає сповіщення про це, а також текст розпізнаної команди на головній сторінці.

Для реалізації розпізнавання людської мови у веб-додатку використано Web Speech API. Цей API складається з двох основних компонентів: синтезу та розпізнавання мовлення. Синтез мовлення доступний через інтерфейс SpeechSynthesis, який дозволяє програмам відтворювати текст людською мовою через вбудовані динаміки. Це може відбуватися з використанням різних голосів та з інтонаційними особливостями, наприклад, підкреслення напівжирного тексту інтонацією.

Розпізнавання мовлення реалізується через інтерфейс SpeechRecognition, який дозволяє виявляти та інтерпретувати людську мову з аудіозаписів, зроблених мікрофоном пристрою. Об'єкт SpeechRecognition створюється конструктором інтерфейсу, що дає змогу розпізнавати мовленнєвий контекст у записі. Інтерфейс SpeechGrammar є контейнером для набору граматик, які має розпізнавати веб-додаток, і визначається за допомогою JSpeech Grammar Format (JSGF).

JSpeech Grammar Format – це кросплатформенний спосіб представлення граматик для розпізнавання мови. Ці граматики допомагають системам розпізнавання мови визначати, що саме потрібно слухати. Іншими словами, за допомогою граматики створюється шаблон повідомлення, на який орієнтується система розпізнавання мови.

Для браузера Chrome інтерфейс SpeechRecognition використовує серверні ресурси для розпізнавання, тобто аудіо надсилається до веб-сервісу для обробки. Таким чином, ця операція вимагає підключення до Інтернету.

Для того, щоб додати нову продукцію до внутрішньої бази даних веб-додатку, необхідно перейти на відповідну сторінку. Посилання на неї знаходиться в головному меню. На цій сторінці знаходиться список всіх найменувань в базі даних. Скріншот цієї сторінки зображено на рисунку 3.2.

ShoppingListArduino База даних товарів Привіт, test@mail.com! Вихід

База даних товарів

Додати товар

Title	Barcode	Description	
Хліб прибалтійський	4820136405090	ТМ "Київхліб"	Edit Details Delete
Сік Sandora апельсиновий. 1л	4823063112840	Сік	Edit Details Delete
Серветки вологі	4823090108915	ТМ "Кожен день"	Edit Details Delete
Belvita	7622210899286	Печиво	Edit Details Delete
Сіль	4820021870026	Сіль-пісок	Edit Details Delete
Сушки Київські	4820136406080	ТМ "Київхліб"	Edit Details Delete
Микрофон Chen yun	2712641040007		Edit Details Delete
Серветки паперові	6938712098104		Edit Details Delete

Рисунок 3.2 – Список всіх найменувань в базі даних

Крім переліку товарів, які вже наявні в базі даних, на сторінці є посилання на сторінку для додавання нової продукції. Перейшовши за ним, користувач має заповнити форму з трьох полів, (рис. 3.3). В даній формі необхідно вказати ідентифікаційний код, найменування та опис товару відповідно до кожного поля. Коли користувач відправить форму, доданий товар миттєво з'явиться в оновленому переліку наявної продукції в базі даних веб-додатку.

ShoppingListArduino

Додайте новий товар!

Title

Barcode

Description

[Назад до списку](#)

© 2019 - ShoppingListArduino

Рисунок 3.3 – Форма додавання нової продукції до бази даних веб-застосунку

3.2 Реалізація апаратної частини

Апаратна частина складається з двох пристроїв, які розроблені для того, щоб автоматизувати процес видалення продукції, після того як вона була реалізована або утилізована. Як було описано вище, всі ці операції можна здійснити і за допомогою одного лише смартфона через веб-застосунок. Але це створить додаткові незручності, бо в такому разі необхідною є умова наявності смартфона під рукою в момент кожної дії користувача. Розглянемо дані пристрої детальніше.

Для передачі даних через Інтернет, модуль повинен підключитися до Wi-Fi мережі користувача. Зазвичай, стандартна бібліотека для роботи з ESP8266 вимагає явного програмування SSID і пароля точки доступу, до якої модуль підключається під час ініціалізації. Це створює незручності для користувача, оскільки щоразу змінювати прошивку модуля ESP8266 при зміні точки доступу досить складно. Для вирішення цієї проблеми було вирішено додати відповідний поведінковий шаблон до програми.

При запуску модуль сканує доступні в зоні дії антени точки доступу. Якщо в пам'яті модуля не збережено жодного SSID і пароля, модуль переходить у режим веб-сервера і створює власну точку доступу. Користувач підключається до цієї точки доступу за допомогою мобільного телефону. Потім відкривається веб-сторінка, яка зазвичай знаходиться за адресою <http://192.168.4.1>.

На цій сторінці відображаються всі доступні точки доступу в зоні дії модуля. Користувач обирає бажану точку доступу і вводить пароль до неї. Таким чином, користувач надає модулю Wi-Fi інформацію про точку доступу, до якої він має підключатися. Дані про точку доступу зберігаються у флеш-пам'яті модуля, після чого він автоматично перезавантажується. При наступній ініціалізації модуль знайде відповідності між збереженими у флеш-пам'яті точками доступу та тими, що є доступними в реальному часі. Після цього модуль підключається до відомої йому мережі і починає виконувати свою програму. Сторінка налаштування точки доступу для модуля ESP8266 наведена на рисунку 3.4.

JAMguest	🔒 100%
JAMnet_2.4GHz	🔒 100%
TP-LINK_73EB	🔒 62%
1+1=3	🔒 52%
eye3a	🔒 50%
kejiwifi	🔒 24%
TOTOLINK14 2.4G	🔒 14%

SSID

Password

save

Рисунок 3.4 – Сторінка конфігурації точки доступу

Для передачі даних до API програмної частини веб-додатку через Інтернет було обрано Wi-Fi модуль ESP8266. Однак, оскільки для взаємодії з модулем сканера потрібно 4 цифрових пінів для комунікації через SPI інтерфейс і один цифровий пін для RST модуля RC522, стандартний модуль ESP-01 не підходить. Серед різних варіантів обрано модуль ESP-12E, який відрізняється більшою кількістю портів, збільшеним обсягом флеш-пам'яті та потужнішою антеною. Вигляд і розташування пінів цього модуля наведено на рисунку 3.5.

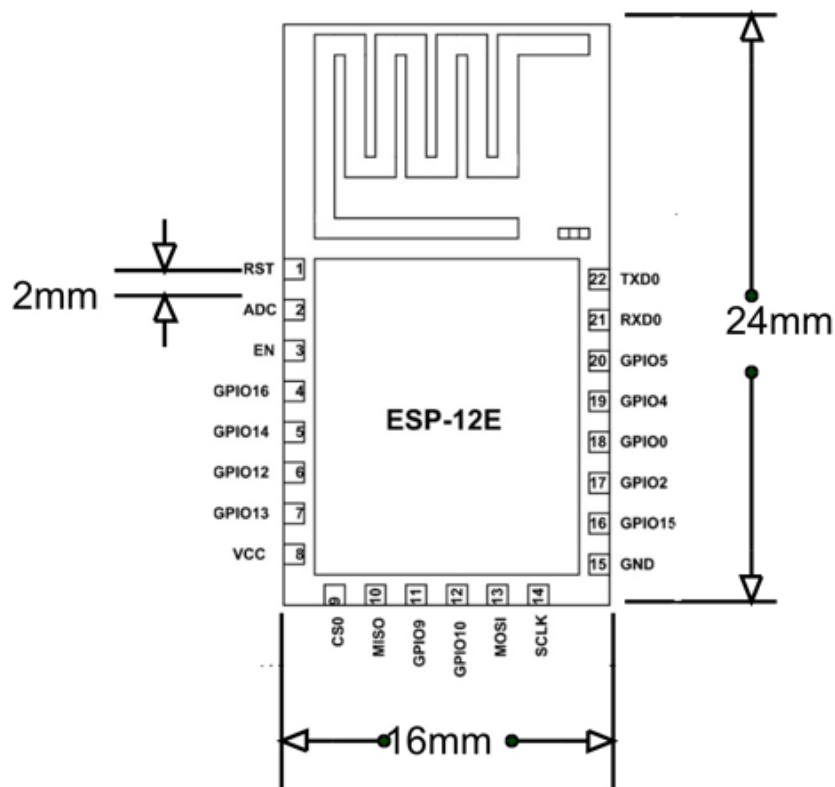


Рисунок 3.5 – Зовнішній вигляд та розташування пінів у ESP-12E

В даному модулі всі технічні характеристики повністю співпадають з відповідними у модулі ESP-01. Але кількість цифрових пінів значно більша: у ESP-12E виведено 11 цифрових пінів, в той час як в ESP-01 виведено тільки 2 цифрових піни загального призначення для взаємодії із зовнішніми компонентами [29]. У таблиці 3.7 наведено схему з'єднання модулів ESP-12E та RC522, використовуючи SPI інтерфейс.

Таблиця 3.7 – Схема з'єднання модулів ESP-12E та RC522

Пін ESP-12E	Пін RC522
GPIO4	SS
GPIO14	SCK
GPIO13	MOSI
GPIO12	MISO
GPIO5	RST

Для створення програми управління пристроєм для радіочастотної ідентифікації товарів було використано середовище розробки Arduino IDE та мову програмування C. Для роботи з інтерфейсом SPI була підключена бібліотека SPI.h, а для взаємодії з чіпом MFRC522 – бібліотека MFRC522.h.

Згідно з алгоритмом програми, як тільки модуль RC522 зчитує RFID-мітку, яка потрапила в його електромагнітне поле, ESP-12E формує HTTP-запит з отриманим ідентифікатором і надсилає його до API веб-додатку.

У програмі було передбачено аналогічну поведінку Wi-Fi модуля під час пошуку точки доступу: якщо модуль не знаходить відомої йому точки доступу, він переходить у режим веб-сервера і просить користувача ввести дані для доступу до потрібної Wi-Fi мережі.

Обидва пристрої для радіочастотного розпізнавання в апаратному комплексі функціонують за однаковим алгоритмом. Різниця полягає в тому, що пристрій для видалення та пристрій для реєстрації вільної RFID-мітки надсилають зчитані ідентифікатори до різних методів API веб-додатку.

Для створення прототипу системи було обрано конфігурацію, що забезпечує користувачу повний набір функцій. Відповідно до вимог, користувач повинен мати два пристрої для максимальної зручності. Перший пристрій розташовується біля виходу зі складу і дозволяє видаляти товари за RFID-міткою. Другий пристрій служить для додавання вільних RFID-міток до системи для їх подальшого зв'язування з товарами. Використовуючи ці два пристрої,

Електрична схема пристрою додавання вільної RFID-мітки аналогічна схемі пристрою для видалення товарів.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ

4.1 Аналіз умов праці в лабораторії

Приміщення, де ведеться проектування, являє собою лабораторію. Площа даного приміщення становить – 35 м², об'єм – 105 м³, має чотири робочих місця. Розміри приміщення 5 м × 7 м × 3 м.

Електроживлення здійснюється від трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю та напругою 220 В, з частотою 50 Гц.

Для забезпечення нормальних умов праці ДСанПіН 3.3.2–007–98 встановлює на одне робоче місце площу виробничого приміщення не менше 6 м², висота приміщення повинна бути не менше 3,2 м, об'єм повітряного простору 20 м³. В даному випадку реальна площа на одного працюючого становить 10 м, об'єм – 25 м³, що відповідає санітарним нормам.

Розглядаючи людину в нерозривному зв'язку і в безперервній взаємодії з навколишнім середовищем, як об'єкт вивчення можна виділити систему «Людина-машина-середовище» («Л-М-С»), а предметом вивчення – небезпеки і їх вплив на людину в процесі функціонування і розвитку системи «Л-М-С». Головним в системі «Л-М-С» є безпека людини.

Згідно ДСТУ 12.0.003–74 можна виділити небезпечні та шкідливі виробничі фактори в приміщенні.

Фізичні:

- підвищена рухливість повітря;
- недостатня освітленість робочої зони;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання;
- підвищення значення напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини.

Психофізіологічні:

- фізичні (статичні) перевантаження;

- розумове перенапруження;
- перенапруження зорових аналізаторів.

4.2 Промислова безпека в лабораторії

Електричне живлення устаткування здійснюється від трифазної мережі з глухозаземленою нейтраллю напругою 220 В, частотою 50 Гц. Захист персоналу від ураження електричним струмом, необхідно здійснювати за допомогою занулення НПАОП 40.1–1.32–01. Для цього треба з'єднати металеві неструмоведучі частини обладнання з нульовим дротом мережі, за допомогою алюмінієвого дроту, перетин якого дорівнювати перерізу фазного дрота мережі.

При замиканні фази на занулення корпус електроустановки автоматично відключається, якщо значення струму однофазного короткого замикання I_k , А, задовольняє умові [30]

$$I_k \geq kI_{\text{НОМ}}, \quad (4.1)$$

де $I_{\text{НОМ}}$ – номінальний струм плавкої вставки запобіжника або струм спрацьовування автоматичного вимикача, А;

k – коефіцієнт кратності струму.

Він приймається в залежності від типу захисту електроустановки. Якщо захист здійснюється автоматичним вимикачем, що має тільки електромагнітне відсічення, тобто, який спрацьовує без витримки часу, то $k = 1,25$. Якщо установка захищена плавкими запобіжниками, час перегорання яких залежить від величини струму, то $k \geq 3$ (у вибухонебезпечних приміщеннях ≥ 4) [30]

$$I_{\text{кз}} = \frac{U_{\phi}}{\frac{Z_T}{3} + Z_{\Pi}}, \quad (4.2)$$

де $\frac{Z_T}{3}$ – повний опір обмоток трансформатора, визначається з [30], виходячи з потужності трансформатора, $\frac{Z_T}{3} = 0,075$ Ом;

Z_{Π} – опір петлі "фаза-нуль", $Z_{\Pi} = 0,8$ Ом.

Розрахуємо $I_{кз}$ за формулою (4.2)

$$I_{кз} = \frac{220}{0,075 + 0,8} = 251 \text{ А.}$$

З умови формули (4.1)

$$I_{н} \leq \frac{I_{кз}}{k}, \quad (4.3)$$

де $k = 1,25$ – коефіцієнт кратності струму.

$$I_{н} \leq \frac{251}{1,25} = 200 \text{ А.}$$

Вибираємо автоматичний вимикач ТемBreak від 50 А до 250 А у якого, $I_{н} = 100$ А, який має тільки напівпровідниковий розчеплювач (відсічення).

Відповідно до НПАОП 0.00 – 4.12 – 05, всі працівники проходять інструктаж з охорони праці: вступний, первинний на робочому місці, повторний і, при необхідності, позаплановий та цільовий.

ВИСНОВКИ

Основна мета кваліфікаційної роботи полягала в розробленні та підвищенні ефективності ідентифікації готової продукції на виробництві.

Об'єктом дослідження був метод ідентифікації продукції за допомогою технології ІоТ. Робота спрямована на удосконалення підходів та методів, що використовуються для збору, аналізу та обліку даних про готову продукцію під час переміщення за допомогою технології ІоТ.

Предметом дослідження є вдосконалення методу ідентифікації продукції з використанням технології ІоТ, який буде реалізований у вигляді програмно-апаратного забезпечення. Методами дослідження є метод аналізу та метод алгоритмізації.

У першому розділі було розглянуто основні аспекти та сучасні технології, які використовуються для ідентифікації продукції. Аналіз показав, що системи ідентифікації продукції складаються з різних компонентів, включаючи ідентифікатори (штрих-коди, RFID-мітки, NFC-мітки, QR-коди), засоби зчитування, бази даних, програмне забезпечення та мережеву інфраструктуру.

Одним із центральних аспектів досліджень та розробок кваліфікаційної роботи є методи ідентифікації продукції. Спочатку було проаналізовано найбільш поширений метод – зчитування штрих-коду. Штрих-коди почали використовувати наприкінці 60-х років минулого століття, і сьогодні вони зустрічаються в магазинах усього світу. Було виявлено переваги та недоліки цього методу ідентифікації, а також досліджено їх походження.

Технологічною особливістю, що вигідно відрізняє запропонований програмно-апаратний комплекс, є підтримка альтернативного, більш прогресивного методу ідентифікації продукції. Метод радіочастотної

ідентифікації (RFID) виявився найбільш підходящим для цієї ролі. Було детально досліджено особливості цього методу ідентифікації та принцип його роботи.

Процес ідентифікації включає створення ідентифікатора, зчитування, обробку, аналіз та інтеграцію даних. Використання технології Інтернету речей (ІоТ) значно розширює можливості систем ідентифікації, забезпечуючи постійний моніторинг та автоматизацію обробки даних. Огляд існуючих комерційних рішень продемонстрував широке застосування ІоТ у системах ідентифікації, що підвищує ефективність управління продукцією.

У другому розділі було розроблено структурну схему та алгоритм роботи підсистеми ідентифікації продукції на базі ІоТ. Було описано загальну концепцію підсистеми, вибрано відповідну елементну базу, включаючи мікроконтролер, Wi-Fi модуль та модуль для сканування RFID-міток. Крім того, було обрано середовище розробки та мову програмування для реалізації підсистеми. Структурна схема підсистеми та алгоритм взаємодії з користувачем забезпечують ефективне та зручне використання підсистеми, що дозволяє автоматизувати процеси ідентифікації та управління продукцією.

У третьому розділі було здійснено розроблення програмно-апаратного комплексу підсистеми ідентифікації продукції на базі ІоТ. Програмна реалізація включала опис методів API та створення клієнтського веб-додатка, який забезпечує зручний інтерфейс для користувачів. Апаратна реалізація включала розробку пристроїв для додавання та видалення продукції з використанням RFID-міток. В результаті була створена інтегрована система, яка забезпечує ефективне управління продукцією, підвищуючи точність обліку та знижуючи ризики помилок.

Загалом, виконана робота продемонструвала можливість та ефективність використання технології ІоТ для розробки підсистеми ідентифікації продукції, що дозволяє значно покращити процеси управління та обліку на підприємстві.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Невлюдов, І.Ш. Дипломне проектування для студентів усіх форм навчання спеціальностей 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»: Навч. посібник / І.Ш. Невлюдов, А. О. Андрусевич, О. В. Токарева, Г. В. Пономарьова – Київ-58, пр. Космонавта Комарова, 1, 2018 – 320с.

2. Методичні вказівки з підготовки та захисту кваліфікаційної роботи здобувачами другого (магістерського) рівня вищої освіти спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології, освітньо-професійних програм: «Автоматизоване управління технологічними процесами», «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва», «Комп'ютеризовані та робототехнічні системи» / Упоряд. І. Ш. Невлюдов, Р. В. Артюх, В. В. Безкоровайний, Н. П. Демська, В. В. Євсєєв, О. І. Филипенко, О. М. Цимбал. – Харків: ХНУРЕ, 2021. – 55 с.

3. ДСТУ 3008-15. Документація. Звіти у сфері науки та техніки, структура та правила оформлення. – Введ. 2015-06-22. – К. Держстандарт України, 2017 – 29 с.

4. Невлюдов, І., Слюсар, А., Хрустальова, С., Хрустальов, К., & Косенко, В. (2023, November). Порівняння ефективності застосування технологій штрихового кодування та RFID у логістичних процесах. In 2023 2nd International Conference on Innovative Solutions in Software Engineering (ICISSE) (p. 183).

5. Зовнішній вигляд світлодіодного сканеру [Електронний ресурс] // Denso-Wave – Режим доступу до ресурсу: https://www.denso-wave.com/fsys/en/adcd/fundamental/barcode/scan/img_03_271x207.gif. – 26.03.2024.

6. Pen-type barcode reader [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.bournetocode.com/projects/AQA_AS_Theory/pages/img/pen-type-reader.jpg. – 26.03.2024.

7. 11. Розсіювання променів багатонаправленого сканеру Motorola LS9208 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.barcodedatalink.com/media/bakery/images/scan%20omnidirectional%20good%20scan.jpg>. – 30.04.2024.

8. 13. Various Systems Using RAIN RFID Technology [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.impinj.com/about-rfid/types-of-rfid-systems/>. – 01.05.2024.

9. 14. Hesseldahl A. A Hacker's Guide To RFID. [Електронний ресурс] / Arik Hesseldahl. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: http://www.forbes.com/commerce/2004/07/29/cx_ah_0729rfid.html. – 02.05.2024.

10. Федорчук А. О. Комп'ютеризована система організації доступу в приміщення на основі RFID-технології. BS thesis. Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2021. URL: <http://elartu.tntu.edu.ua/bitstream/lib/35562/1/Fedorchuk.pdf> (дата звернення: 02.15.2024).

11. Hulme G. RFID's Security Challenge [Електронний ресурс] / G. Hulme, T. Claburn. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.informationweek.com/story/showArticle.jhtml?articleID=52601030&tid=13690>. – 05.05.2024.

12. Дроздовський Л. І. Безконтактні інформаційні системи на основі RFID-технології. MS thesis. Сумський державний університет. 2022 URL: <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/89292/1/Drozdovskiymagrob.pdf> (дата звернення: 05.05.2024).

13. Сигнали різних типів антен [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.impinj.com/media/2209/polarization-graphics_ch2.png. – 05.05.2024.

14. RFID Card Maximum Read Distance [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.uinta6.k12.wy.us/site/handlers/filedownload.ashx?moduleinstanceid=610&dataid=2363&FileName=Card%20Info.pdf>. – 06.15.2024.

15. Хрустальова С. Розроблення структурної схеми модуля автоматизації на базі RFID – технологій / С. Хрустальова, С. Вишванюк // Виробництво & Мехатронні Системи 2023: тези доповідей VII-ої Міжнар. конф., 19-20 жовтня 2023 р. – Харків, 2023. – С. 22–25.
16. Espressif's ESP8266EX Datasheet [Електронний ресурс] // Espressif Systems. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/0a-esp8266ex_datasheet_en.pdf#page=6&zoom=100,0,113. – 07.05.2024.
17. Berthon A. Security in RFID. Texas Instruments and Intermec Technologies / A. Berthon, M. Guillory., 2000.
18. What is RFID? How It Works? Interface RC522 RFID Module with Arduino [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://lastminuteengineers.com/how-rfid-works-rc522-arduino-tutorial/>. – 10.05.2024.
19. MFRC522. Standard performance MIFARE and NTAG [Електронний ресурс] // NXP Semiconductors. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.nxp.com/docs/en/data-sheet/MFRC522.pdf>. – 10.05.2024.
20. Carter P. .NET Goes Cross-Platform with .NET Core [Електронний ресурс] / Phill Carter// Microsoft. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/archive/msdn-magazine/2016/april/net-core-net-goes-cross-platform-with-net-core>. – 10.15.2024.
21. Schmelzer J. .NET 2015 Overview [Електронний ресурс] / Jay Schmelzer. – 2015. – Режим доступу до ресурсу: <https://channel9.msdn.com/Events/Visual-Studio/Connect-event-2015/NET-2015-Overview>. – 15.05.2024.
22. ASP.NET Core Application Architecture [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://dotnet.microsoft.com/learn/aspnet/architecture>. – 15.05.2024.
23. Entity Framework Core [Електронний ресурс] // MSDN Magazine. – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/core/>. – 15.05.2024.

24. .NET implementations supported by EF Core [Електронний ресурс] // MSDN Magazine. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/ef/core/platforms/>. – 16.05.2024.

25. Andreson R. Introduction to Identity on ASP.NET Core [Електронний ресурс] / Rick Andreson // MSDN Magazine. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/authentication/identity?view=aspnetcore-3.0&tabs=visual-studio>. – 16.05.2024.

26. Vickers A. Identity model customization in ASP.NET Core [Електронний ресурс] / Arthur Vickers // MSDN Magazine. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/security/authentication/customize-identity-model?view=aspnetcore-3.0>. – 16.05.2024.

27. Davis I. What Are The Benefits of MVC? [Електронний ресурс] / Ian Davis. – 2008. – Режим доступу до ресурсу: <https://blog.iandavis.com/2008/12/what-are-the-benefits-of-mvc/>. – 17.05.2024.

28. Anderson R. Introduction to Razor Pages in ASP.NET Core [Електронний ресурс] / R. Anderson, R. Nowak // MSDN Magazine. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://docs.microsoft.com/en-us/aspnet/core/razor-pages/?view=aspnetcore-3.0&tabs=visual-studio-mac>. – 17.05.2024.

29. ESP-12E - WiFi Module [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://components101.com/wireless/esp12e-pinout-datasheet>. – 20.05.2024.

30. ДСТУ 12.1.009–95. Електробезпека. Терміни та визначення. – Офіц. вид. – Київ: Держстандарт України, 1995. – 8 с.