

Хмельницький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ 240402.22.04.38 ПЗ

Виконав здобувач IV курсу, група KI2-22-4

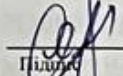


Підпис

Дмитро
МРАЧКІВСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання

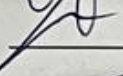


Підпис

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер
доц.

канд. фіз.-мат. наук,



Підпис

Тетяна КИСІЛЬ

Науковий ступінь, учене звання



Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС
«01» червня 2026 р.

Дата

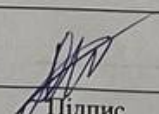
6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи


Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна Кисіль		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК		

7. Дата видачі завдання « 10 » 01 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напрямку дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконано
3	Робота над розділом 1 – аналіз автоматизації логістичних процесів складу електронних компонентів	01.03.2026	виконано
4	Робота над розділом 2 – Розробка програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів	01.04.2026	виконано
5	Робота над розділом 3 – Програмна та апаратна реалізація системи автоматизованого контролю логістичних процесів	29.04.2026	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач  Підпис Дмитро МРАЧКІВСЬКИЙ
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи  Підпис Василь СТЕЦЮК
Імя, ПРІЗВИЩЕ

ЗМІСТ

Вступ.....	4
1 Аналіз автоматизації логістичних процесів складу електронних компонентів.....	5
1.1 Аналіз структури та функціональних особливостей систем автоматизації складу електронних компонентів.....	5
1.2 Аналіз сучасних технологій автоматизації складських процесів.....	8
1.3 Аналіз існуючих систем автоматизації складського обліку та обґрунтування вибору напрямку розробки.....	11
1.4 Висновки до розділу.....	15
2 Розробка програмно апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів.....	17
2.1 Розробка структури програмно-апаратного комплексу.....	17
2.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів програмно-апаратного комплексу.....	20
2.3 Розробка алгоритму функціонування програмно-апаратного комплексу.....	24
2.4 Проектування структури бази даних та організація серверної частини системи.....	27
2.5 Розробка мережевої взаємодії та програмного інтерфейсу системи.....	30
2.6 Розробка користувацького інтерфейсу системи.....	33
2.7 Висновки до розділу.....	37
3 Програмно-апаратна реалізація системи автоматизованого контролю логістичних процесів.....	39
3.1 Реалізація програмної частини мікроконтролерної системи.....	39
3.2 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера.....	41
3.3 Тестування та перевірка працездатності програмно-апаратного комплексу.....	50
3.4 Висновки до розділу.....	52

КвРКІ 240402.22.04.38 ПЗ

Зм.	Арк.	№докум.	Підпис	Дата				
Виконав		Мрачківський			Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера	Літера	Аркуші	Аркушів
Перевір.		Василь СТЕЦЮК		8.6.26		у	2	72
Н.контр.		Тетяна КИСІЛЬ			ХНУ КІ2-22-4			
Затвер.		Ольга ПАВЛОВА						

Висновки.....	54
Перелік джерел посилань.....	56
Додаток А - Архітектура пз проекту.....	62
Додаток Б - Архітектура пз для кіберфізичної системи.....	63
Додаток В - Апаратне забезпечення проекту.....	64

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		3

ВСТУП

Актуальність дослідження. Традиційні методи ведення складського обліку, які базуються на ручному введенні інформації, мають ряд недоліків, серед яких низька швидкість обробки даних, висока ймовірність помилок та значний вплив людського фактора. У зв'язку з цим виникає необхідність впровадження автоматизованих систем контролю логістичних процесів.

Сучасні програмно-апаратні комплекси дозволяють автоматизувати процеси ідентифікації компонентів, контролю їх переміщення та обліку складських операцій. Використання мікроконтролерів, RFID-технологій та мережевих засобів передачі даних дає можливість створити ефективну систему моніторингу складських процесів, яка може інтегруватися з інформаційною системою підприємства. Таким чином, тема розробки програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів є актуальною та має практичне значення.

Метою дипломної роботи є розробка програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів на основі мікроконтролера.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз сучасних технологій автоматизації складських процесів;
- дослідити існуючі системи автоматизації складського обліку;
- розробити структуру програмно-апаратного комплексу;
- обґрунтувати вибір апаратних компонентів системи;
- розробити алгоритм роботи системи;
- реалізувати програмну та апаратну частину комплексу.

Об'єктом дослідження є логістичні процеси складу електронних компонентів.

Предметом дослідження є методи та засоби автоматизації обліку та контролю переміщення електронних компонентів на складі.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
						4
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 АНАЛІЗ АВТОМАТИЗАЦІЇ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ СКЛАДУ ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ

1.1 Аналіз структури та функціональних особливостей систем автоматизації складу електронних компонентів

У сучасних умовах розвитку інформаційних технологій питання автоматизації складських процесів набуває все більшої актуальності.

Це пов'язано з постійним збільшенням обсягів інформації, необхідністю швидкої обробки даних та підвищенням вимог до точності виконання логістичних операцій. Особливо важливим це є для підприємств, діяльність яких пов'язана зі зберіганням та обліком електронних компонентів. Сучасна логістика активно змінюється завдяки впровадженню інноваційних технологій, які дозволяють автоматизувати процеси, оптимізувати витрати та покращувати обслуговування клієнтів. Кожна з цих технологій спрямована на вирішення конкретних завдань – від моніторингу вантажів у реальному часі до прискорення складування та доставки обліку [1]. Склад електронних компонентів має ряд особливостей, які суттєво ускладнюють процес організації. Насамперед це велика кількість номенклатурних позицій, малі розміри компонентів та необхідність постійного контролю їх наявності. Крім того, значна частина електронних компонентів зовні є дуже схожою, що підвищує ризик помилок під час ручного обліку або переміщення товарів. Традиційні методи ведення складського обліку, що базуються на ручному введенні інформації, вже не можуть забезпечити достатній рівень ефективності. У процесі роботи персонал складу змушений виконувати велику кількість однотипних операцій, що значно збільшує вплив людського фактора.

Наслідком цього можуть бути помилки в обліку, втрата компонентів, затримки під час комплектування замовлень та інші проблеми, які негативно впливають на роботу підприємства. Саме тому сучасні підприємства все частіше впроваджують автоматизовані системи контролю складських процесів.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 5
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Основною метою таких систем є автоматизація процесів ідентифікації товарів, контролю переміщення компонентів та ведення складського обліку в режимі реального часу.

Автоматизована система складського обліку являє собою комплекс програмних та апаратних засобів, які взаємодіють між собою та забезпечують збір, обробку і зберігання інформації про складські операції [2]. У загальному вигляді така система складається з трьох основних рівнів: рівня збору даних, рівня обробки інформації та рівня інформаційної системи. На рівні збору даних використовуються різноманітні пристрої ідентифікації товарів. Найчастіше для цього застосовуються сканери штрих-кодів або RFID-зчитувачі. Дані пристрої дозволяють автоматично отримувати інформацію про компоненти та передавати її до системи обробки.

Рівень обробки інформації зазвичай реалізується на основі мікроконтролера або іншого обчислювального пристрою. Основною функцією цього рівня є обробка сигналів від периферійних пристроїв, формування інформаційних повідомлень та передача даних до центральної системи. Інформаційна система забезпечує зберігання даних про складські операції, облік залишків компонентів, формування звітності та взаємодію з користувачами. У більшості випадків така система працює на базі серверного програмного забезпечення та бази даних. Важливою особливістю сучасних систем автоматизації є можливість інтеграції з іншими інформаційними системами підприємства.

Це дозволяє об'єднати складський облік із виробничими, фінансовими та управлінськими процесами. Крім того, сучасні системи автоматизації активно використовують технології Інтернету речей. Завдяки цьому з'являється можливість організації постійного моніторингу складських процесів у режимі реального часу. Використання сенсорів та мережевих технологій дозволяє оперативно отримувати інформацію про переміщення компонентів, зміну умов зберігання або інші події.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для складів електронних компонентів особливо важливим є забезпечення високої точності обліку. Навіть незначна помилка може призвести до проблем у виробничому процесі або затримок під час виконання замовлень. Саме тому використання автоматизованих систем є необхідною умовою ефективної організації роботи складу. Загальну структуру системи автоматизації складу електронних компонентів наведено на рисунку 1.1.



Рисунок 1.1 – Загальна структура системи автоматизації складу електронних компонентів

Як видно з рисунку 1.1, система має ієрархічну структуру з трьох рівнів. Верхній рівень – ERP-система, що охоплює всі процеси підприємства. Середній рівень – система управління складом (WMS), яка забезпечує планування та контроль складських операцій. Нижній рівень – програмно-апаратний комплекс на основі мікроконтролера та сенсорів, що безпосередньо здійснює збір даних і управління обладнанням.

Ще однією з умов розвитку логістичних підприємств є їх відповідність сучасним ринковим викликам та підтримка конкурентоспроможності. Останнє значною мірою залежить від забезпечення потреб клієнтів за рахунок

своєчасного надання послуг, підтримки та постійного вдосконалення належного рівня якості та ритмічності процесів. Відповідно до цього актуальною тенденцією на сьогодні виступає автоматизація процесів, яка полягає в застосуванні нових технологій для оптимізації повсякденних, стандартних завдань та налагодженні інтеграції як всередині підприємства, так і з зовнішніми контрагентами [3]. Таким чином, сучасні системи автоматизації складських процесів являють собою складні програмно-апаратні комплекси, які забезпечують автоматичний збір, обробку та зберігання інформації. Їх використання дозволяє підвищити ефективність роботи складу, зменшити вплив людського фактора та забезпечити точний контроль переміщення електронних компонентів.

1.2 Аналіз сучасних технологій автоматизації складських процесів

Одним із основних напрямків розвитку сучасної логістики є впровадження технологій автоматизації складських процесів. Використання таких технологій дозволяє підвищити ефективність роботи складу, зменшити кількість помилок під час обліку товарів та забезпечити оперативний контроль переміщення компонентів.

На сьогоднішній день існує велика кількість технологій, які використовуються для автоматизації складського обліку. Найбільш поширеними серед них є системи штрих-кодування, RFID-технології, а також сучасні бездротові системи ідентифікації та моніторингу [4]. Технологія штрих-кодування є одним із найстаріших та найбільш доступних методів автоматизації обліку товарів. Принцип її роботи полягає у нанесенні на товар спеціального графічного коду, який містить інформацію про об'єкт. Для зчитування інформації використовуються сканери штрих-кодів, що перетворюють оптичне зображення у цифрові дані [5]. Основною перевагою штрих-кодування є простота впровадження та невисока вартість обладнання .

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Такі системи не потребують складного налаштування та можуть використовуватися навіть на невеликих складах. Крім того, штрих-коди легко інтегруються з більшістю сучасних інформаційних систем. Разом з тим дана технологія має певні недоліки. Для коректного зчитування необхідна пряма видимість між сканером та кодом. У випадку пошкодження етикетки або забруднення поверхні можуть виникати помилки під час зчитування інформації. Крім того, одночасне зчитування великої кількості товарів є практично неможливим. Більш сучасним рішенням є RFID-технологія, яка базується на використанні радіочастотної ідентифікації. У даному випадку на товар встановлюється спеціальна RFID-мітка, яка містить мікросхему та антену [6]. Зчитування інформації здійснюється безконтактним способом за допомогою RFID-зчитувача. Основною перевагою RFID є можливість зчитування інформації на відстані без необхідності прямої видимості. Крім того, RFID-системи дозволяють одночасно обробляти велику кількість міток, що значно прискорює процес виконання складських операцій. Однак впровадження RFID-технологій потребує більших фінансових витрат у порівнянні зі штрих-кодуванням. Вартість RFID-обладнання та міток є значно вищою, що може бути критичним фактором для невеликих підприємств. Останніми роками активно розвиваються технології бездротового моніторингу на основі Bluetooth Low Energy (BLE) та Ultra Wideband (UWB). Такі системи дозволяють визначати місцезнаходження об'єктів у режимі реального часу та використовуються у сучасних системах логістики та автоматизації. BLE-технологія характеризується низьким енергоспоживанням та можливістю тривалої автономної роботи пристроїв. Водночас точність визначення координат у таких системах є відносно невисокою. Технологія UWB забезпечує більш точне визначення місцезнаходження об'єктів та високу швидкість обробки інформації [7]. Однак її впровадження потребує використання більш складного обладнання. Для забезпечення ефективної роботи автоматизованої системи складського обліку важливе значення має не лише технологія ідентифікації, але й спосіб обробки

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отриманої інформації. Саме тому сучасні системи часто поєднують декілька технологій одночасно, що дозволяє забезпечити високу точність та надійність роботи. У розроблюваній системі доцільним є використання програмно-апаратного підходу, який поєднує можливості мікроконтролерів із технологіями автоматичної ідентифікації товарів. Це дозволяє створити гнучку систему, яка може бути адаптована до конкретних умов експлуатації. Порівняння основних технологій автоматизації складського обліку за ключовими критеріями наведено на рисунку 1.2

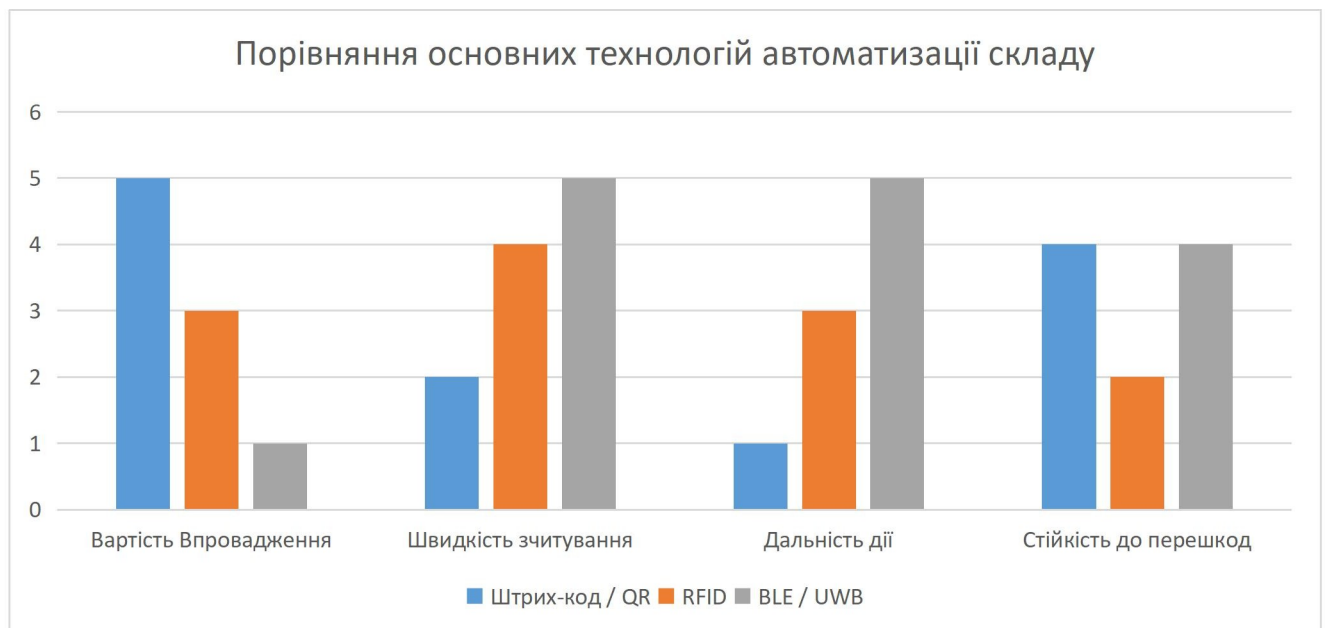


Рисунок 1.2 – Порівняння технологій автоматизації складського обліку

Як видно з рисунку 1.2, порівняння проводилось за чотирма критеріями: вартість впровадження, швидкість зчитування, дальність дії та стійкість до перешкод. Технологія штрих-код / QR має найнижчу вартість впровадження, проте поступається за швидкістю зчитування та дальністю дії. RFID забезпечує вищу швидкість зчитування, однак є дорожчою у впровадженні. Технологія BLE / UWB вирізняється найбільшою швидкістю зчитування та дальністю дії, але потребує найвищих витрат на впровадження та має нижчу стійкість до перешкод порівняно зі штрих-кодом [24].

Таким чином, сучасні технології автоматизації складських процесів мають широкий спектр можливостей та можуть ефективно використовуватися для організації автоматизованого обліку електронних компонентів.

Вибір технології ідентифікації є одним із ключових рішень при проектуванні системи автоматизації складу [8]. Кожна з існуючих технологій має свої переваги та обмеження, що необхідно враховувати залежно від конкретних умов експлуатації. Детальне порівняння основних технологій автоматизації за їх перевагами та недоліками наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння технологій автоматизації

Технологія	Переваги	Недоліки
Штрих-коди	Низька вартість, простота	Потрібна пряма видимість
RFID	Швидке безконтактне зчитування	Висока вартість
BLE / UWB	Моніторинг у реальному часі	Складність реалізації

Як видно з таблиці 1.1, штрих-коди відзначаються низькою вартістю та простотою впровадження, проте вимагають прямої видимості під час зчитування. RFID забезпечує швидке безконтактне зчитування, але має вищу вартість впровадження. Технологія BLE / UWB дозволяє здійснювати моніторинг у реальному часі, однак є складнішою у реалізації.

1.3 Аналіз існуючих систем автоматизації складського обліку та обґрунтування вибору напрямку розробки

На сьогоднішній день автоматизація складських процесів є одним із ключових напрямків розвитку інформаційних систем підприємств. Для реалізації складського обліку та контролю логістичних процесів використовуються різноманітні програмні та програмно-апаратні рішення, які

відрізняються функціональними можливостями, складністю впровадження та вартістю. Найбільш поширеними системами автоматизації є WMS (Warehouse Management System) та ERP (Enterprise Resource Planning) системи. Дані рішення активно використовуються на підприємствах різного масштабу та дозволяють забезпечити централізоване управління складськими операціями. WMS-системи призначені безпосередньо для автоматизації роботи складу [9]. Вони забезпечують контроль залишків товарів, облік складських операцій, управління розміщенням продукції та формування звітності. Крім того, такі системи дозволяють оптимізувати процеси приймання та відвантаження товарів, що позитивно впливає на ефективність роботи підприємства. Основною перевагою WMS-систем є високий рівень автоматизації складських процесів та можливість роботи з великою кількістю номенклатурних позицій. Такі системи підтримують інтеграцію зі сканерами штрих-кодів, RFID-зчитувачами та іншими пристроями автоматичного збору даних.

Разом з тим впровадження WMS-систем часто потребує значних фінансових витрат та складного налаштування. Крім того, для невеликих або спеціалізованих складів функціональні можливості таких систем можуть бути надлишковими. ERP-системи мають більш широкий функціонал та охоплюють не лише складський облік, але й фінансові, виробничі та управлінські процеси підприємства. Завдяки цьому забезпечується єдине інформаційне середовище, яке дозволяє координувати діяльність різних підрозділів. Проте ERP-системи характеризуються високою складністю та значною вартістю впровадження. Крім того, їх адаптація під специфічні потреби конкретного підприємства може потребувати значних часових та фінансових ресурсів [10].

Окрему категорію становлять спеціалізовані програмно-апаратні комплекси, що використовують мікроконтролери та технології автоматичного збору даних. Такі системи дозволяють створювати більш гнучкі рішення, адаптовані до конкретних умов експлуатації. Використання мікроконтролерів у

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

системах автоматизації дозволяє забезпечити взаємодію з периферійними пристроями, такими як RFID-зчитувачі, сенсори та модулі бездротового зв'язку.

Крім того, такі системи можуть працювати автономно та забезпечувати передачу інформації у режимі реального часу [11]. Для складів електронних компонентів важливим фактором є можливість швидкої адаптації системи до змін у структурі складу або логістичних процесах. Саме тому використання програмно-апаратного підходу є більш доцільним у порівнянні з використанням складних універсальних систем.

На основі проведеного аналізу можна зробити висновок, що для автоматизації складу електронних компонентів доцільно використовувати програмно-апаратний комплекс на основі мікроконтролера. Такий підхід дозволяє поєднати функції автоматичного збору даних із можливостями інформаційної системи та забезпечити ефективний контроль логістичних процесів. Взаємодію між основними рівнями системи автоматизації складського обліку наведено на рисунку 1.3.

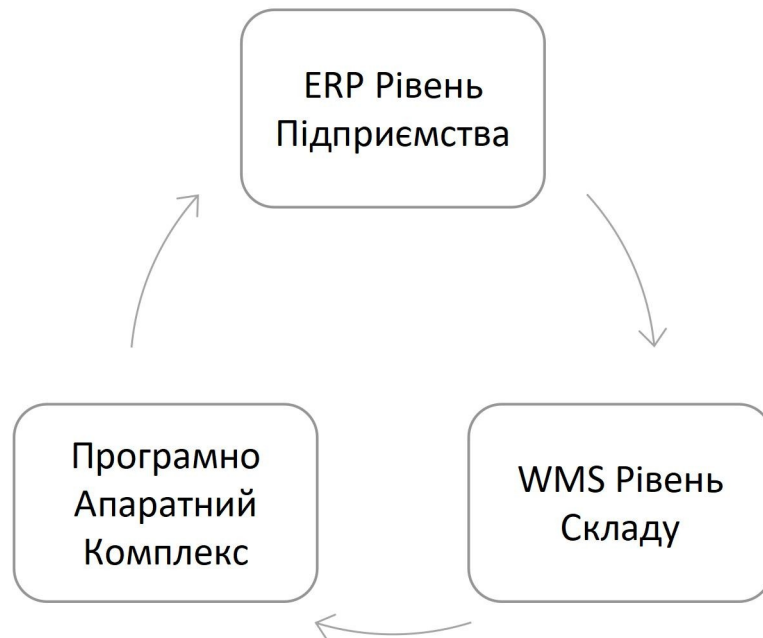


Рисунок 1.3 – Порівняння існуючих систем автоматизації складського обліку

Як видно з рисунку 1.3, система автоматизації складського обліку функціонує як циклічна тришарова структура. ERP-система рівня підприємства передає завдання до WMS-рівня складу, який у свою чергу керує програмно-апаратним комплексом. Програмно-апаратний комплекс забезпечує збір даних та повертає інформацію назад до ERP-системи, замикаючи цикл управління. Така організація забезпечує безперервний обмін даними між усіма рівнями системи.

Таким чином, розробка спеціалізованої системи автоматизованого контролю є актуальним та перспективним напрямком, який дозволить підвищити точність складського обліку та зменшити вплив людського фактора.

Порівняння існуючих систем автоматизації за їх перевагами та недоліками наведено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Порівняння існуючих систем автоматизації

Система	Переваги	Недоліки
ERP	Інтеграція всіх процесів	Складність та висока вартість
WMS	Автоматизація складських операцій	Потребує налаштування
Програмно-апаратний комплекс	Гнучкість та адаптивність	Необхідність власної розробки

Аналізуючи таблицю 1.2 можна сказати, що ERP-система забезпечує інтеграцію всіх процесів підприємства, проте відзначається складністю впровадження та високою вартістю. WMS автоматизує складські операції, однак потребує значного налаштування під конкретні умови роботи. Програмно-апаратний комплекс вирізняється гнучкістю та адаптивністю, що робить його привабливим рішенням для нестандартних задач, але вимагає власної розробки.

КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ

Арк.

14

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

1.4 Висновки до розділу

У даному розділі було проведено аналіз сучасних підходів до автоматизації логістичних процесів складу електронних компонентів. Встановлено, що в умовах активного розвитку інформаційних технологій автоматизація складського обліку є важливою складовою ефективної роботи підприємства.

Розглянуто особливості складів електронних компонентів, серед яких можна виділити значну кількість номенклатурних позицій, малі розміри компонентів та високі вимоги до точності обліку. Визначено, що використання традиційних методів ведення складського обліку у таких умовах є недостатньо ефективним та може призводити до виникнення помилок. Проведено аналіз сучасних технологій автоматизації складських процесів, зокрема штрих-кодування, RFID та бездротових технологій моніторингу. Визначено їх основні переваги та недоліки, а також можливості використання для автоматизації складу електронних компонентів. Окрему увагу приділено аналізу існуючих систем автоматизації складського обліку. Розглянуто особливості WMS та ERP систем, а також програмно-апаратних комплексів на основі мікроконтролерів. Встановлено, що використання спеціалізованого програмно-апаратного комплексу є більш доцільним для складу електронних компонентів, оскільки дозволяє забезпечити гнучкість, адаптивність та ефективний контроль логістичних процесів. На основі проведеного аналізу обґрунтовано необхідність розробки програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Таким чином, результати проведеного дослідження є підґрунтям для подальшого проєктування структури системи та реалізації її програмної й апаратної частини, що буде розглянуто у наступному розділі.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

2 РОЗРОБКА ПРОГРАМНО АПАРАТНОГО КОМПЛЕКСУ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Розробка структури програмно-апаратного комплексу

Одним із основних етапів створення систем автоматизації є проектування загальної структури програмно-апаратного комплексу. Відправильності побудови структури системи залежить ефективність її роботи, можливість масштабування, стабільність функціонування та зручність інтеграції з інформаційними системами підприємства [12]. Для складу електронних компонентів особливо важливим є забезпечення швидкого та точного контролю переміщення товарів. Значна кількість номенклатурних позицій, малі розміри компонентів та необхідність оперативного обліку створюють високі вимоги до систем автоматизації. Саме тому розроблюваний програмно-апаратний комплекс повинен забезпечувати автоматичне зчитування інформації, її обробку та передачу до центральної інформаційної системи. У загальному вигляді система складається з апаратної та програмної частин, які взаємодіють між собою та забезпечують виконання логістичних операцій у режимі реального часу.

До апаратної частини системи входять: модуль ідентифікації компонентів; мікроконтролерний модуль, модуль мережевої взаємодії, модуль індикації, серверна частина системи.

Програмна частина включає: програмне забезпечення мікроконтролера, серверне програмне забезпечення, базу даних, користувацький веб-інтерфейс.

Основним елементом системи є мікроконтролерний модуль, який виконує функції центрального вузла обробки інформації. Саме через мікроконтролер здійснюється взаємодія між периферійними пристроями та серверною частиною системи. Для реалізації даної системи доцільно використовувати мікроконтролер ESP32, оскільки він має достатню продуктивність, підтримує бездротові технології Wi-Fi та Bluetooth, а також дозволяє працювати з

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

периферійними модулями через інтерфейси SPI, UART та I2C. Використання ESP32 дозволяє значно спростити структуру системи, оскільки модулі бездротового зв'язку вже інтегровані у мікроконтролер. Це зменшує кількість додаткових компонентів та спрощує процес розробки програмно-апаратного комплексу. Для ідентифікації електронних компонентів у системі передбачається використання RFID-зчитувача. RFID-технологія є більш зручною у порівнянні зі звичайними штрих-кодами, оскільки дозволяє виконувати безконтактне зчитування інформації. Це особливо важливо для складських приміщень, де необхідно швидко обробляти велику кількість компонентів. RFID-зчитувач RC522 та RFID-мітка показані на рисунку 2.1

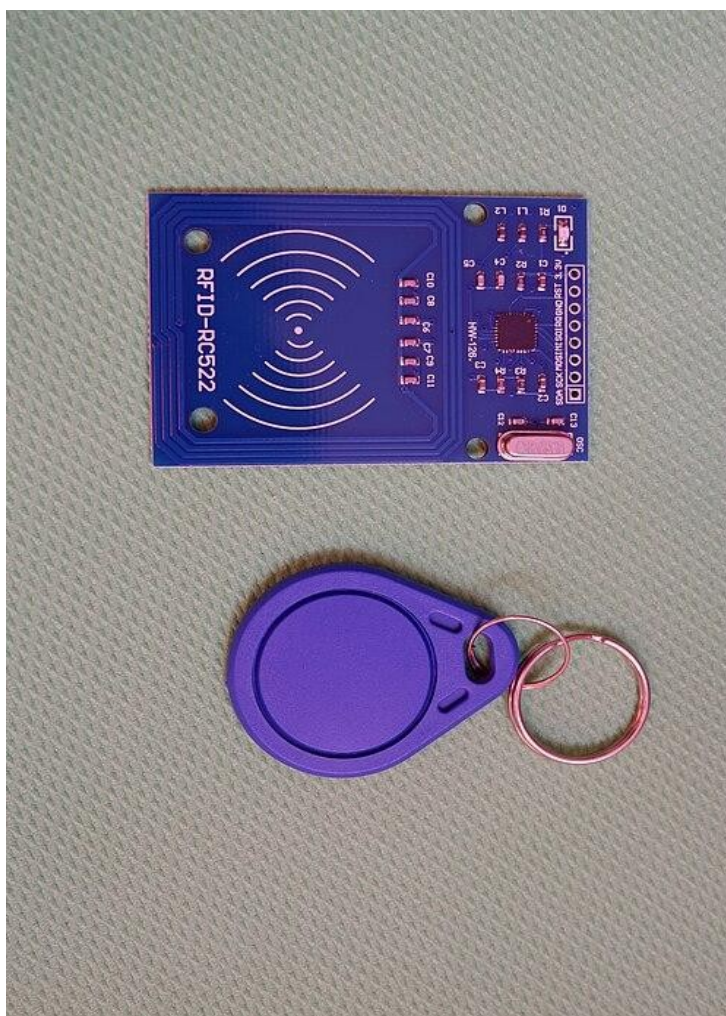


Рисунок 2.1 – RFID-зчитувач RC522 та RFID-мітка [45]

Після зчитування RFID-мітки інформація передається до мікроконтролера, який виконує її обробку.

У процесі обробки система перевіряє коректність отриманих даних, формує службове повідомлення та готує інформацію для передачі на сервер. Передача даних між мікроконтролером та серверною частиною здійснюється через бездротову мережу Wi-Fi [25]. Такий підхід дозволяє уникнути використання великої кількості кабельних з'єднань та забезпечує мобільність системи. Крім того, Wi-Fi дозволяє легко інтегрувати систему у локальну мережу підприємства [13]. Серверна частина системи забезпечує приймання інформації від мікроконтролера, її обробку та збереження у базі даних. Також сервер виконує функції управління користувачами, формування звітності та взаємодії з веб-інтерфейсом системи. Для забезпечення ефективної роботи користувачів у системі передбачається використання веб-інтерфейсу. За допомогою веб-інтерфейсу працівники складу можуть переглядати інформацію про компоненти, контролювати залишки, аналізувати історію операцій та виконувати пошук необхідних даних. Важливим елементом системи є база даних, у якій зберігається вся інформація про компоненти та складські операції. Використання централізованої бази даних дозволяє забезпечити цілісність інформації та можливість одночасної роботи декількох користувачів [26]. Під час проєктування структури системи також необхідно враховувати питання масштабованості. У майбутньому система повинна мати можливість підключення додаткових модулів, нових RFID-зчитувачів або інших периферійних пристроїв без необхідності суттєвої зміни архітектури комплексу.

Крім того, система повинна забезпечувати стабільну роботу навіть у випадку тимчасового зникнення мережевого з'єднання. Для цього доцільно передбачити буферизацію даних у пам'яті мікроконтролера з подальшою передачею інформації після відновлення зв'язку [27]. Структуру розробленого

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів наведено на рисунку 2.2.

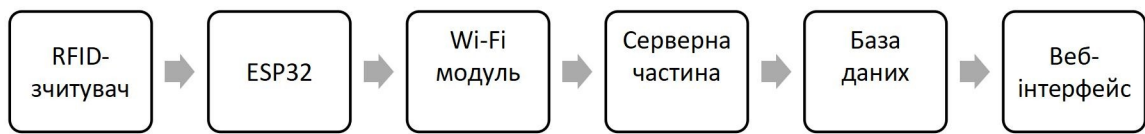


Рисунок 2.2 – Структура програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів

Як видно з рисунку 2.2, комплекс являє собою послідовний ланцюг взаємопов'язаних компонентів. RFID-зчитувач здійснює ідентифікацію електронних компонентів та передає дані до мікроконтролера ESP32. ESP32 обробляє отримані дані та через Wi-Fi модуль забезпечує їх передачу до серверної частини [28]. Серверна частина зберігає інформацію у базі даних та надає доступ до неї через веб-інтерфейс, що дозволяє користувачам здійснювати моніторинг та управління складськими процесами у режимі реального часу [29].

Таким чином, розроблювана структура програмно-апаратного комплексу забезпечує автоматизований контроль логістичних процесів складу електронних компонентів, підтримує інтеграцію з інформаційною системою підприємства та створює основу для подальшої реалізації програмного забезпечення системи.

2.2 Обґрунтування вибору апаратних компонентів програмно-апаратного комплексу

Одним із найбільш важливих етапів розробки програмно-апаратного комплексу є вибір апаратних компонентів системи. Саме від правильності вибору обладнання залежить стабільність роботи комплексу, швидкість

обробки інформації, надійність передачі даних та можливість подальшого масштабування системи [14]. Для реалізації системи автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів необхідно забезпечити виконання таких основних функцій: автоматичне зчитування інформації про компоненти, обробка отриманих даних, передача інформації до серверної частини, взаємодія з базою даних, індикація стану роботи системи. З урахуванням поставлених задач було прийнято рішення використовувати мікроконтролер ESP32 як основний обчислювальний елемент системи. Мікроконтролер ESP32 є сучасною мікроконтролерною платформою, яка широко використовується у системах Інтернету речей та автоматизації. Основною перевагою даного мікроконтролера є наявність вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, що дозволяє реалізувати бездротову передачу даних без використання додаткового обладнання. ESP32 побудований на основі двоядерного процесора Tensilica Xtensa LX6 та працює з тактовою частотою до 240 МГц. Це забезпечує достатню продуктивність для обробки інформації від RFID-зчитувачів, формування мережевих запитів та взаємодії з серверною частиною системи. Ще однією важливою перевагою ESP32 є підтримка великої кількості інтерфейсів підключення, серед яких: SPI, UART, I2C, PWM, ADC та DAC.

Наявність таких інтерфейсів дозволяє легко підключати периферійні пристрої та забезпечує гнучкість під час побудови системи. Для реалізації модуля ідентифікації у роботі доцільно використовувати RFID-зчитувач RC522. Даний модуль є одним із найбільш поширених RFID-зчитувачів для мікроконтролерних систем та працює на частоті 13,56 МГц. Основними перевагами RFID-зчитувача RC522 є: невисока вартість, компактні розміри, підтримка SPI-інтерфейсу, простота інтеграції з ESP32, стабільна робота з RFID-мітками стандарту MIFARE. Використання RFID-технології дозволяє значно спростити процес ідентифікації електронних компонентів та зменшити час виконання складських операцій. Крім того, RFID-зчитувач забезпечує

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

безконтактне отримання інформації, що є більш зручним у порівнянні зі звичайними штрих-кодами [30]. Для передачі інформації між апаратною та серверною частиною системи використовується бездротова мережа Wi-Fi. Завдяки вбудованому Wi-Fi модулю ESP32 система може підключатися до локальної мережі підприємства та передавати дані без використання додаткових мережевих модулів. Передача інформації через Wi-Fi забезпечує: швидкий обмін даними, можливість інтеграції з інформаційною системою підприємства, мобільність системи, зменшення кількості кабельних з'єднань. Для індикації стану роботи системи доцільно використовувати світлодіоди або LCD-дисплей. Світлодіодна індикація дозволяє швидко повідомляти користувача про успішне зчитування RFID-мітки, помилки передачі даних або інші службові події [31].

LCD-дисплей може використовуватися для відображення службової інформації: статусу підключення до мережі, ідентифікатора компонента, повідомлень про помилки, інформації про виконану операцію [32]. Для живлення програмно-апаратного комплексу використовується джерело постійного струму напругою 5 В. У випадку тестового прототипу живлення може здійснюватися через USB-порт, що значно спрощує процес налагодження системи. Також під час вибору апаратних компонентів важливим фактором є енергоспоживання системи.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

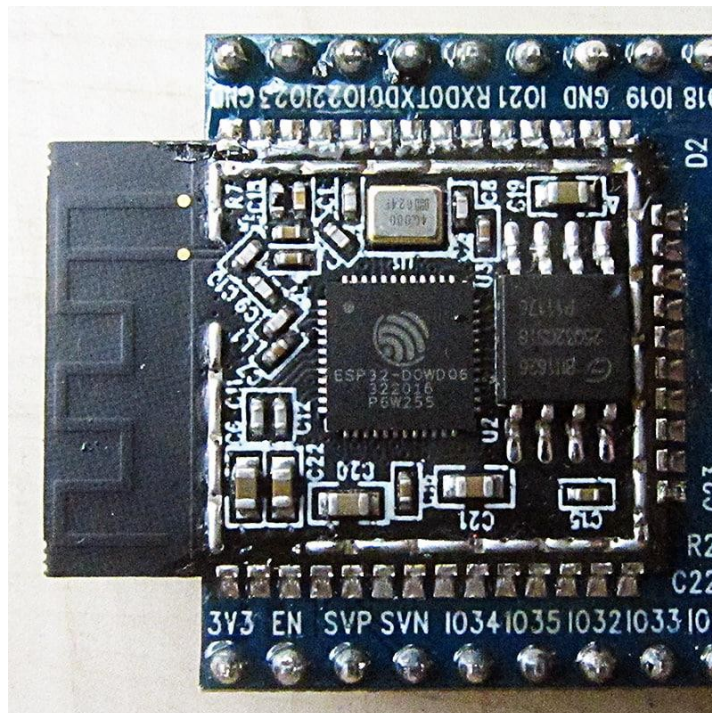


Рисунок 2.3 – Мікроконтролер ESP32 [44]

Таблиця 2.1 – Характеристики основних апаратних компонентів

Компонент	Основні характеристики
ESP32	Wi-Fi, Bluetooth, 240 МГц
RC522	RFID 13,56 МГц, SPI
LCD-дисплей	Відображення службової інформації
Wi-Fi	Бездротова передача даних
Блок живлення	Напруга 5 В

Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно враховувати електромагнітні завади та можливі помилки передачі даних. Саме тому під час розробки програмно-апаратного комплексу необхідно використовувати фільтрацію сигналів та перевірку коректності отриманої інформації.

Важливою перевагою використання ESP32 та RFID-зчитувача RC522 є велика кількість готових бібліотек та програмних рішень. Це дозволяє значно прискорити процес розробки системи та спростити реалізацію програмної частини комплексу [33]. Схему взаємодії апаратних компонентів системи зображено на рисунку 2.4.

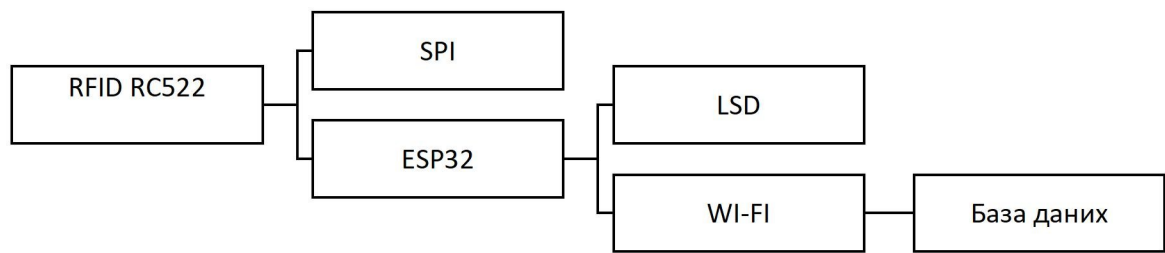


Рисунок 2.4 – схема взаємодії апаратних компонентів системи

Як видно з рисунку 2.4, RFID-зчитувач RC522 підключається до мікроконтролера ESP32 через інтерфейс SPI. ESP32 забезпечує взаємодію з LCD-дисплеєм для виведення службової інформації, а також передачу даних до бази даних через Wi-Fi модуль.

Таким чином, обрані апаратні компоненти дозволяють реалізувати ефективний програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів із можливістю подальшого розширення функціоналу системи.

2.3 Розробка алгоритму функціонування програмно-апаратного комплексу

Одним із важливих етапів розробки програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів є створення алгоритму функціонування системи [15]. Саме алгоритм визначає послідовність виконання операцій, принципи обробки інформації та взаємодію між окремими компонентами комплексу.

Розроблювана система повинна забезпечувати автоматичне зчитування інформації про електронні компоненти, передачу даних до серверної частини та оновлення інформації у базі даних у режимі реального часу [34]. Для реалізації

поставлених задач необхідно забезпечити стабільну взаємодію між RFID-зчитувачем, мікроконтролером ESP32 та серверною частиною системи.

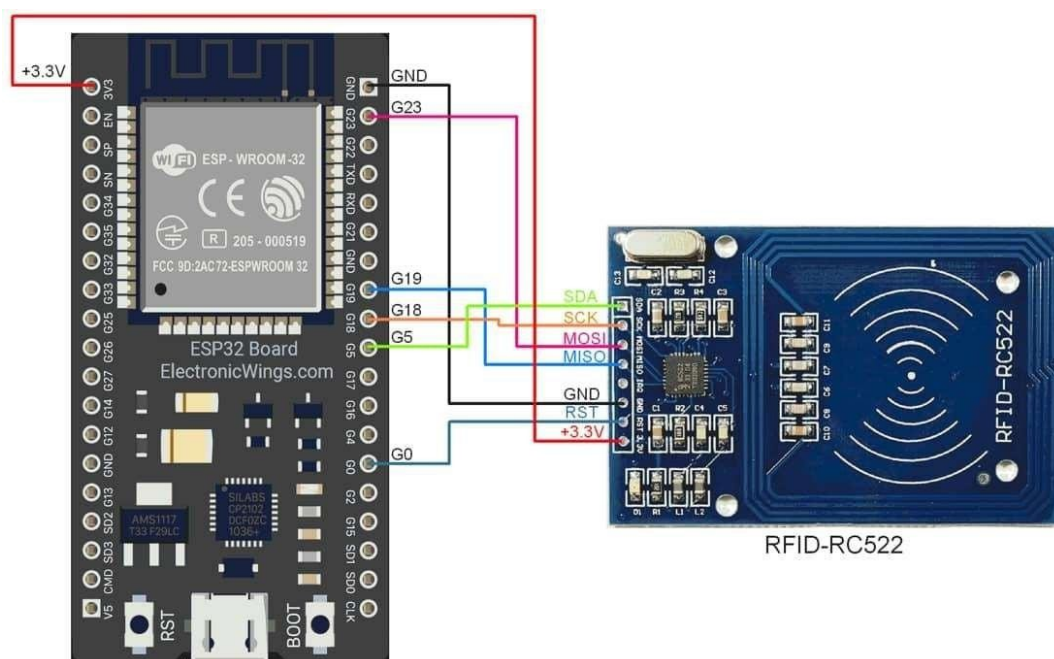
Робота системи починається після подачі живлення на мікроконтролерний модуль. Під час запуску ESP32 виконує ініціалізацію периферійних пристроїв, перевіряє стан RFID-зчитувача та виконує підключення до локальної Wi-Fi мережі підприємства.

Після успішного підключення до мережі система переходить у режим очікування RFID-мітки. У цьому режимі мікроконтролер постійно опитує RFID-зчитувач RC522 та перевіряє наявність нового компонента у зоні зчитування.

Після піднесення RFID-мітки до зчитувача виконується процедура ідентифікації компонента. RFID-зчитувач передає унікальний ідентифікатор мітки до мікроконтролера через SPI-інтерфейс. Отримані дані обробляються програмною частиною системи. На етапі обробки інформації мікроконтролер перевіряє коректність отриманого ідентифікатора та виконує формування службового повідомлення. У повідомленні містяться: ідентифікатор компонента, дата та час операції, тип виконуваної операції, ідентифікатор пристрою, службова інформація системи. Для передачі інформації використовується формат JSON, який є одним із найбільш поширених форматів обміну даними у сучасних інформаційних системах. Після формування JSON-повідомлення мікроконтролер виконує HTTP-запит до серверної частини системи. Серверна частина приймає інформацію, виконує перевірку коректності отриманих даних та записує інформацію до бази даних [35]. Якщо операція виконана успішно, сервер надсилає відповідь про успішне виконання запиту.

Після отримання підтвердження від серверної частини ESP32 активує модуль індикації. У випадку успішного виконання операції може вмикатися зелений світлодіод або виводитися повідомлення на LCD-дисплей. Якщо виникає помилка передачі даних або сервер повертає повідомлення про

помилку, система активує індикатор помилки. Однією з важливих особливостей алгоритму є обробка помилок мережевого з'єднання. У випадку втрати Wi-Fi з'єднання система повинна тимчасово зберігати інформацію у пам'яті мікроконтролера з подальшою передачею даних після відновлення зв'язку. Це дозволяє уникнути втрати інформації про складські операції. Також алгоритм повинен забезпечувати захист від дублювання операцій. Для цього система може перевіряти час останнього зчитування RFID-мітки та блокувати повторну обробку однакових даних протягом короткого проміжку часу. У процесі роботи системи серверна частина виконує оновлення інформації про залишки компонентів та зберігає історію всіх складських операцій. Завдяки цьому користувачі можуть переглядати інформацію про переміщення компонентів у режимі реального часу через веб-інтерфейс системи. Таким чином, розроблений алгоритм функціонування програмно-апаратного комплексу забезпечує автоматизований контроль логістичних процесів складу електронних компонентів, зменшує вплив людського фактора та підвищує точність складського обліку. Схему підключення RFID-зчитувача RC522 до мікроконтролера ESP32 наведено на рисунку 2.5.



Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис Дата

Рисунок 2.5 – Схема підключення RFID-зчитувача RC522 до мікроконтролера ESP32

Як видно з рисунку 2.5, RC522 підключається до ESP32 через інтерфейс SPI. Лінії SDA, SCK, MOSI та MISO забезпечують передачу даних, виводи RST та GND підключаються відповідно до піна скидання та землі, а живлення модуля здійснюється напругою +3,3 В

2.4 Проектування структури бази даних та організація серверної частини системи

Одним із найбільш важливих етапів розробки програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів є створення структури бази даних та організація серверної частини системи. Саме серверна частина забезпечує централізоване збереження інформації, взаємодію між окремими компонентами комплексу та можливість роботи користувачів із системою через веб-інтерфейс [16].

У сучасних системах автоматизації база даних виконує роль центрального сховища інформації. У ній зберігаються дані про електронні компоненти, складські операції, користувачів системи, підключені пристрої та інші службові відомості. Наявність централізованої бази даних дозволяє забезпечити цілісність інформації, уникнути дублювання записів та організувати одночасну роботу декількох користувачів [17].

Для складу електронних компонентів правильне проектування структури бази даних є особливо важливим, оскільки система повинна працювати з великою кількістю номенклатурних позицій та забезпечувати швидкий доступ до інформації про залишки компонентів.

Під час розробки структури бази даних необхідно враховувати такі основні вимоги: швидке виконання операцій пошуку, можливість одночасної

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

роботи декількох користувачів, забезпечення цілісності інформації, збереження історії складських операцій, підтримка масштабування системи. Для реалізації серверної частини системи можуть використовуватися сучасні системи керування базами даних, серед яких найбільш поширеними є PostgreSQL. У даній роботі доцільно використовувати PostgreSQL, оскільки вона є достатньо простою у використанні, має високу швидкодію та широко застосовується у веб-орієнтованих інформаційних системах [36]. Основною таблицею бази даних є таблиця Components, у якій зберігається інформація про електронні компоненти. У цій таблиці повинні міститися такі поля: унікальний ідентифікатор компонента, назва компонента, тип компонента, кількість на складі, місце зберігання, дата останнього оновлення.

Наявність такої таблиці дозволяє швидко отримувати інформацію про стан складу та контролювати залишки електронних компонентів.

Важливим елементом структури бази даних є таблиця складських операцій – Operations. У ній зберігається інформація про всі дії, які виконуються у межах системи. До таких дій належать: надходження компонентів, переміщення між зонами складу, видача компонентів, списання компонентів, інвентаризація.

Для кожної операції у таблиці зберігаються: тип операції, дата та час виконання, ідентифікатор компонента, кількість компонентів, ідентифікатор користувача, ідентифікатор пристрою. Збереження історії операцій дозволяє виконувати аналіз роботи складу та відстежувати переміщення компонентів у режимі реального часу. Для забезпечення авторизації користувачів у системі використовується таблиця Users. У ній зберігається інформація про працівників складу, логіни, паролі, ролі користувачів та рівні доступу. Використання системи авторизації дозволяє обмежити доступ до службової інформації та підвищити рівень безпеки системи [37].

Також у структурі бази даних може використовуватися таблиця Devices, у якій зберігається інформація про підключені пристрої системи. У даній таблиці

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

можуть міститися: ідентифікатор пристрою, тип пристрою, IP-адреса, статус підключення, дата останньої активності. Використання таблиці Devices дозволяє контролювати роботу мікроконтролерних модулів та забезпечує можливість моніторингу стану обладнання. Для організації взаємодії між апаратною та серверною частинами системи використовується API серверної частини. API забезпечує приймання HTTP-запитів від мікроконтролера ESP32 та передачу інформації до бази даних.

Після зчитування RFID-мітки мікроконтролер формує JSON-повідомлення та передає його на сервер через HTTP POST-запит. Формат JSON є одним із найбільш поширених форматів обміну інформацією у сучасних інформаційних системах, оскільки має просту структуру та легко обробляється програмними засобами.

Після отримання повідомлення серверна частина виконує перевірку коректності даних. Якщо інформація є правильною, сервер записує її до бази даних та оновлює інформацію про залишки компонентів. Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно реалізувати механізми обробки помилок. У випадку втрати мережевого з'єднання або помилки запису до бази даних сервер повинен формувати повідомлення про помилку та надсилати його до мікроконтролера.

Важливим етапом проектування серверної частини є забезпечення захисту інформації. Для цього можуть використовуватися: авторизація користувачів, захищене мережеве з'єднання, резервне копіювання бази даних, перевірка коректності запитів. Для взаємодії користувачів із системою передбачається використання веб-інтерфейсу. Через веб-інтерфейс користувач може: переглядати список компонентів, контролювати залишки, переглядати історію операцій, виконувати пошук інформації, формувати звітність.

Використання веб-інтерфейсу дозволяє спростити роботу персоналу складу та забезпечує швидкий доступ до інформації з будь-якого комп'ютера локальної мережі підприємства [18]. Під час проектування серверної частини

також необхідно враховувати можливість подальшого розширення системи. У майбутньому до комплексу можуть бути підключені додаткові RFID-зчитувачі, мобільні пристрої або нові модулі автоматизації. Таким чином, правильно спроектована структура бази даних та серверна частина системи забезпечують ефективну роботу програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів.

2.5 Розробка мережевої взаємодії та програмного інтерфейсу системи

Одним із найбільш важливих елементів програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів є організація стабільної та надійної мережевої взаємодії між апаратною та серверною частинами системи. Саме завдяки мережевій взаємодії забезпечується передача інформації про складські операції, оновлення даних у базі даних та можливість контролю логістичних процесів у режимі реального часу[38]. У сучасних інформаційних системах для організації взаємодії між окремими компонентами широко використовуються мережеві технології та веб-орієнтовані програмні інтерфейси.

Використання таких технологій дозволяє створювати масштабовані системи, які можуть працювати у локальних або глобальних мережах та забезпечувати доступ до інформації з різних пристроїв. У межах даної роботи для організації взаємодії між мікроконтролером ESP32 та серверною частиною використовується бездротова мережа Wi-Fi. Даний підхід дозволяє уникнути використання додаткових кабельних з'єднань та забезпечує гнучкість під час розгортання системи на складі електронних компонентів. Однією з головних переваг використання Wi-Fi є можливість інтеграції програмно-апаратного комплексу у локальну мережу підприємства. Це дозволяє забезпечити централізоване управління системою, підключення декількох пристроїв та організацію взаємодії між окремими складськими зонами. Для забезпечення обміну інформацією між ESP32 та серверною частиною системи

використовується REST API. REST API являє собою програмний інтерфейс, який дозволяє окремим компонентам системи взаємодіяти між собою через HTTP-запити. Основною перевагою REST API є простота реалізації та універсальність. Такий підхід дозволяє забезпечити взаємодію не лише між мікроконтролером та сервером, але й між іншими інформаційними системами підприємства.

У процесі роботи системи після зчитування RFID-мітки мікроконтролер формує інформаційне повідомлення, яке містить: унікальний ідентифікатор компонента, дату та час виконання операції, тип складської операції, ідентифікатор пристрою, службову інформацію системи [39].

Сформоване повідомлення передається до серверної частини через HTTP POST-запит. У якості формату передачі даних використовується JSON, оскільки він має просту структуру, легко обробляється програмними засобами та є одним із найбільш поширених форматів обміну інформацією у сучасних інформаційних системах.

Після отримання HTTP-запиту серверна частина виконує перевірку коректності отриманих даних. Якщо інформація є правильною, сервер записує її до бази даних та повертає відповідь про успішне виконання операції.

У випадку виникнення помилки сервер формує повідомлення про помилку та передає його назад до мікроконтролера. Це дозволяє оперативно повідомляти користувача про проблеми передачі інформації або помилки обробки даних.

Для забезпечення стабільної роботи системи необхідно реалізувати механізми обробки помилок мережевого з'єднання. У випадку тимчасової втрати Wi-Fi з'єднання мікроконтролер повинен тимчасово зберігати інформацію у внутрішній пам'яті та виконувати передачу даних після відновлення мережевого підключення.

Також важливим елементом мережевої взаємодії є контроль дублювання інформації. У випадку повторного зчитування RFID-мітки система повинна перевіряти час останньої операції та блокувати повторне виконання однакових

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

запитів протягом короткого проміжку часу. Це дозволяє уникнути появи дубльованих записів у базі даних. Для підвищення рівня безпеки системи під час передачі інформації можуть використовуватися механізми авторизації та автентифікації пристроїв [40]. Кожен мікроконтролер може мати власний ідентифікатор або API-ключ, який використовується для перевірки права доступу до серверної частини системи. Крім того, серверна частина повинна забезпечувати ведення журналу подій. У журналі можуть зберігатися: інформація про виконані HTTP-запити, помилки передачі даних, інформація про підключення пристроїв, службові повідомлення системи. Використання журналу подій дозволяє виконувати аналіз роботи системи та швидко виявляти можливі проблеми.

Важливою складовою програмного інтерфейсу системи є веб-інтерфейс користувача. Через веб-інтерфейс працівники складу можуть: переглядати інформацію про компоненти, контролювати залишки товарів, переглядати історію переміщення компонентів, виконувати пошук необхідної інформації, формувати звітність [19].

Веб-інтерфейс може бути реалізований у вигляді веб-додатку, який працює у браузері та взаємодіє із серверною частиною через API-запити. Основною перевагою такого підходу є можливість роботи з системою без необхідності встановлення додаткового програмного забезпечення. Під час проєктування програмного інтерфейсу також необхідно враховувати зручність роботи користувачів. Інтерфейс повинен бути простим, зрозумілим та забезпечувати швидкий доступ до основних функцій системи.

Для відображення інформації у веб-інтерфейсі можуть використовуватися: таблиці компонентів, журнал складських операцій, статистика роботи складу, повідомлення про помилки, панель керування системою. Окрему увагу необхідно приділити питанням масштабованості мережевої взаємодії. У майбутньому система повинна підтримувати підключення декількох

мікроконтролерів та одночасну роботу великої кількості користувачів без суттєвого зниження продуктивності.

Таким чином, правильно організована мережна взаємодія та програмний інтерфейс забезпечують стабільну роботу програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів та створюють основу для ефективної інтеграції системи з інформаційною інфраструктурою підприємства.

2.6 Розробка користувацького інтерфейсу системи

Однією з важливих складових програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів є користувацький веб-інтерфейс системи. Саме через веб-інтерфейс працівники складу та адміністратори взаємодіють із програмною частиною комплексу, отримують доступ до інформації про електронні компоненти, контролюють складські операції та виконують аналіз роботи системи [20]. У сучасних інформаційних системах веб-інтерфейс є найбільш поширеним способом організації взаємодії між користувачем та серверною частиною програмного забезпечення.

Основною перевагою такого підходу є можливість роботи із системою через звичайний веб-браузер без необхідності встановлення додаткових програм. Використання веб-інтерфейсу є особливо актуальним для складських систем, оскільки дозволяє забезпечити централізований доступ до інформації з різних комп'ютерів локальної мережі підприємства. Крім того, веб-інтерфейс може використовуватися не лише на персональних комп'ютерах, але й на планшетах або мобільних пристроях, що значно підвищує зручність роботи персоналу складу. Основною метою розробки користувацького інтерфейсу є забезпечення швидкого доступу до інформації про складські операції та спрощення процесу контролю переміщення електронних компонентів [21]. Під час проєктування веб-інтерфейсу необхідно враховувати такі основні вимоги: простота використання, зрозуміла структура меню, швидкий доступ до

основних функцій, адаптивність інтерфейсу, захист інформації; можливість подальшого розширення функціоналу. У межах даної роботи веб-інтерфейс системи складається з декількох основних модулів: модуль авторизації користувачів, головна інформаційна панель, модуль перегляду компонентів, модуль журналу складських операцій, модуль статистики та звітності, модуль адміністрування системи.

Першим елементом інтерфейсу є система авторизації користувачів. Перед початком роботи користувач повинен пройти процедуру входу до системи шляхом введення логіна та пароля. Після успішної авторизації сервер визначає рівень доступу користувача та надає доступ лише до дозволених функцій системи.

Використання системи авторизації дозволяє: обмежити доступ до службової інформації, контролювати дії користувачів, забезпечити захист інформації, вести журнал активності персоналу.

Після авторизації користувач переходить до головної інформаційної панелі системи. На головній сторінці відображається загальна інформація про стан складу та активність системи.

На інформаційній панелі можуть відображатися: загальна кількість компонентів на складі, кількість виконаних складських операцій, інформація про активні пристрої, повідомлення про помилки системи, стан підключення RFID-зчитувачів, статистична інформація.

Наявність централізованої інформаційної панелі дозволяє оператору швидко оцінити стан системи та виявити можливі проблеми.

Одним із найбільш важливих елементів веб-інтерфейсу є модуль перегляду електронних компонентів. У даному модулі користувач може отримувати детальну інформацію про всі компоненти, що знаходяться на складі [22]. Для кожного компонента можуть відображатися: назва компонента, тип компонента, RFID-ідентифікатор, кількість на складі, місце зберігання, дата останнього оновлення, поточний статус.

Інформація про компоненти може відображатися у вигляді таблиці, що значно спрощує процес пошуку та аналізу даних.

Для підвищення зручності роботи користувачів у системі передбачається використання механізмів пошуку та фільтрації інформації. Користувач може виконувати пошук компонентів: за назвою, за RFID-ідентифікатором, за типом компонента, за місцем зберігання. Також система може підтримувати сортування інформації за різними параметрами, що дозволяє швидко знаходити необхідні компоненти навіть у випадку великої кількості номенклатурних позицій.

Окрему роль у веб-інтерфейсі виконує модуль журналу складських операцій. У журналі відображається історія всіх дій, які виконувалися у межах системи. Для кожної операції можуть зберігатися: тип операції, дата та час виконання, RFID-ідентифікатор компонента, кількість компонентів, користувач або пристрій, який виконав операцію. Використання журналу операцій дозволяє: контролювати переміщення компонентів, аналізувати активність користувачів, перевіряти коректність виконання складських операцій, здійснювати аудит роботи системи.

Для забезпечення ефективного управління складом у системі також може використовуватися модуль статистики та аналітики. У даному модулі можуть відображатися: кількість виконаних операцій за певний період, найбільш використовувані компоненти, статистика активності користувачів, інформація про навантаження на систему, динаміка змін залишків компонентів [23].

Наявність статистичних даних дозволяє керівництву підприємства аналізувати ефективність роботи складу та приймати рішення щодо оптимізації логістичних процесів.

Під час розробки користувацького інтерфейсу особливу увагу необхідно приділити адаптивності веб-додатку. Інтерфейс повинен коректно працювати на різних пристроях та підтримувати різні роздільні здатності екранів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Для реалізації веб-інтерфейсу можуть використовуватися сучасні веб-технології: HTML, CSS, JavaScript, Bootstrap, REST API. HTML використовується для створення структури веб-сторінок, CSS – для оформлення інтерфейсу, а JavaScript для реалізації динамічної взаємодії користувача із системою. Для забезпечення взаємодії між веб-інтерфейсом та серверною частиною системи використовуються API-запити. Через API веб-інтерфейс отримує інформацію з бази даних та відображає її користувачу у зручному вигляді.

Важливою вимогою до користувацького інтерфейсу є швидкість роботи системи. Для цього необхідно оптимізувати запити до бази даних та використовувати механізми кешування інформації. Також необхідно враховувати питання інформаційної безпеки. Для захисту даних у веб-інтерфейсі можуть використовуватися: авторизація користувачів, шифрування паролів, обмеження прав доступу, перевірка коректності введених даних. Структуру користувацького веб-інтерфейсу системи наведено на рисунку 2.6.



Рисунок 2.6 – Структура користувацького веб-інтерфейсу системи

Як видно з рисунку 2.6, веб-інтерфейс має ієрархічну структуру. Вхід до системи здійснюється через авторизацію користувача, після чого відкривається головна панель. З головної панелі доступні три основні розділи: компоненти, операції та статистика. Розділ компонентів містить підрозділи пошуку та адміністрування, розділ операцій — журнал дій.

Таким чином, користувацький веб-інтерфейс є важливою складовою програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів, оскільки забезпечує ефективну взаємодію користувачів із системою та дозволяє спростити процес управління складом електронних компонентів.

2.7 Висновки до розділу

У другому розділі було виконано проектування програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів. У процесі роботи було визначено основні принципи побудови системи, структуру взаємодії між окремими компонентами та особливості функціонування програмної й апаратної частин комплексу.

На основі проведеного аналізу було сформовано загальну структуру програмно-апаратного комплексу, яка включає RFID-зчитувач, мікроконтролер ESP32, модуль бездротової передачі даних, серверну частину системи, базу даних та користувацький веб-інтерфейс. Визначено функціональне призначення кожного елемента системи та принципи їх взаємодії.

У межах розділу було обґрунтовано вибір апаратних компонентів системи. Встановлено, що використання мікроконтролера ESP32 є доцільним завдяки наявності вбудованих модулів Wi-Fi та Bluetooth, достатній продуктивності та підтримці сучасних інтерфейсів підключення. Також було визначено доцільність використання RFID-зчитувача RC522 для автоматичної ідентифікації електронних компонентів.

Під час проєктування алгоритму функціонування системи було визначено основні етапи роботи програмно-апаратного комплексу: зчитування RFID-мітки, обробка інформації мікроконтролером, передача даних через Wi-Fi, запис інформації до бази даних та відображення результатів у веб-інтерфейсі користувача.

Окрему увагу приділено проєктуванню структури бази даних та серверної частини системи. Було визначено основні таблиці бази даних, які забезпечують збереження інформації про електронні компоненти, складські операції, користувачів системи та підключені пристрої. Також було розглянуто принципи реалізації REST API та використання формату JSON для організації обміну даними між окремими компонентами системи. У процесі розробки мережевої взаємодії системи визначено основні принципи передачі інформації між мікроконтролером та серверною частиною. Встановлено, що використання бездротової мережі Wi-Fi та REST API дозволяє забезпечити стабільний обмін даними та інтеграцію системи з інформаційною інфраструктурою підприємства. Також у межах другого розділу було розроблено структуру користувацького веб-інтерфейсу системи. Визначено основні функціональні модулі інтерфейсу, серед яких авторизація користувачів, перегляд компонентів, журнал складських операцій, система пошуку та модуль статистики. Встановлено, що використання веб-орієнтованого підходу забезпечує зручність роботи користувачів та спрощує доступ до інформації про складські процеси.

Таким чином, результати другого розділу створюють основу для подальшої практичної реалізації програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів та розробки програмного забезпечення системи, що буде розглянуто у наступному розділі дипломної роботи.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО КОНТРОЛЮ ЛОГІСТИЧНИХ ПРОЦЕСІВ

3.1 Реалізація програмної частини мікроконтролерної системи

Після завершення етапу проектування структури програмно-апаратного комплексу наступним кроком є практична реалізація програмної частини системи. Саме програмне забезпечення забезпечує взаємодію між RFID-зчитувачем, мікроконтролером ESP32, серверною частиною та базою даних. Від якості реалізації програмної логіки залежить стабільність роботи комплексу, швидкість обробки інформації та надійність передачі даних.

У межах даної роботи програмна частина системи реалізовується на основі мікроконтролера ESP32. Даний мікроконтролер забезпечує виконання таких основних функцій: зчитування RFID-міток, обробка отриманої інформації, підключення до Wi-Fi мережі, формування HTTP-запитів, передача даних до серверної частини, обробка відповідей сервера, індикація стану системи. Для розробки програмного забезпечення мікроконтролера може використовуватися середовище Arduino IDE. Дане середовище є одним із найбільш поширених засобів програмування мікроконтролерних платформ та підтримує ESP32 через додаткові бібліотеки [41].

Однією з основних переваг використання Arduino IDE є велика кількість готових бібліотек для роботи з периферійними пристроями. Це дозволяє значно спростити процес розробки та зменшити складність реалізації програмної частини системи. Для роботи з RFID-зчитувачем RC522 використовується бібліотека MFRC522, яка забезпечує: ініціалізацію RFID-модуля, зчитування UID RFID-міток, обмін даними через SPI-інтерфейс, перевірку коректності зчитування.

Після запуску мікроконтролера виконується ініціалізація периферійних пристроїв та налаштування параметрів роботи системи. На даному етапі ESP32:

виконує запуск Wi-Fi модуля, підключається до локальної мережі, ініціалізує SPI-інтерфейс, активує RFID-зчитувач, запускає модулі індикації [42].

Після завершення ініціалізації система переходить у режим очікування RFID-мітки. У даному режимі ESP32 постійно опитує RFID-зчитувач та перевіряє наявність нового компонента у зоні зчитування. У випадку виявлення RFID-мітки система отримує її UID та передає його до програмного модуля обробки інформації. На даному етапі виконується: перевірка коректності отриманих даних, перевірка дублювання операцій, формування структури повідомлення, підготовка даних до передачі на сервер.

Для передачі інформації до серверної частини використовується HTTP POST-запит. Перед відправленням інформації ESP32 формує JSON-структуру, яка містить основні параметри складської операції.

Після формування JSON-повідомлення система виконує передачу даних через Wi-Fi мережу до REST API серверної частини. Сервер обробляє отриманий запит та повертає відповідь про результат виконання операції.

У випадку успішної передачі інформації мікроконтролер активує світлодіодну індикацію або виводить повідомлення на LCD-дисплей. Якщо сервер повертає помилку або відсутнє мережеве з'єднання, система переходить у режим повторної передачі даних.

Для забезпечення стабільної роботи комплексу у програмному забезпеченні реалізовується механізм обробки помилок. Основними типами помилок, які можуть виникати у процесі роботи системи, є: відсутність Wi-Fi з'єднання, помилки зчитування RFID-мітки, помилки передачі HTTP-запиту, недоступність серверної частини, дублювання операцій.

У випадку втрати мережевого з'єднання система повинна тимчасово зберігати інформацію у пам'яті мікроконтролера. Після відновлення Wi-Fi підключення накопичені дані автоматично передаються до серверної частини.

Для підвищення надійності роботи системи у програмному забезпеченні також реалізовується механізм перевірки повторного зчитування RFID-мітки.

Якщо одна й та сама RFID-мітка зчитується декілька разів протягом короткого проміжку часу, система блокує повторну передачу інформації до серверної частини. Це дозволяє уникнути появи дубльованих записів у базі даних [43].

Під час розробки програмної частини системи особливу увагу необхідно приділяти оптимізації використання пам'яті мікроконтролера. Оскільки ESP32 має обмежений обсяг оперативної пам'яті, необхідно мінімізувати кількість одночасно активних процесів та оптимізувати структуру програмного коду.

Також важливим елементом програмної реалізації є забезпечення стабільної роботи Wi-Fi модуля. Для цього система повинна періодично перевіряти стан мережевого з'єднання та автоматично виконувати повторне підключення у випадку втрати зв'язку.

У межах даної роботи програмне забезпечення реалізується за модульним принципом. Основними програмними модулями є: модуль роботи з RFID-зчитувачем, модуль мережевої взаємодії, модуль обробки даних, модуль індикації, модуль обробки помилок. Використання модульного підходу дозволяє спростити процес розробки, тестування та подальшого розширення функціоналу системи.

Таким чином, реалізація програмної частини мікроконтролерної системи забезпечує автоматизовану обробку складських операцій, передачу інформації до серверної частини та стабільну взаємодію між усіма компонентами програмно-апаратного комплексу.

3.2 Розробка програмного забезпечення мікроконтролера

Одним із найважливіших етапів реалізації програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів є розробка програмного забезпечення мікроконтролера. Саме програмна частина системи забезпечує взаємодію між апаратними компонентами, виконує обробку

отриманої інформації та організовує передачу даних до серверної частини системи.

У межах даної роботи в якості основного керуючого пристрою використовується мікроконтролер ESP32. Даний мікроконтролер був обраний завдяки високій продуктивності, підтримці бездротових технологій Wi-Fi та Bluetooth, а також широким можливостям підключення периферійних пристроїв.

Розробка програмного забезпечення виконується у середовищі Arduino IDE. Дане середовище є одним із найбільш популярних засобів програмування мікроконтролерів та забезпечує підтримку великої кількості бібліотек для роботи з різними апаратними модулями.

Під час розробки програмного забезпечення основна увага приділяється реалізації процесу автоматичного зчитування RFID-міток та передачі інформації до серверної частини системи. Для взаємодії з RFID-зчитувачем RC522 використовуються спеціалізовані бібліотеки, які забезпечують обмін даними через інтерфейс SPI.

Після запуску системи програмне забезпечення виконує ініціалізацію основних модулів мікроконтролера. На даному етапі виконується налаштування послідовного порту, підключення до бездротової мережі Wi-Fi та перевірка працездатності RFID-зчитувача. У випадку успішного завершення ініціалізації система переходить у режим очікування RFID-мітки.

Під час піднесення RFID-мітки до зчитувача система отримує унікальний ідентифікатор компонента та виконує його обробку. Після цього формується інформаційне повідомлення, яке містить ідентифікатор компонента, дату та час операції, а також службову інформацію про пристрій.

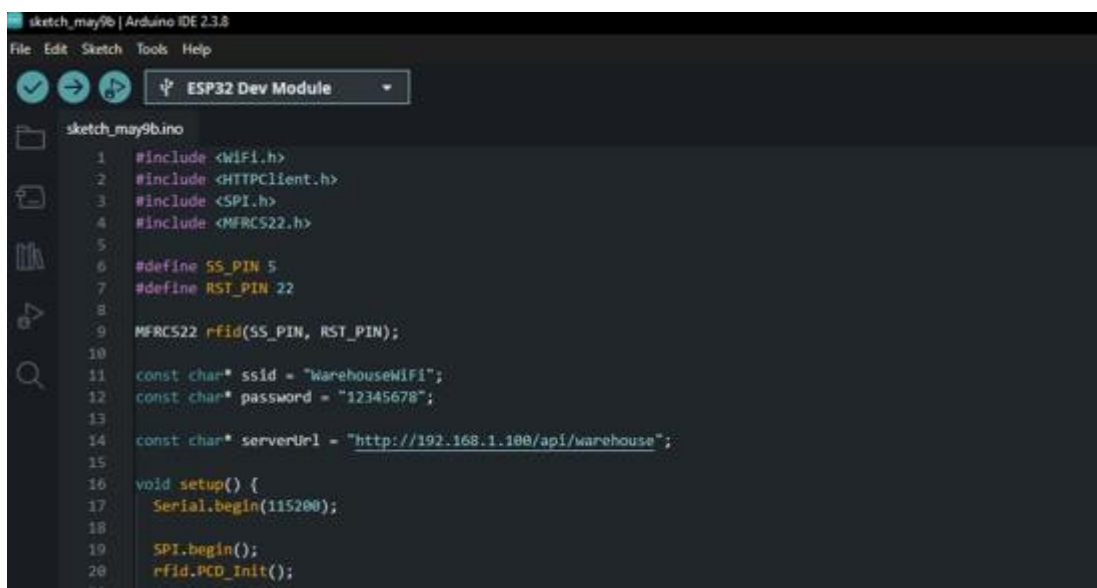
Для передачі даних до серверної частини використовується Wi-Fi-з'єднання та HTTP-запити. У якості формату передачі інформації застосовується JSON, що забезпечує просту інтеграцію із серверною частиною та базою даних.

Після успішної передачі інформації сервер виконує запис даних до бази даних та надсилає відповідь мікроконтролеру. У випадку успішного виконання операції на пристрої може активуватися світлодіодна індикація або виводитися повідомлення у Serial Monitor [45].

Під час розробки програмного забезпечення також реалізовано механізм обробки помилок. Якщо підключення до мережі відсутнє або сервер недоступний, система виконує повторну спробу передачі інформації через певний проміжок часу. Це дозволяє підвищити надійність роботи комплексу та уникнути втрати даних.

Завдяки використанню модульного підходу програмне забезпечення можна легко модернізувати та доповнювати новими функціональними можливостями. У майбутньому система може бути розширена шляхом додавання мобільного застосунку, автоматичної інвентаризації або підтримки декількох RFID-зчитувачів.

Розроблене програмне забезпечення дозволяє ESP32 зчитувати RFID-мітки, обробляти отримані дані та передавати інформацію до серверної частини системи через Wi-Fi-з'єднання. Програмне забезпечення мікроконтролера ESP32, реалізацію передачі даних на сервер та результати тестування системи наведено на рисунках 3.1–3.3.



```
sketch_may9b | Arduino IDE 2.3.8
File Edit Sketch Tools Help
ESP32 Dev Module
sketch_may9b.ino
1 #include <WiFi.h>
2 #include <HTTPClient.h>
3 #include <SPI.h>
4 #include <MFRC522.h>
5
6 #define SS_PIN 5
7 #define RST_PIN 22
8
9 MFRC522 rfid(SS_PIN, RST_PIN);
10
11 const char* ssid = "WarehouseWiFi";
12 const char* password = "12345678";
13
14 const char* serverUrl = "http://192.168.1.100/api/warehouse";
15
16 void setup() {
17   Serial.begin(115200);
18
19   SPI.begin();
20   rfid.PCD_Init();
21 }
```

Рисунок 3.1 – Фрагмент програмного забезпечення мікроконтролера ESP32

```
21
22 Serial.println("System started");
23 Serial.println("RFID module initialized");
24
25 WiFi.begin(ssid, password);
26 Serial.print("Connecting to WiFi");
27
28 while (WiFi.status() != WL_CONNECTED) {
29     delay(500);
30     Serial.print(".");
31 }
32
33 Serial.println();
34 Serial.println("WiFi connected");
35 Serial.println("Waiting for RFID tag...");
36 }
37
38 void loop() {
39     if (IrFid.PICC_IsNewCardPresent()) {
40         return;
41     }
42
43     if (IrFid.PICC_ReadCardSerial()) {
44         return;
45     }
46 }
```

Рисунок 3.2 – Фрагмент програмного забезпечення мікроконтролера ESP32

```
ESP32 Dev Module
sketch_may9b.ino
49 for (byte i = 0; i < rfid.uid.size; i++) {
50     componentId += String(rfid.uid.uidByte[i], HEX);
51 }
52
53 componentId.toUpperCase();
54
55 Serial.print("RFID detected: ");
56 Serial.println(componentId);
57
58 sendDataToServer(componentId);
59
60 rfid.PICC_HaltA();
61 rfid.PCD_StopCrypt1();
62
63 delay(2000);
64 }
65
66 void sendDataToServer(String componentId) {
67     if (WiFi.status() == WL_CONNECTED) {
68         HTTPClient http;
69
70         http.begin(serverUrl);
71         http.addHeader("Content-Type", "application/json");
72
73         String jsonData = "{";
74         jsonData += "\"component_id\": \"" + componentId + "\", ";
75         jsonData += "\"operation\": \"movement\", ";
76         jsonData += "\"device\": \"ESP32_warehouse_node\"";
77         jsonData += "}";
78
79         int responseCode = http.POST(jsonData);
80
81         if (responseCode > 0) {
82             Serial.print("Server response: ");
83             Serial.println(responseCode);
84             Serial.println("Data sent successfully");
85         } else {
86             Serial.println("Error sending data to server");
87         }
88
89         http.end();
90     } else {
91         Serial.println("WiFi connection lost");
92     }
93 }
```

Рисунок 3.3 – Реалізація передачі даних на сервер у програмному забезпеченні ESP32

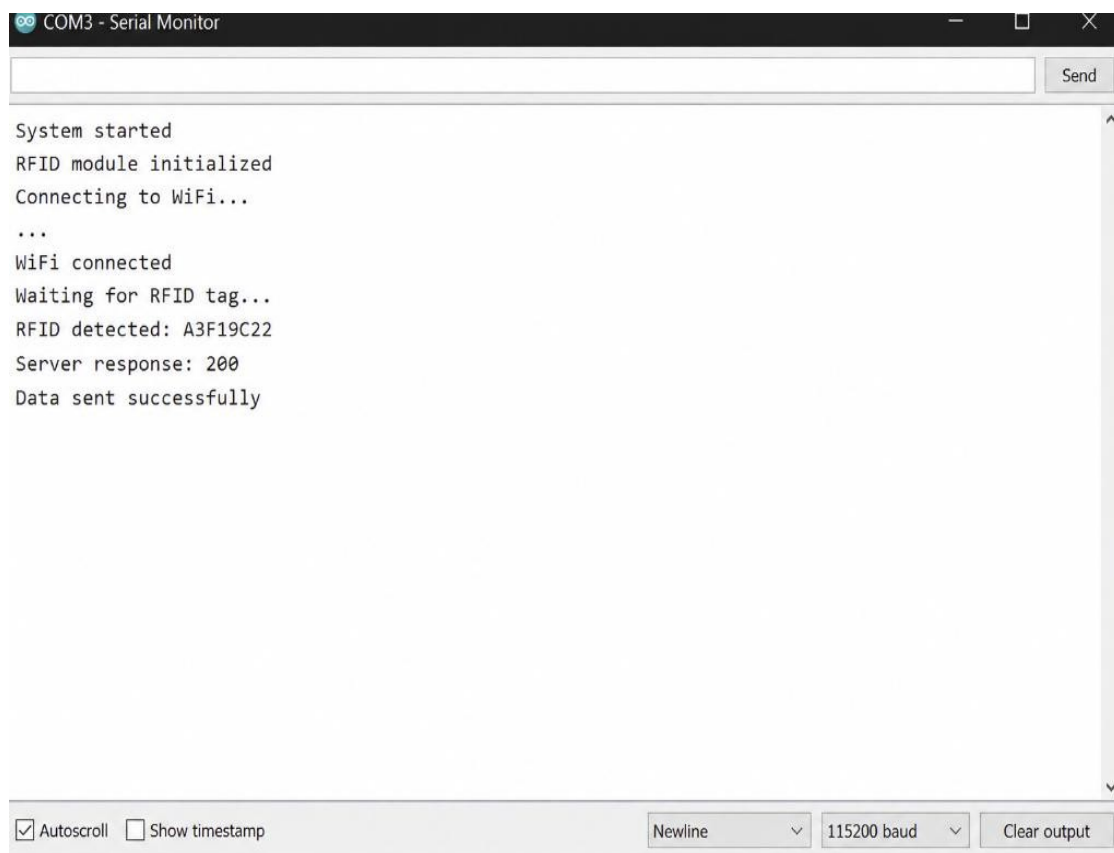


Рисунок 3.4 – Результат роботи системи у Serial Monitor

Після розробки програмного забезпечення було виконано тестування основних функцій системи у середовищі Arduino IDE. Отримані результати підтвердили коректність роботи RFID-зчитувача, стабільність мережевого підключення та можливість передачі інформації до серверної частини системи. Розроблене програмне забезпечення забезпечує ефективну взаємодію між апаратними та програмними компонентами комплексу і може бути використане як основа для подальшого розширення функціональних можливостей системи.

Для зберігання інформації у даній роботі доцільно використовувати реляційну базу даних. Для зберігання інформації у даній роботі доцільно використовувати реляційну

Для роботи системи автоматизованого контролю необхідно забезпечити приймання, обробку та збереження інформації про складські операції. Саме сервер виконує приймання інформації від мікроконтролера, обробку отриманих даних, взаємодію з базою даних та надання доступу до інформації користувачам системи.

У межах даної роботи серверна частина розглядається як програмний модуль, який забезпечує централізоване зберігання інформації про складські операції та контроль переміщення електронних компонентів. Використання серверної архітектури дозволяє організувати обмін інформацією між декількома пристроями та забезпечити цілісність даних.

Для обміну інформацією між ESP32 та серверною частиною системи використовується REST API, що дозволяє передавати дані про RFID-мітки у режимі реального часу. Передача інформації від мікроконтролера до сервера виконується через HTTP POST-запити, а структура повідомлень формується у форматі JSON. Використання JSON та HTTP POST-запитів спрощує передачу інформації між ESP32 та серверною частиною системи.

Після отримання інформації сервер виконує перевірку коректності вхідних даних та обробляє отриманий запит. У випадку успішного проходження перевірки інформація записується до бази даних системи. Крім того, сервер може виконувати обробку помилок, контроль дублювання записів та формування журналу складських операцій.

Для зберігання інформації у даній роботі використовується реляційна система керування базами даних PostgreSQL. Робота з базою даних виконується у середовищі pgAdmin, що дозволяє створювати таблиці, виконувати SQL-запити та переглядати результати роботи системи. Використання PostgreSQL забезпечує впорядковане зберігання інформації про електронні компоненти, складські операції та RFID-ідентифікатори.

У структурі бази даних передбачено зберігання інформації про електронні компоненти, складські операції, користувачів системи та RFID-

ідентифікатори. Це дозволяє забезпечити контроль руху компонентів, зберігати історію операцій та формувати аналітичну інформацію про роботу складу.

Основними таблицями бази даних є таблиця компонентів, таблиця складських операцій та таблиця користувачів системи. У таблиці компонентів зберігається інформація про назву компонента, його унікальний RFID-ідентифікатор та кількість на складі. Таблиця операцій містить інформацію про виконані дії, дату операції та ідентифікатор компонента. Таблиця користувачів використовується для організації доступу до системи та розмежування прав користувачів.

Для підвищення надійності роботи серверної частини доцільно використовувати механізми резервного копіювання бази даних та захисту інформації від несанкціонованого доступу. Крім того, серверна частина може бути доповнена системою авторизації користувачів та засобами ведення журналу подій.

У процесі взаємодії з сервером мікроконтролер передає інформацію про RFID-мітку, тип складської операції та службові параметри пристрою. Сервер виконує обробку отриманих даних та формує відповідь про результат виконання операції. У випадку успішного виконання запиту інформація зберігається у базі даних та може бути використана для подальшого аналізу.

Розроблена серверна частина дозволяє організувати централізоване зберігання інформації про складські операції та забезпечує взаємодію між мікроконтролером ESP32, базою даних PostgreSQL і користувацьким інтерфейсом системи.

```
1  --Створення таблиці operations
2
3  CREATE TABLE operations (
4      id SERIAL PRIMARY KEY,
5      component_id INT,
6      operation_type VARCHAR(50),
7      operation_date TIMESTAMP
8  );
9
10
```

Лістинг 3.1 – SQL-запит створення таблиці operations

```

11  --заповнення таблиці
12
13  INSERT INTO operations (component_id, operation_type, operation_date)
14  VALUES
15  (1, 'add_component', '2026-05-10 10:15:00'),
16  (2, 'add_component', '2026-05-10 10:20:00'),
17  (3, 'add_component', '2026-05-10 10:25:00'),
18  (1, 'movement', '2026-05-10 11:10:00'),
19  (2, 'issue_component', '2026-05-10 12:05:00'),
20  (3, 'inventory_check', '2026-05-10 13:30:00');
21
22  --виведення таблиці
23
24  SELECT * FROM operations
    
```

Лістинг 3.2 – SQL-запит створення таблиці operations

	id [PK] integer	component_id integer	operation_type character varying (50)	operation_date timestamp without time zone
1	1	1	add_component	2026-05-10 10:15:00
2	2	2	add_component	2026-05-10 10:20:00
3	3	3	add_component	2026-05-10 10:25:00
4	4	1	movement	2026-05-10 11:10:00
5	5	2	issue_component	2026-05-10 12:05:00
6	6	3	inventory_check	2026-05-10 13:30:00

Рисунок 3.5 – Вміст таблиці operations у базі даних PostgreSQL

```

1  -- створення таблиці components
2  |
3  CREATE TABLE components (
4  id SERIAL PRIMARY KEY,
5  name VARCHAR(100),
6  rfid_tag VARCHAR(50),
7  quantity INT
8  );
    
```

Лістинг 3.3 – SQL-запит створення таблиці components

У межах даної роботи було створено таблицю components, яка використовується для зберігання інформації про електронні компоненти складу.

Таблиця містить унікальний ідентифікатор компонента, його назву, RFID-ідентифікатор та кількість на складі.

```

9
10 -- заповнення таблиці components
11
12 INSERT INTO operations (component_id, operation_type, operation_date)
13 VALUES
14 (1, 'add_component', '2026-05-10 10:15:00'),
15 (2, 'add_component', '2026-05-10 10:20:00'),
16 (3, 'add_component', '2026-05-10 10:25:00'),
17 (1, 'movement', '2026-05-10 11:10:00'),
18 (2, 'issue_component', '2026-05-10 12:05:00'),
19 (3, 'inventory_check', '2026-05-10 13:30:00');
20
21 -- демонстрація вмісту таблиці
22
23
24 SELECT * FROM components

```

Лістинг 3.4 – SQL-запит створення таблиці components

	id [PK] integer	name character varying (100)	rfid_tag character varying (50)	quantity integer
1	1	ESP32 Module	RFID_1001	15
2	2	RFID RC522	RFID_1002	8
3	3	Temperature Sensor	RFID_1003	20

Рисунок 3.6 – Вміст таблиці components у базі даних PostgreSQL

Крім того, для контролю виконаних складських операцій реалізовано таблицю operations, у якій зберігається інформація про тип операції, дату виконання та ідентифікатор відповідного компонента.

Створення таблиць виконується за допомогою SQL-запитів типу CREATE TABLE. Після створення структури бази даних до таблиць додаються тестові записи, які дозволяють перевірити коректність роботи системи та реалізувати подальшу взаємодію між серверною частиною та мікроконтролером ESP32.

3.3 Тестування та перевірка працездатності програмно-апаратного комплексу

Після завершення розробки програмного забезпечення та серверної частини системи було виконано тестування програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів. Основною метою тестування є перевірка коректності взаємодії між апаратними та програмними компонентами системи, а також оцінка стабільності роботи комплексу під час виконання складських операцій.

Під час тестування особлива увага приділялася роботі мікроконтролера ESP32, RFID-зчитувача RC522 та процесу передачі інформації до серверної частини системи. Перевірка роботи комплексу виконувалася у середовищі Arduino IDE та PostgreSQL із використанням pgAdmin для контролю структури бази даних та результатів виконання SQL-запитів.

На першому етапі тестування було перевірено коректність роботи RFID-зчитувача. Під час піднесення RFID-мітки до RC522 мікроконтролер успішно отримував RFID-ідентифікатор та передавав його до програмної частини системи. Результати роботи відображалися у Serial Monitor середовища Arduino IDE.

Наступним етапом було тестування передачі інформації між ESP32 та серверною частиною системи. Для передачі даних використовувалися HTTP POST-запити у форматі JSON. Під час тестування було перевірено коректність формування JSON-повідомлень та передачі інформації через Wi-Fi-з'єднання.

Після отримання інформації серверна частина системи виконувала обробку отриманих даних та запис інформації до бази даних PostgreSQL. У pgAdmin було перевірено коректність створення таблиць, додавання тестових записів та виконання SQL-запитів для перегляду інформації про складські операції.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

У процесі тестування також перевірялася робота системи у випадку втрати мережевого підключення. Було встановлено, що після повторного підключення до мережі система продовжує виконувати передачу інформації без необхідності повторного запуску мікроконтролера.

Крім того, виконувалося тестування швидкості обробки RFID-міток та стабільності роботи системи при багаторазовому виконанні операцій зчитування. Отримані результати підтвердили можливість використання програмно-апаратного комплексу для автоматизації обліку електронних компонентів на складі.

Таким чином, результати тестування підтвердили працездатність розробленої системи та можливість її подальшого використання для автоматизованого контролю логістичних процесів. Результати передачі RFID-ідентифікатора та виконання SQL-запиту у базі даних наведено на рисунках 3.6–3.7.

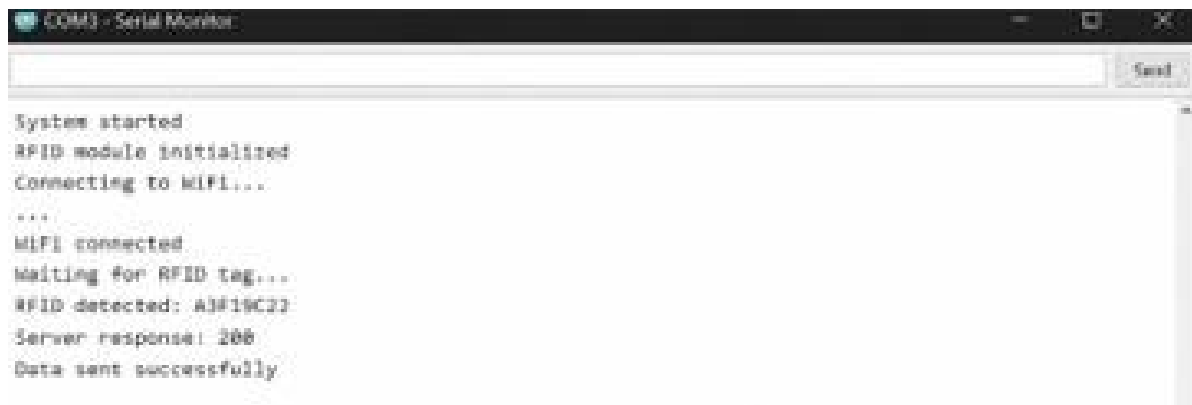


Рисунок 3.7 – Результат передачі RFID-ідентифікатора у Serial Monitor



Рисунок 3.8 – Результат виконання SQL-запиту у PostgreSQL

```
9
10 -- заповнення таблиці components
11
12 INSERT INTO operations (component_id, operation_type, operation_date)
13 VALUES
14 (1, 'add_component', '2026-05-10 10:15:00'),
15 (2, 'add_component', '2026-05-10 10:20:00'),
16 (3, 'add_component', '2026-05-10 10:25:00'),
17 (1, 'movement', '2026-05-10 11:10:00'),
18 (2, 'issue_component', '2026-05-10 12:05:00'),
19 (3, 'inventory_check', '2026-05-10 13:30:00');
20
21 -- демонстрація вмісту таблиці
22
23
24 SELECT * FROM components
```

Рисунок 3.9 – Результат виконання SQL-запиту у PostgreSQL

Під час тестування було підтверджено коректність роботи програмно-апаратного комплексу, передачі інформації між ESP32 та серверною частиною, а також успішне збереження даних у базі PostgreSQL. Отримані результати свідчать про можливість практичного використання системи для автоматизації складських процесів.

3.4 Висновки до розділу

У третьому розділі було виконано реалізацію програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів. У процесі роботи розроблено алгоритм функціонування системи, програмне забезпечення мікроконтролера ESP32 та серверну частину для обробки інформації.

Для забезпечення взаємодії між апаратною та програмною частинами використано RFID-зчитувач RC522, Wi-Fi-з'єднання, HTTP POST-запити та формат JSON. Передача інформації між ESP32 та серверною частиною системи

забезпечує автоматизований контроль складських операцій та можливість централізованого зберігання даних.

У межах реалізації серверної частини використано PostgreSQL та середовище pgAdmin, у якому виконувалося створення таблиць, тестування SQL-запитів та перевірка коректності збереження інформації про електронні компоненти й складські операції.

Крім того, було виконано тестування працездатності програмно-апаратного комплексу. Отримані результати підтвердили коректність роботи RFID-зчитувача, стабільність передачі інформації через Wi-Fi та успішне збереження даних у базі PostgreSQL.

Таким чином, результати третього розділу підтверджують можливість практичної реалізації системи автоматизованого контролю логістичних процесів та створюють основу для подальшого розвитку програмно-апаратного комплексу.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі було розглянуто питання автоматизації логістичних процесів складу електронних компонентів та виконано розробку програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю складських операцій на основі мікроконтролера ESP32.

У процесі виконання роботи проведено аналіз сучасних систем автоматизації складського обліку, RFID-технологій та мікроконтролерних платформ, що використовуються у логістичних системах. На основі проведеного аналізу було визначено основні вимоги до програмно-апаратного комплексу та обґрунтовано доцільність використання RFID-зчитувача RC522 і мікроконтролера ESP32 для реалізації системи автоматизованого контролю.

У межах роботи було розроблено структуру програмно-апаратного комплексу, визначено логіку взаємодії між окремими компонентами системи та спроектовано механізм передачі інформації між мікроконтролером і серверною частиною. Для обміну інформацією використано Wi-Fi-з'єднання, HTTP POST-запити та формат JSON.

Під час реалізації програмного забезпечення було використано середовище Arduino IDE та спеціалізовані бібліотеки для роботи з RFID-зчитувачем RC522. Розроблене програмне забезпечення забезпечує зчитування RFID-міток, обробку отриманих даних та передачу інформації до серверної частини системи.

Для організації зберігання інформації використано PostgreSQL та середовище pgAdmin. У процесі роботи було створено структуру бази даних, реалізовано SQL-запити створення таблиць та виконано тестування роботи системи із використанням тестових записів.

Крім того, у роботі виконано тестування програмно-апаратного комплексу, у ході якого перевірено коректність роботи RFID-зчитувача, передачі даних через Wi-Fi та збереження інформації у базі даних PostgreSQL.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

Отримані результати підтвердили працездатність розробленої системи та можливість її подальшого використання для автоматизації складських процесів.

Використання RFID-технології у поєднанні з мікроконтролером ESP32 дозволяє автоматизувати процес ідентифікації електронних компонентів та зменшити вплив людського фактору під час виконання складських операцій. Реалізований підхід забезпечує можливість оперативного контролю переміщення компонентів та підвищує ефективність ведення складського обліку.

У подальшому розроблений програмно-апаратний комплекс може бути доповнений вебінтерфейсом користувача, системою авторизації персоналу, мобільним застосунком або підтримкою декількох RFID-зчитувачів для роботи у великих складських приміщеннях.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розробленого програмно-апаратного комплексу для автоматизованого контролю переміщення електронних компонентів, ведення складського обліку та зменшення кількості помилок під час виконання логістичних операцій.

Таким чином, поставлені у кваліфікаційній роботі завдання було виконано, а розроблений програмно-апаратний комплекс може бути використаний як основа для подальшого розвитку систем автоматизації складських процесів.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Штельмашук М. Цифровізація та автоматизація логістичних процесів: сучасний стан та перспективи. *Економіка та суспільство*, (68). 2024. URL: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-193>
2. Балабаненко А. С. Автоматизована система управління логістикою та запасами виробничого підприємства на основі прогнозу попиту : кваліфікаційна робота на здобуття ступеня вищої освіти «магістр» / А. С. Балабаненко ; наук. керівник канд. техн. наук, доц. О. В. Поливода. – Херсон : ХНТУ, 2024. – 87 с.].
3. Kudyenko O. V. Avtomatyzatsiia lohistychnykh protsesiv yak suchasnyi trend [Automation of logistics processes as a modern trend]. 2022. URL: <https://ir.kneu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/329dfadd-c44f-4b1b-83ef-24ef20344fc9/content> (дата звернення: 05.05.2026)
4. Резнік, Н., Іванець, І. Використання RFID-технології в області логістики та управління ланцюгами постачань. Переваги та недоліки використання технології. *Молодий вчений*, 2 (102), 76-81. 2022. <https://doi.org/10.32839/2304-5809/2022-2-102-15>
5. Implementation of RFID technology for object identification in retail: optimization of automated sorting lines. *Modern Problems of Metallurgy*. 29 (Apr. 2026), 267–283. DOI:<https://doi.org/10.34185/1991-7848.2026.01.18>.
6. Дроздовський Л. І. Безконтактні інформаційні системи на основі RFID-технології : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 171 - електроніка / наук. кер. С. І. Денисов. Суми : Сумський державний університет, 2022. 33 с.
7. Logistics Statistics 2024–21 Key Figures. URL: <https://procurementtactics.com/logistics-statistics/> (Дата звернення 18.04)
8. Олійник В. Цифровізація управління виробничими процесами на основі RFID-технології. Рекомендовано до друку Вченою радою ВНЗ

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

«Університету економіки та права «КРОК» (протокол № 4 від 21 грудня 2023 р.), 2023, 65.

9. Rodrigue Jean-Paul. Logistics Costs and Economic Development. The Geography of Transport Systems.2023. URL: <https://transportgeography.org/contents/chapter7/logistics-freightdistribution/logistics-costs-economic-development/>

10. Гриценко П Щоголева І. Впровадження технологій штучного інтелекту в управління складською логістикою. *Актуальні проблеми економіки та менеджменту в умовах сучасних*. 2025. С. 127

11. М. Vzhesnievskiy. Автоматизація внутрішньо-складських виробничих логістичних процесів для впровадження концепції industry 4.0: енергоощадливість, продуктивність, мобільність, модульність, автономність. *Системи управління, навігації та зв'язку*. Том 2 № 76 (2024):.

12. Коваль О. Умрик М. Використання штучного інтелекту для автоматизації процесу створення освітніх тестів. *Міждисциплінарні дослідження складних систем* 24. 2024. С. 78-96.

13. Мироненко Д. С. Розробка автоматизованої системи складського обліку : кваліф. робота магістра зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / Д.С. Мироненко. – Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2023. – 67 с.

14. Юхимович С. В. Полоневич О. В. Сучасний технологічний прогрес і його вплив на апаратні системи побутового та промислового призначення. Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу. Всеукраїнська науково-технічна конференція «Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу». Збірник тез. – К.: ДУІКТ, 2025

15. Кривенко Д. О. Інтелектуальне керування складськими операціями : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

першому (бакалаврському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Д. О. Кривенко ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2024. – 93 с.

16. Самсонова С. Ю. Розроблення автоматизованої системи управління виробничим підприємством з вбудованою системою складської логістики : пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи здобувача вищої освіти на другому (магістерському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / С. Ю. Самсонова ; М-во освіти і науки України, Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. – Харків, 2022. – 107 с.

17. Розломий І. Науменко С. & Ковтюх В. Модель захищеного зберігання даних у розподілених базах даних на основі атрибутного шифрування для критичних інформаційно-комунікаційних систем. Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах, (1). 2026. С. 215–220. URL: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2026-85-27>

18. Петрина Д., Корнута В. Корнута О. Використання інструментів нейромереж для пришвидшення розробки веб-інтерфейсів. Інформаційні технології та комп'ютерна інженерія, 2024, 60.2. С. 42-50.

19. Квітень Д. О. Веб-інтерфейс для управління ресурсами Інтернету речей в корпоративних мережах. 2024. PhD Thesis. Тернопіль, ЗУНУ

20. Комар І. Кваліфікаційна робота бакалавра на тему: «Розробка програмного забезпечення системи дистанційного навчання: веб-інтерфейс». Полтава, 2023 р.

21. Крижановський С. М. Розробка та впровадження веб-інтерфейсу для керування та моніторингу роботизованих систем на базі навчальної платформи `snar4arduino`. Рекомендовано до друку Вченою радою комунального закладу вищої освіти «Дніпровська академія неперервної освіти» Дніпропетровської обласної ради»(протокол № 7 від 8 травня 2025 р.).

22. Панасенко С.М. Методи та засоби виявлення дефектних електронних компонентів комп'ютерною системою тестування : кваліфікаційна робота на

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

здобуття ступеня магістр: спец. 123 — комп'ютерна інженерія / наук.кер. Н.С. Луцик. — Тернопіль: ТНТУ, 2025. — 77 с.

23. Дудник В. М. Метод та програмно-технічні засоби аналізу трафіку комп'ютерних мереж на основі ентропійних характеристик та багатовимірної математичної статистики : кваліфікаційна робота магістра : 123 Комп'ютерна інженерія / Хмельницький національний університет. Хмельницький, 2026.

24. Zafari F., Gkelias A., Leung K. M. K. A Survey of Indoor Localization Systems and Technologies. IEEE Communications Surveys & Tutorials. 2019. Vol. 21, № 3. P. 2568–2599. DOI: <https://doi.org/10.1109/COMST.2019.2911558>

25. Espressif Systems. ESP32 Series Datasheet. Version 5.0. 2025. URL: https://www.espressif.com/sites/default/files/documentation/esp32_datasheet_en.pdf (дата звернення: 30.05.2026).

26. PostgreSQL Global Development Group. PostgreSQL Documentation. 2026. URL: <https://www.postgresql.org/docs/> (дата звернення: 30.05.2026).

27. Banks A., Gupta R. MQTT Version 3.1.1 Plus Errata 01. OASIS Standard. 2015. URL: <https://docs.oasis-open.org/mqtt/mqtt/v3.1.1/> (дата звернення: 30.05.2026).

28. Finkenzeller K. RFID Handbook: Fundamentals and Applications in Contactless Smart Cards, Radio Frequency Identification and Near-Field Communication. 3rd ed. Chichester: Wiley, 2010. 480 p.

29. MDN Web Docs. Web API Reference. 2026. URL: <https://developer.mozilla.org/> (дата звернення: 30.05.2026).

30. White G. R. T., Gardiner G., Prabhakar G., Abd Razak A. A Comparison of Barcoding and RFID Technologies in Practice. Journal of Information, Information Technology, and Organizations. 2007. Vol. 2. P. 119–132.

31. Monk S. Programming Arduino: Getting Started with Sketches. 2nd ed. New York McGraw-Hill Education, 2016. 177 p.

32. Boxall J. Arduino Workshop: A Hands-On Introduction with 65 Projects. San Francisco : No Starch Press, 2013. 392 p.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

33. Arduino Documentation. Arduino Libraries. 2026. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/> (дата звернення: 30.05.2026).
34. Höller J., Tsiatsis V., Mulligan C., Karnouskos S., Avesand S., Boyle D. From Machine-to-Machine to the Internet of Things: Introduction to a New Age of Intelligence. Oxford : Academic Press, 2014. 336 p.
35. Bray T. The JavaScript Object Notation (JSON) Data Interchange Format. RFC 8259. Internet Engineering Task Force (IETF). 2017. URL: <https://datatracker.ietf.org/doc/html/rfc8259> (дата звернення: 30.05.2026).
36. Coronel C., Morris S. Database Systems: Design, Implementation, & Management. 13th ed. Boston : Cengage Learning, 2019. 832 p.
37. Stallings W., Brown L. Computer Security: Principles and Practice. 4th ed. Boston: Pearson, 2018. 848 p.
38. Вжеснєвський М. Автоматизація внутрішньо-складських виробничих логістичних процесів для впровадження концепції Industry 4.0: енергоощадливість, продуктивність, мобільність, модульність, автономність. Системи управління, навігації та зв'язку. 2024. Т. 2. № 76.
39. Дроздовський Л. І. Безконтактні інформаційні системи на основі RFID-технології : робота на здобуття кваліфікаційного ступеня магістра : спец. 171 – електроніка / наук. кер. С. І. Денисов. Суми : Сумський державний університет, 2022. 33 с.
40. Мироненко Д. С. Розробка автоматизованої системи складського обліку : кваліфікаційна робота магістра зі спеціальності 122 «Комп'ютерні науки» / Д. С. Мироненко. Полтава : Національний університет імені Юрія Кондратюка, 2023. 67 с.
41. Espressif Systems. ESP-IDF Programming Guide. 2026. URL: <https://docs.espressif.com/projects/esp-idf/en/latest/esp32/> (дата звернення: 30.05.2026).
42. Юхимович С. В., Полоневич О. В. Сучасний технологічний прогрес і його вплив на апаратні системи побутового та промислового призначення.

					КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ	Арк. 60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Технологічні горизонти: дослідження та застосування інформаційних технологій для технологічного прогресу України і світу : збірник тез. Київ : ДУІКТ, 2025.

43. Кривенко Д. О. Інтелектуальне керування складськими операціями : пояснювальна записка до атестаційної роботи здобувача вищої освіти на першому (бакалаврському) рівні, спеціальність 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології / Д. О. Кривенко; Харків. нац. ун-т радіоелектроніки. Харків, 2024. 93 с.

44. Arduino Documentation. SPI Library. 2026. URL: <https://docs.arduino.cc/libraries/spi/> (дата звернення: 30.05.2026).

45. Arduino Documentation. Serial Monitor. 2026. URL: <https://docs.arduino.cc/software/ide-v2/tutorials/ide-v2-serial-monitor> (дата звернення: 30.05.2026).

КВРКІ 240402.22.04.38 ПЗ

Арк.

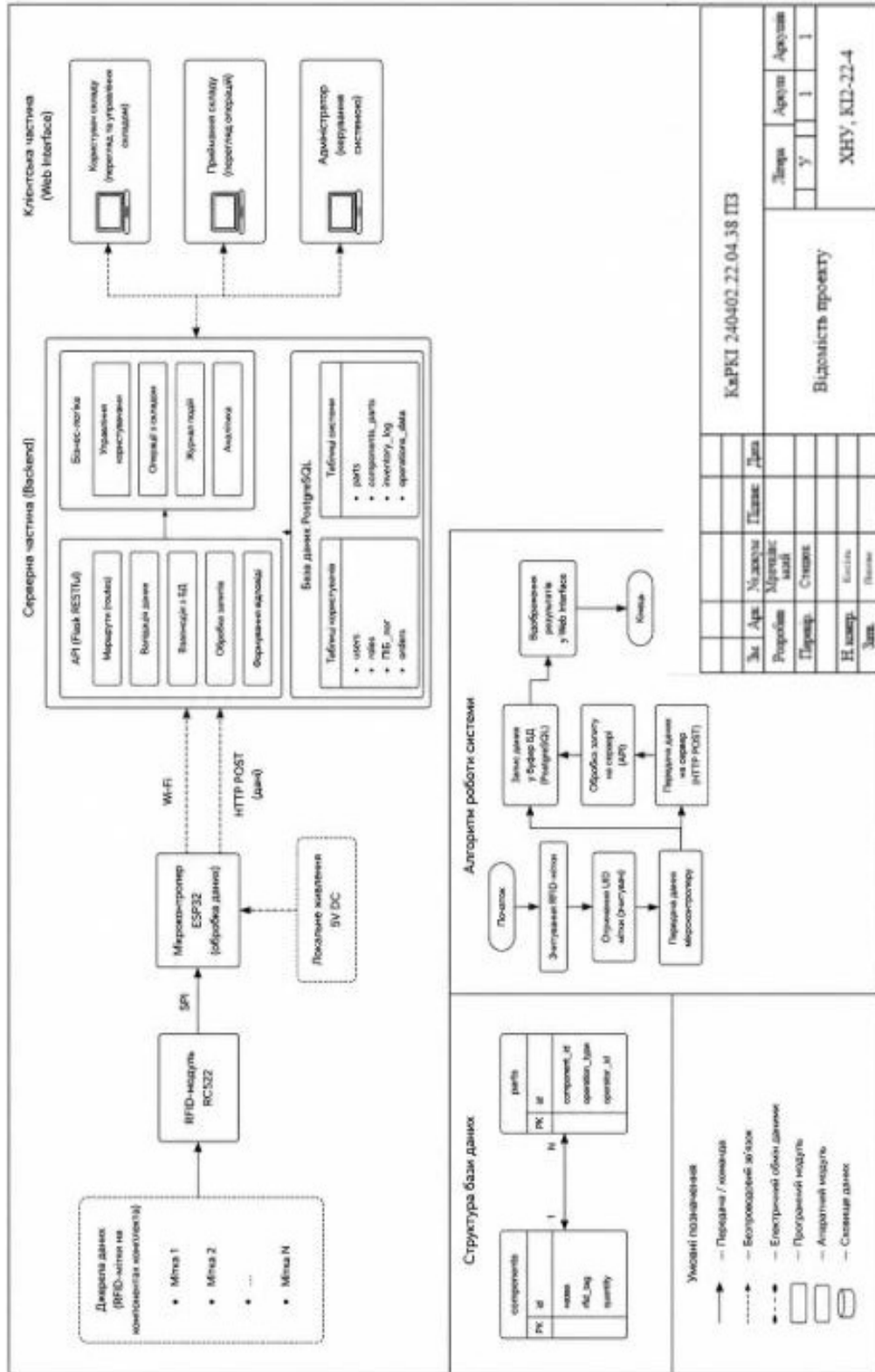
61

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ДОДАТОК А

(обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ комплексу»

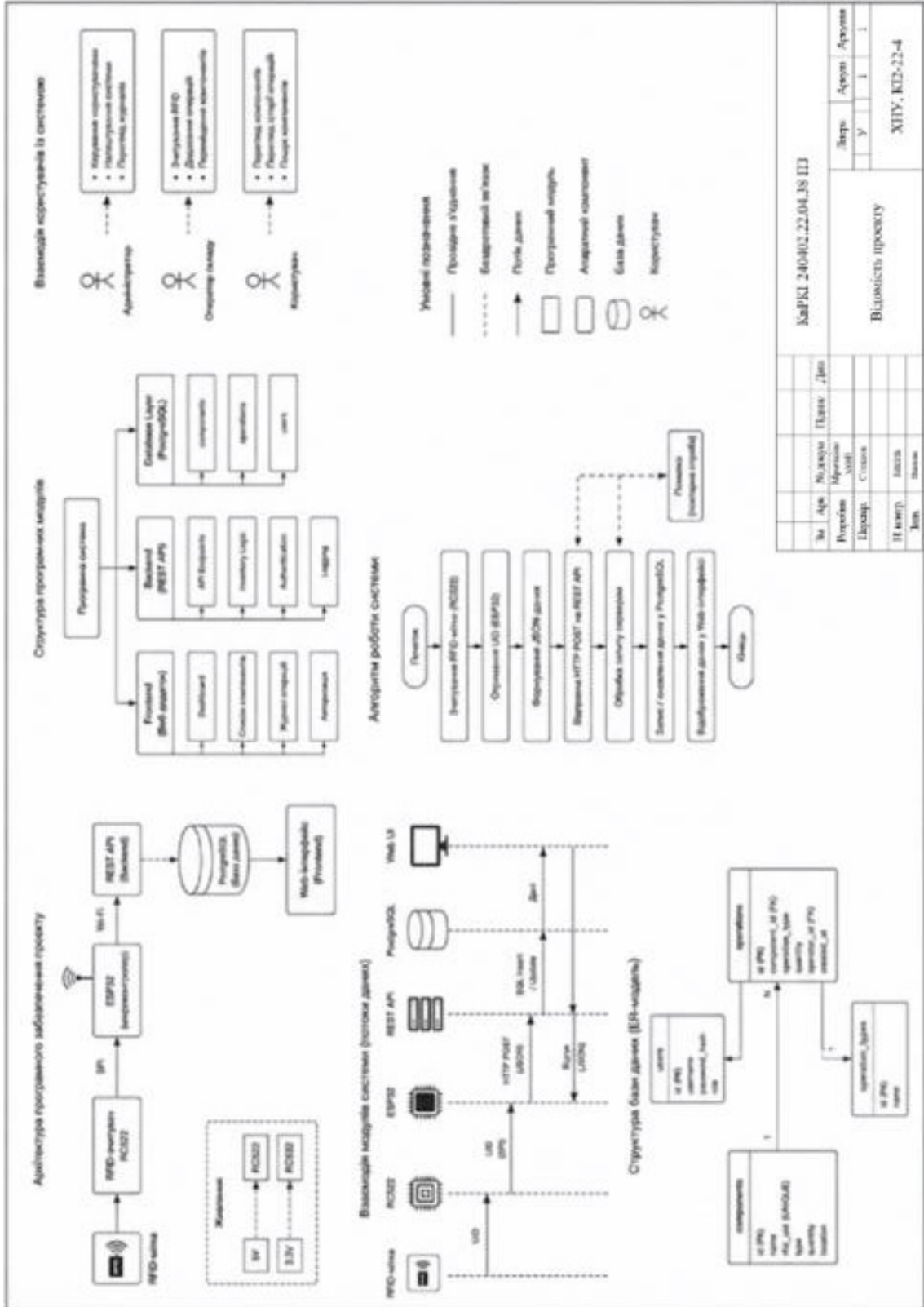


Картка 240402.22.04.38 ПЗ			
Відомість проекту			
Літера	Аркус	Аркус	Аркус
У	1	1	1
ХНУ, КД-22-4			

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Копія креслення «Архітектура ПЗ для кіберфізичної системи»

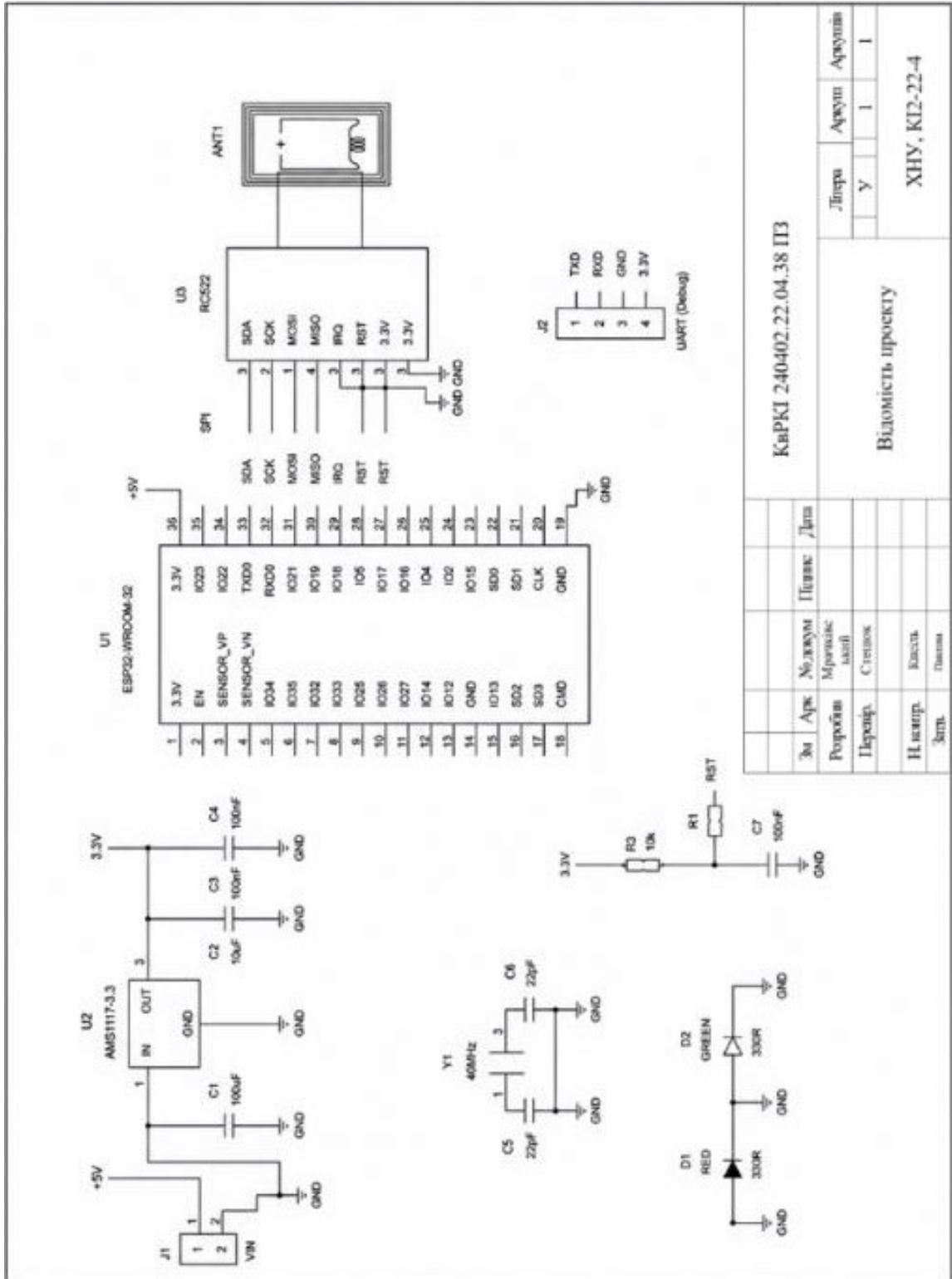


Код ПК: 240402.22.04.38 ПЗ		Лист:	1	1
Відомість проекту		Архив:	1	1
ХІТУ, КІЗ-22-4				

ДОДАТОК В

(обов'язковий)

Копія креслення «Апаратне забезпечення проекту»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

Заявляю, що я ознайомився (-лась) з Повним звітом подібності, який був згенерований Системою виявлення і запобігання плагіату щодо роботи:

Автор: Мрачківський Д.В

Співавтор:

Назва: Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера

Експерт: Стецюк В.М

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 2.85%

Коефіцієнт подібності 2: 1.05%

Мікропробіли: 5

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-28 20:36:44.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

- Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.
- Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.
- Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедурам. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-05-29

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

Anti-Plagiarism (<http://ap.km.ua>) v-15.701

Максимальне співпадіння з одним документом 0.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 8%

ID: 272735 Назва: БКР Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера Додано в БД: 2026-05-29 Автор: Мрачківський Д.В. Керівник: Стешок В.М. Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	78497	600	1185 (2%)	18 (3%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ГОЛОВІ ЕКЗАМЕНАЦІЙНОЇ КОМІСІЇ

Направляється студент Мрачківський Дмитро Вячеславович на захист кваліфікаційної роботи
(прізвище, ім'я, по батькові)

за спеціальністю 123 - Комп'ютерна інженерія

На тему: Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера

Кваліфікаційна робота, рецензія і довідка про перевірку на академічні запозичення додаються.

В.О. Декан факультету



Сергій Лисенко
(ім'я, прізвище)

ДОВІДКА УСПІШНОСТІ

Мрачківський Д.В. з 2022 по 2025 роки повністю виконав навчальний план спеціальності з таким розподілом оцінок за:

національною шкалою: відмінно 0,00 %, добре 0,00 %, задовільно 100,00.
шкалою ЄКТС: А 0,00 %, В 0,00 %, С 0,00 %, D 0,00 %, E 100,00.

Методист факультету

Методист
(підпис)

Тетяна Кашченко
(ім'я, прізвище)

ВИСНОВОК КЕРІВНИКА КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ТА ОБГРУНТУВАННЯ ОЦІНКИ

Студент Мрачківський Дмитро Вячеславович
успішно опублікував у журналі раціонального проектування. Працює в розробці функціонального розподілу окремої проектної області. Не раціонально на раз необхідно, вирішення проект має високе якісне рівняння.

Оцінка кваліфікаційної роботи

добре (с) 180 балів

Керівник кваліфікаційної роботи

Методист
(підпис)

Сергій В. М.
(ім'я, прізвище)

" 01 " серпень 2026 р.

ВИСНОВОК КАФЕДРИ ПРО КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Кваліфікаційну роботу розглянуто. Студент Мрачківський Д.В. допускається до її захисту на екзаменаційній комісії.

Завідувач кафедри

КМ С
(назва)

О. Павлова
(підпис, ім'я, прізвище)

О. Павлова
(ім'я, прізвище)

" 01 " 08 2026 р.

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Дмитро МРАЧКІВСЬКИЙ

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 4 курсу, групи КІ2-22-4

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті, згідно з яким виявлення академічного плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту і застосування заходів академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання спеціалізованих програмних засобів (СПЗ) StrikePlagiarism та Anti-Plagiarism для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на наявність академічного плагіату оповіщений (а). Надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних СПЗ і використання роботи для виявлення академічного плагіату в інших роботах, які перевіряються СПЗ.

Також надаю свою згоду на обробку й збереження університетом моєї роботи в Інституційному репозитарії Хмельницького національного університету.

Робота надається для перевірки в електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

1 травня 2026 року

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Мрачківський Дмитро Вячеславович

Тема: Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 64

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою дипломної роботи є розробка програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів складу електронних компонентів на основі мікроконтролера.

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню.

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі кваліфікаційної роботи проведено аналіз сучасних підходів до автоматизації логістичних процесів на складах електронних компонентів. Досліджено особливості використання RFID-технологій у системах автоматизованого обліку та контролю матеріальних ресурсів, розглянуто принципи функціонування RFID-міток та RFID-зчитувачів, а також сучасні програмно-апаратні засоби для побудови систем автоматизації складського обліку. Виконано аналіз існуючих рішень у сфері логістики та обґрунтовано доцільність використання мікроконтролера ESP32, RFID-зчитувача RC522 і системи керування базами даних PostgreSQL для реалізації програмно-апаратного комплексу. За результатами аналізу сформульовано постановку задачі та визначено основні вимоги до розроблюваної системи.

У другому розділі кваліфікаційної роботи виконано проектування програмно-апаратного комплексу автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів. Розроблено архітектуру системи, визначено структуру взаємодії між RFID-мітками, RFID-зчитувачем RC522, мікроконтролером ESP32, серверною частиною та базою даних PostgreSQL. Розроблено структурну схему

комплексу, алгоритм його роботи та структуру інформаційної взаємодії між окремими компонентами системи. Також спроектовано структуру бази даних для зберігання інформації про електронні компоненти, складські операції та користувачів системи.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи виконано розроблення програмної частини комплексу. Реалізовано алгоритм зчитування RFID-міток за допомогою зчитувача RC522 та мікроконтролера ESP32, налаштовано обмін даними через інтерфейс SPI, реалізовано підключення до бездротової мережі Wi-Fi та передачу інформації до серверної частини у форматі JSON із використанням HTTP-запитів. Розроблено структуру бази даних PostgreSQL для зберігання інформації про компоненти та виконані складські операції. Отримані результати підтверджують можливість використання розробленого комплексу для автоматизації обліку електронних компонентів та контролю логістичних процесів на складі.

У роботі використано сучасні технології автоматичної ідентифікації об'єктів, мікроконтролерні системи, бездротові засоби передачі даних та сучасні засоби організації баз даних, що свідчить про використання актуальних досягнень науки і техніки під час виконання кваліфікаційної роботи.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: У роботі недостатньо уваги приділено питанням практичного впровадження розробленого комплексу на реальному виробничому підприємстві та оцінюванню економічної ефективності його використання.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи: Пояснювальна записка оформлена коректно, згідно діючих стандартів оформлення документації.

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на належному науково-технічному рівні.

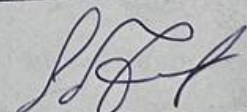
8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

Рецензент (прізвище, ім'я, по батькові, посада, місце роботи) _____

К. В. Н., доцент кафедри _____ Ю. П.

доцент кафедри _____



(підпис)

“9” 06 2026 р.

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Назва кваліфікаційної роботи Програмно-апаратний комплекс автоматизованого контролю логістичних процесів для складу електронних компонентів на основі мікроконтролера

Автор Дмитро МРАЧКІВСЬКИЙ

Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Науковий керівник: Василь СТЕЦЮК

На основі аналізу кваліфікаційної роботи на дотримання вимог академічної доброчесності (у т.ч. відсутності ознак академічного плагіату) з урахуванням результатів перевірки роботи спеціалізованим програмним засобом(ами) комісія зробила такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Ознаки академічного плагіату	
1.1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є академічним плагіатом (далі – зазначаються підстави віднесення запозичень до правомірних, якщо потрібно). Робота приймається до захисту.	відповідає
1.2	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи (далі – зазначаються детальні та аргументовані підстави віднесення запозичень до правомірних). Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована.	
1.3	Виявлені запозичення не є академічним плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота може бути допущена до захисту після того як буде відкоригована та доопрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
1.4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття текстових запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	
2	Інші види порушень академічної доброчесності	

Підтвердження:

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
- 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
- 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
- 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел

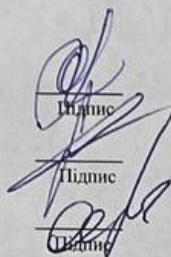
Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 2,85%; та системою Anti-Plagiarism складає 0%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис
Підпис
Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Василь СТЕЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ