

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій
Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчального-наукового інституту)
Факультет комп'ютерних наук та інженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки
(повна назва кафедри)

Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: «Розробка спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок (на прикладі логістичної компанії ТОВ “Нова пошта”）」

Виконав студент 4 курсу, групи KI
спеціальності

123 «Комп'ютерна інженерія»

(код і назва спеціальності)

Студент Танасієнко Д. Ю.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Керівник Дубовик Т.М.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Рецензент Хорошилов С.В.

(прізвище, ім'я, по-батькові)

(підпис)

Український державний університет науки і технологій
(повне найменування вищого навчального закладу)
Навчально-науковий інститут
«Український державний хіміко-технологічний університет»
(назва навчально-наукового інституту)

Факультет, відділення комп'ютерних наук та інженерії

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій та робототехніки

Освітній рівень бакалавр

Спеціальність 123 - Комп'ютерна інженерія
(код і назва)

Спеціалізація _____
(шифр і назва)

Освітня програма Комп'ютерна інженерія
(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. зав. кафедри канд. техн. наук, доц. ЛЕВЧУК І.Л.
 « ____ » _____ 20 26 року

ЗАВДАННЯ НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТУ

ТАНАСІЄНКУ Дмитру Юрійовичу
(прізвище, ім'я, по-батькові)

1. Тема проекту (роботи): «Розробка спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок (на прикладі логістичної компанії ТОВ «Нова пошта»)»

Керівник проекту (роботи) Дубовик Т.М., ст. викладач
(прізвище, ім'я, по-батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від _____.2026 року № ____

2. Строк подання студентом роботи 07.06.2025

3. Вихідні дані до роботи: програма підрахунку (середовище Visual Studio, мова програмування C++)

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Загальний розділ. Основний розділ.

Розрахунковий розділ. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.
Організаційно-економічна частина.

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

Презентація до дипломної роботи

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	Дубовик Тетяна Миколаївна, ст. викл		
Організаційно-економічна частина	Дубовик Тетяна Миколаївна, ст. викл		

7. Дата видачі завдання «5» .02. 2026 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Бібліотечний огляд за темою	лютий	виконано
2	Робота над загальним розділом	лютий	виконано
3	Робота над основним розділом	лютий	виконано
4	Робота над розрахунковим розділом	Березень-квітень	виконано
5	Розділ «Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях»	травень	виконано
6	Організаційно-економічна частина	травень	виконано
7	Презентація	травень	виконано
8	Передзахист	25.05.2026	виконано
9	Подання дипломної роботи на підпис завідувачу кафедри	07.06.2026	виконано
10	Захист дипломної роботи	17.06.2025	виконано

Студент

Керівник роботи

(підпис)

(підпис)

Д. Ю. Танасієнко

(прізвище, ім'я, по-батькові)

Т. М. Дубовик

(прізвище, ім'я, по-батькові)

РЕФЕРАТ

Дипломна робота містить: 70 сторінок, 13 рисунків, 24 джерел та 7 таблиць.

Об'єктом дослідження є спеціалізована комп'ютерна система автоматизованого сортування посилок

Мета роботи розробити та дослідити мікроконтролерну систему автоматизованого сортування посилок з використанням датчиків і виконавчих механізмів.

В загальному розділі дипломної роботи надана інформація про існуючі системи автоматичного сортування, створення перших програм визначення об'єктів, перші та сучасні засновники та їх роботи, їх принцип дії.

В основному розділі обирається апаратна платформу (наприклад, ESP32 STM32 / Arduino), робиться порівняльна характеристика, описується вимоги до системи, основні методи оцінки ефективності та вибір апаратної частини системи.

В розрахунковому розділі описано комплектацію системи, зображено схему з'єднання елементів системи, обрано середовище для розробки програмної частини роботи, реалізовано алгоритм розпізнавання та сортування (штрихкод / RFID / вага) та описано тестування програми.

В розділі охорони праці проведено аналіз шкідливих та небезпечних чинників під час розробки системи.

В економічному розділі були прораховані всі економічні показники розроблюваної системи.

Актуальність: зростання обсягів логістичних операцій потребує автоматизації процесів сортування посилок для підвищення швидкості обробки, зменшення людського фактору та оптимізації ресурсів.

Ключові слова: РОЗПІЗНАВАННЯ, СОРТУВАННЯ, ШТРИХКОД, ESP32, СКАНЕР.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	9
1.1 Структура сучасної пошти	9
1.2 Системи роботи сортування та доставки посилок	11
1.3 Система автоматизації процесу обробки та транспортування посилок	12
1.4 Структура обладнання	16
2 ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ	18
2.1 Загальні відомості про плати мікроконтролерів Arduino	18
2.2 Основні характеристики Arduino Uno	19
2.3 Основні характеристики плати Arduino ESP32	21
2.4 Порівняння ESP 32 з Arduino Uno	22
3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ	26
3.1 Принцип роботи сервоприводу в системі автоматизованого сортування посилок	26
3.2 Принцип роботи системи сортування та маркування посилок за регіонами, вагою та габаритами	28
3.3 Розробка спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок	31
3.4 Математична модель	39
3.5 Логіка обробки помилок	47
3.6 Принцип роботи сервоприводу в системі автоматизованого сортування посилок	50
3.7 Розрахунок пропускної здатності автоматизованої лінії сортування	53
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	55

4.1 Оцінка умов виконання дипломної роботи	55
4.2 Міри щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці	56
4.3 Характеристика приміщення щодо вибухо - та пожежної небезпеки	62
4.4 Протипожежні заходи	62
4.5 Здійснення оцінки стану приміщення в екстрених випадках	64
 5. РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА РЕАЛІЗАЦІЮ	 66
5.1 Розрахунок витрат	66
 ВИСНОВКИ	 69
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ	70

ВСТУП

Спеціалізовані комп'ютерні системи — це комп'ютерні системи, призначені для виконання конкретних, чітко визначених задач у певній галузі. На відміну від універсальних комп'ютерів (ПК), вони оптимізовані під одну функцію або вузький набір функцій.

Сучасний розвиток інформаційних технологій призвів до широкого застосування комп'ютерних систем у різних сферах діяльності людини. Окрім універсальних комп'ютерів, що призначені для виконання широкого спектра задач, існують спеціалізовані комп'ютерні системи, які створюються для виконання конкретних функцій або вузького кола задач.

Такі системи широко застосовуються у промисловості, транспорті, медицині, енергетиці, телекомунікаціях та інших галузях. Вони забезпечують автоматизацію процесів, контроль параметрів та керування складними технічними системами.

Спеціалізована комп'ютерна система — це комп'ютерна система, апаратне та програмне забезпечення якої оптимізовані для виконання певної задачі або групи задач.

На відміну від універсальних комп'ютерів, спеціалізовані системи мають обмежений набір функцій; спеціально розроблене програмне забезпечення; оптимізовану архітектуру; підвищену надійність.

До основних особливостей спеціалізованих комп'ютерних систем відносяться задачі, що виконують обмежене коло задач; мають спеціально розроблене програмне забезпечення; часто працюють у реальному часі; можуть бути вбудованими в інші пристрої; характеризуються високою надійністю та стабільністю.

Спеціалізована система зазвичай складається з апаратної частини (мікропроцесор або мікроконтролер, пам'ять, датчики, виконавчі механізми)

Програмного забезпечення (вбудовані програми (firmware), спеціалізовані алгоритми керування

Інтерфейсів (комунікаційні порти, мережеві інтерфейси, системи вводу/виводу)

Промислові комп'ютерні системи використовуються в автоматизації виробництва такі як PLC-контролери, системи керування роботами, системи автоматизації технологічних процесів

Інформаційно-вимірювальні системи застосовуються для збору та обробки вимірювальних даних - метеостанції, системи моніторингу, лабораторні вимірювальні комплекси

Спеціалізовані комп'ютерні системи широко використовуються у:

- медицині
- транспорті
- військовій техніці
- промисловості
- телекомунікаціях
- енергетиці
- робототехніці

Спеціалізовані комп'ютерні системи — це системи, створені для виконання конкретних функцій у певній галузі, часто працюють автоматично та є частиною складних технічних пристроїв [1,2].

У рамках даної дипломної роботи буде розроблено спеціалізовану комп'ютерну програму для автоматизованого сортування посилок (на прикладі логістичної компанії ТОВ “Нова пошта”

1 ЗАГАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

1.1 Структура сучасної пошти

Структура сучасної пошти (поштової служби або логістичної системи доставки) складається з кількох основних рівнів і підрозділів, які забезпечують приймання, обробку, транспортування та доставку поштових відправлень.

1. Центральне управління

- ☐ стратегічне планування роботи поштової служби
- ☐ управління фінансами
- ☐ розробка тарифів і послуг
- ☐ контроль якості та стандартизація процесів

2. Регіональні дирекції

- ☐ координують роботу поштових підрозділів у певному регіоні
- ☐ організовують логістику та маршрути перевезень
- ☐ контролюють виконання планів доставки

3. Сортивальні центри

- ☐ приймання великих потоків кореспонденції і посилок
- ☐ автоматичне та ручне сортування за напрямками
- ☐ маркування та сканування відправлень
- ☐ підготовка до транспортування

4. Транспортно-логістичний підрозділ

- ☐ автомобільні, залізничні та авіаційні перевезення
- ☐ планування маршрутів
- ☐ контроль термінів доставки

5. Поштові відділення

- ☐ приймання листів, посилок, бандеролей
- ☐ видача відправлень клієнтам

- надання додаткових послуг (грошові перекази, оплата рахунків, продаж марок тощо)

6. Кур'єрська служба

- доставка відправлень «до дверей»
- експрес-доставка
- робота з корпоративними клієнтами

7. Інформаційні системи

- електронне відстеження посилок (tracking)
- автоматизація сортування
- бази даних клієнтів
- мобільні додатки для користувачів

8. Служби підтримки

- технічне обслуговування обладнання
- служба безпеки
- служба підтримки клієнтів

Сучасна поштова система все більше автоматизується: використовуються роботизовані сортувальні лінії, штрих-коди, QR-коди, RFID-мітки та цифрові платформи керування логістикою [1].

4.4 Системи роботи сортування та доставки посилок

Відправник - Поштове відділення: передає посылку

Поштове відділення - Інформаційна система: реєстрація

Інформаційна система - Сортувальний центр: дані про посылку

Сортувальний центр - Логістична система: визначення маршруту

Логістична система - Транспортна служба: відправка

Транспортна служба - Регіональний центр: доставка

Регіональний центр - Місцеве відділення: передача

Місцеве відділення - Отримувач: видача посылки

Отримувач - Інформаційна система: підтвердження отримання

Основні зв'язки між класами

Користувач → Посилка — створює або отримує відправлення

Посилка → Сортивальний центр — проходить сортування

Сортивальний центр → Транспортна служба — передає для перевезення

Транспортна служба → Поштове відділення — доставляє у пункт видачі
(алгоритм роботи представлено на рис 1.1) [1].



Рисунок 1.1 - Алгоритм роботи поштового відділення

1.3 Система автоматизації процесу обробки та транспортування посилок/листів

Конвеєр для поштових посилок — це спеціалізоване обладнання, призначене для автоматизації процесу обробки та транспортування поштових листів. Завдяки ефективному дизайну конвеєр забезпечує швидке та надійне переміщення посилок, що суттєво підвищує продуктивність поштових послуг. Він оснащений системами безпеки та контролю, які гарантують безпеку товарів під час транспортування. Ідеальне рішення для великих складів, логістичних центрів і поштових служб, які прагнуть оптимізувати свої процеси.

У багатьох поштових відділеннях сортування здійснюється щодня. Це стосується різних посилок або вантажів, які потрібно сортувати у різні контейнери перед відправкою та подальшим транспортуванням. Виконувати ці завдання вручну складно. Це займає багато часу, завжди провокує багато помилок, бо людський фактор відіграє велику роль. Це вимагає залучення великої кількості працівників. Сучасні системи, спеціально розроблені для автоматизації різних робочих процесів, можуть суттєво спростити їх і зробити їх у багато разів ефективнішими. Одним із таких продуктів є автоматична сортувальна лінія, яка виконує кілька функцій [1].

Сортувальний конвеєр або сортувальна лінія — це система, яка незалежно сортує товари до відповідних конвеєрів відповідно до визначених алгоритмів. Достатньо, щоб працівники випадково розташовували посилки на транспортній стрічці, після чого система зважує їх відповідно до заданих параметрів, формує відстань між ними і відправляє до потрібного контейнера. У деяких випадках система навіть може самостійно сканувати штрих-код. Це також може робити оператор, який знаходиться позаду першого модуля системи, тобто за спеціальним робочим столом.

Функції, що виконує це обладнання можна автоматично прирівняти до її переваг:

1. Безпрецедентна швидкість. Система може працювати цілодобово і обробляти від 3000 до 5000 одиниць продукції протягом години.

2. Друга перевага не менш значна — повна відсутність впливу людського фактору. Працівники просто ставлять товар на карту, і тоді все відбувається само собою.

3. Висока точність. Відсоток похибки становить 0,1%, що є незначним. Це ідеальний продукт для бізнесу, для якого точність є критично важливим показником.

4. Гнучкість. Продукт налаштовується, тобто розробник, проаналізувавши потреби клієнта, може розробити систему, яка ідеально відповідатиме специфіці його бізнесу. Це стосується сортування різних вантажів: великих, важких або, навпаки, крихких м'яких чи малих.

5. Продукт окупається протягом першого року роботи, що свідчить про його прибуткову інвестицію. Однак слід розуміти, що такі терміни дійсні лише при замовленні вітчизняного товару. Жоден іноземний розробник не дасть гарантії такої швидкої відплати, бо імпортовані системи в десять разів дорожчі за вітчизняні.

Крім того, після впровадження системи зникло потреби в такій кількості працівників, які раніше працювали над процесами сортування. Їх можна призначити виконувати інші завдання.

1.4 Структура обладнання

Автоматичні сортувальні лінії — це не просто транспортний пояс, який використовують працівники більшості виробництва. Це дещо покращений і візуально відмінний продукт. Вона складається з чотирьох окремих елементів, які тісно пов'язані між собою.

1. Стіл оператора - зберігається все необхідне для маркування, перемаркування або ідентифікації товарів (рис. 1.1)

2. Масштаби сенсорів: після маркування посилки переходять на перший етап пояса, який є сенсорною шкалою. Саме тут формується оптимальна відстань між навантаженнями (рис. 1.2, 1.3)

3. Металеві ламелі, штовхачі: цей елемент рухається відповідно до визначених алгоритмів і направляє вантаж до потрібного контейнера

4. Контейнери: останній модуль — це невеликий шматок стрічки, на кінці якого розташовані контейнери, куди падає вантаж (рис 1.4).

На прохання клієнтів розробники можуть додати опцію «заповнення контейнера». Тобто, коли він заповнений, про нього повідомляє спеціальний сигнал.

Під час розробки сортувальних ліній клієнт може самостійно вносити коригування та побажання, наприклад, щодо розмірів обладнання, наявності чи відсутності унікальних опцій тощо [1].

Варто додати, що автоматичні лінії сортування є незамінними для логістичних операторів, дистриб'юторів та інших компаній, які щодня сортують і відправляють багато вантажів

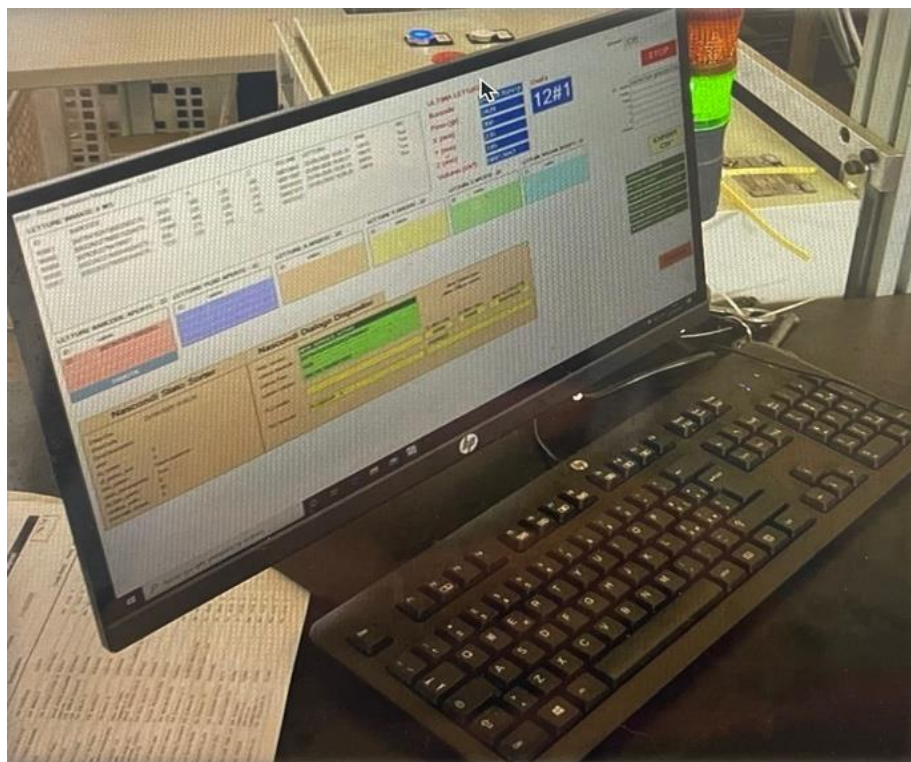


Рисунок 1.1 - Стіл оператора

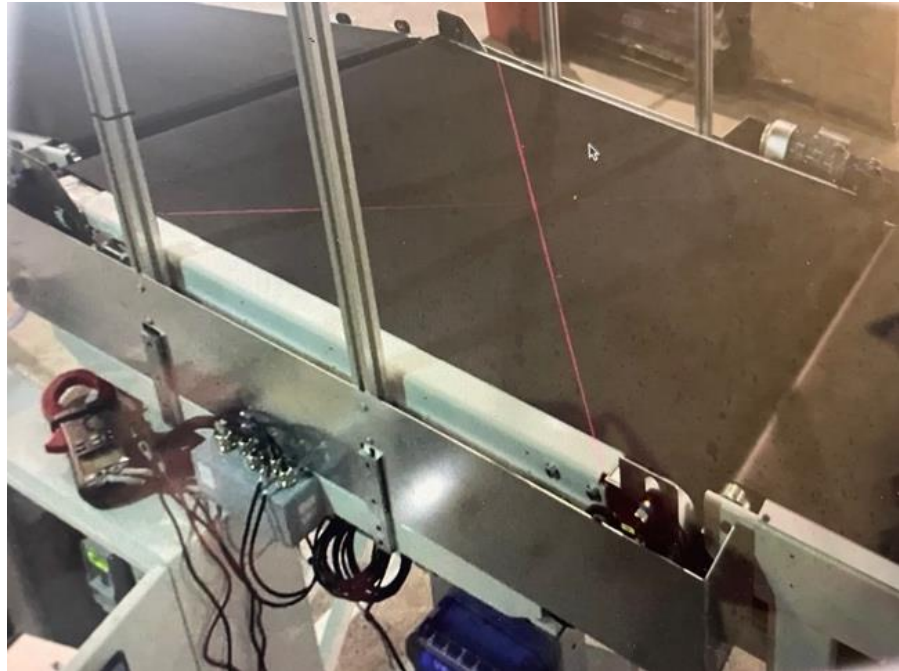


Рисунок 1.2 - Автоматична лінія сортування посилок у вигляді поточної транспортної смужки

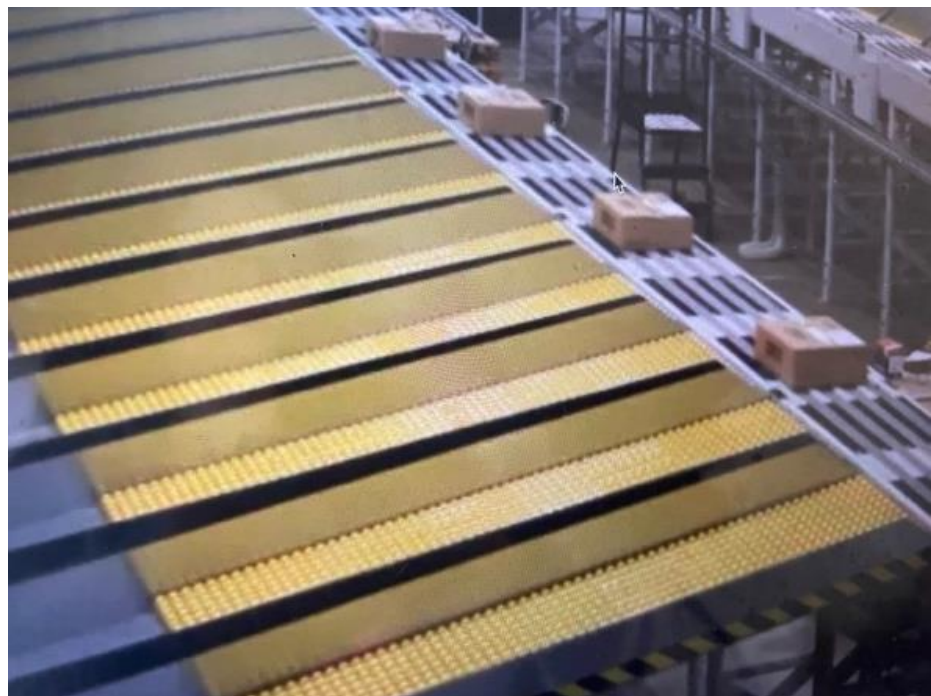


Рисунок 1.3 - Автоматична лінія сортування посилок у вигляді конвеєра



Рисунок 1.4 - Вертикальний сканер посилок

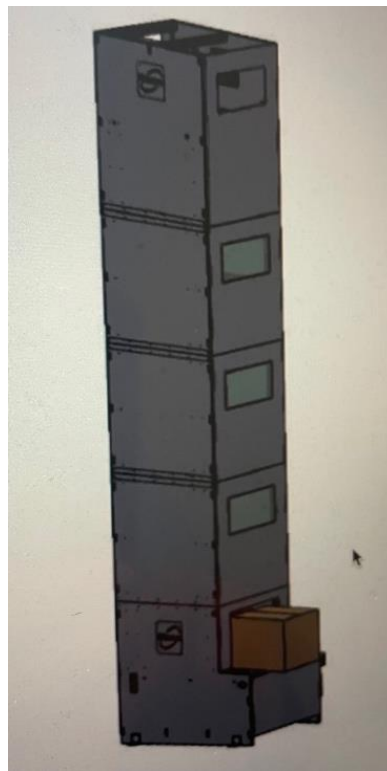


Рисунок 1.5 - Лінія сортування у вигляді вертикального контейнера

2 ОСНОВНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Загальні відомості про плати мікроконтролерів Arduino

Arduino — відкрита платформа електронного прототипування, яка сприяє розробці апаратних проєктів (мікроконтролерів) та програмного забезпечення (Arduino IDE). Плати мікроконтролерів Arduino базуються на чипах серії ATmega, що підходить для користувачів — від початківців до професійних розробників. Arduino виникла у 2005 році з метою надання пристроїв для фізичних обчислень студентам Інституту дизайну взаємодії в Івреа (Ivrea) в Італії. Згодом вона еволюціонувала у платформу, яка є доступною та простою у використанні [2].

Функції Arduino

Простота використання та вивчення: Arduino IDE надає просте середовище програмування на основі C/C++, придатне для початківців. Висока модульність і розширюваність: дозволяє користувачам легко змінювати та розширювати функціональність.

Багата підтримка спільноти-існує багато навчальних матеріалів, проєктів і форумів по всьому світу, які надають платформу для користувачів для навчання та обміну досвідом. Плати розробки серії Arduino базуються на кількох різних чипах.

Мікроконтролери Arduino включають Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Nano та інші. Серед них найпопулярнішою є Arduino Uno (рисунок 2.1), тож зробимо зосередження на порівнянні параметрів Arduino Uno и ESP1.

2.2 Основні характеристики Arduino Uno

Основні характеристики мікроконтролера Arduino Uno

- Мікроконтролер: ATmega328P

- Робоча напруга: 5 В
- Вхідна напруга (рекомендована): 7–12 В
- Цифрові входи/виходи: 14 (6 з них підтримують PWM)
- Аналогові входи: 6
- Flash-пам'ять: 32 КБ
- SRAM: 2 КБ
- EEPROM: 1 КБ
- Тактова частота: 16 МГц
- Інтерфейси: UART, SPI, I2C [2,3].



Рисунок 2.1 - Мікроконтролер Arduino Uno

Розпіновка (pinout)

Цифрові піни (0–13)

0 (RX) – прийом даних

1 (TX) – передача даних

3,5,6,9,10,11 – PWM

10–13 – SPI

Аналогові входи (A0–A5)

- Зчитування аналогових сигналів (0–5 В)
- A4 (SDA) та A5 (SCL) — I2C

Живлення

- Через USB
- Через роз'єм DC (7–12 В)
- Через пін Vin
- 5V та 3.3V — вихідні стабілізовані напруги

Принцип роботи

1. Пишеться програму (скетч) у Arduino IDE
2. Завантажується через USB
3. Мікроконтролер виконує програму циклічно (функція loop())

Основна структура програми:

```
void setup() {  
    // виконується один раз  
}
```

```
void loop() {  
    // виконується постійно  
}
```

Можна реалізувати наступне:

- Системи сортування (вага, габарити)
- Керування сервоприводами
- Робота з датчиками температури, вологості
- Керування світлодіодами
- Системи «розумний будинок»
- IoT-проекти (через Wi-Fi модулі)

Переваги: простота у використанні, дешева, багато бібліотек, ідеально для розробок розумний будинок, тощо.

2.3 Основні характеристики плати Arduino ESP32

ESP32 — це недорогий, енергоспоживаний, сильно інтегрований, дворежимний мікроконтролер WiFi та Bluetooth, розроблений компанією Espressif Systems. Espressif Systems — ще один світовий лідер у розробці мікроконтролерів. Штаб-квартира компанії розташована в Шанхаї, Китай. Починаючи з 8266, вони просувають свої чипи, модулі та плати розробки серій Esp32 та Esp2008 по всьому світу.



Рисунок 2.2 - Плата Arduino ESP32

ESP32 функції:

1. Двоядерний процесор: оснащений двома високопродуктивними ядрами мікропроцесора Tensilica Xtensa LX6.
2. Вбудовані бездротові функції: підтримка Wi-Fi (802.11 b/g/n) та Bluetooth (BLE і класичний Bluetooth).
3. Підтримка багатопрограмних мов: підтримує програмування на C/C++/Python.
4. Режими низького енергоспоживання: підтримує різноманітні режими сну для зниження енергоспоживання, що підходить для пристроїв на батареях.

5. Порівняння параметрів Arduino Uno та ESP32. Основні характеристики ESP32 представлені в таблиці 2.1

Arduino ESP32 — це плата розробки на базі мікроконтролера сімейства ESP32 від компанії Espressif Systems з вбудованими модулями Wi-Fi та Bluetooth.

Arduino ESP32 це поєднання: функціональності класичного Arduino Uno; можливостей бездротового зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth BLE); значно більшої обчислювальної потужності [4].

Таблиця 2.1 - Основні характеристики ESP32

Параметр	Значення
Архітектура	32-бітний Xtensa LX6
Ядра	2 ядра (Dual Core)
Частота	до 240 МГц
Flash пам'ять	4–16 МБ
SRAM	~520 KB
Wi-Fi	802.11 b/g/n
Bluetooth	v4.2 + BLE
GPIO	до 34 пінів
ADC	12-біт
DAC	2 канали
PWM	до 16 каналів
UART / SPI / I2C	підтримуються
Напруга живлення	3.3V

2.4 Порівняння ESP 32 з Arduino Uno

ESP32 приблизно у 10–15 разів продуктивніший.

Основні можливості

Wi-Fi

- ☐ HTTP сервер
- ☐ IoT пристрої
- ☐ MQTT
- ☐ Веб-інтерфейси
- ☐ Робота з хмарою

Bluetooth

- ☐ Передача даних
- ☐ BLE сенсори
- ☐ Смарт-пристрої

Підтримка:

- ☐ Дисплеїв (OLED, TFT)
- ☐ Датчиків (температура, вологість, газ)
- ☐ Сервоприводів
- ☐ Крокових двигунів
- ☐ SD-карт
- ☐ Камери (ESP32-CAM)

Технічні характеристики у якості порівняння ESP 32 з Arduino Uno зведено в таблицю 2.3

Таблиця 2.3 - Порівняння ESP 32 з Arduino Uno

Arduino Uno	ESP32
8-біт	32-біт
16 МГц	240 МГц
Без Wi-Fi	Wi-Fi + Bluetooth
2 KB RAM	520 KB RAM
32 KB Flash	4+ MB Flash

Популярні плати ESP32

1. ESP32 Dev Module
2. NodeMCU-32S
3. ESP32-CAM
4. DOIT ESP32 DEVKIT V1

Піни ESP32 (коротко)

ESP32 має:

- ☐ GPIO (вхід/вихід)
- ☐ ADC (аналоговий вхід)
- ☐ DAC (аналоговий вихід)
- ☐ Touch пін
- ☐ PWM
- ☐ SPI
- ☐ I2C
- ☐ UART

Деякі піни не можна використовувати при завантаженні (BOOT pins).

Програмування ESP32

Можна програмувати через:

- ☐ Arduino IDE
- ☐ PlatformIO
- ☐ MicroPython
- ☐ ESP-IDF (офіційний SDK від Espressif)

Приклад простого коду (блмання світлодіодом)

```
void setup() {  
  pinMode(2, OUTPUT);  
}
```

```
void loop() {  
  digitalWrite(2, HIGH);  
  delay(1000);
```

```
digitalWrite(2, LOW);  
delay(1000);  
}
```

Типові сфери застосування

- IoT системи
- Розумний будинок
- Веб-сервери
- Метеостанції
- Системи моніторингу
- Робототехніка
- Промислова автоматизація
- Контроль доступу

Переваги: низька ціна; Wi-Fi + Bluetooth; висока швидкість; багато пінів
підтримка FreeRTOS

Недоліки: працює тільки з 3.3V, складніше за Arduino Uno, потрібне
правильне налаштування BOOT

Плати розробки ESP32 підходять для складних проєктів, які потребують
більшої обчислювальної потужності та підключеності, таких як додатки для
розумного дому, промислова автоматизація та IoT-пристрої.

Простота мікроконтролерів Arduino робить їх придатними для освітніх
цілей, хобі-проєктів та мистецьких інсталяцій. Хоча плати ESP32 мають
високотехнологічні функції та потужну обробку, що робить їх придатними для
складних застосувань, тому саме мікроконтролер ESP32 був обраний для
розробки спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування
посилок [2,4].

3 РОЗРАХУНКОВИЙ РОЗДІЛ

Для розробки спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок було підібрано наступну апаратну частину:

- Мікроконтролер (ESP32 / STM32)
- Датчик штрихкоду або RFID-модуль
- Датчик ваги (HX711)
- Серводвигуни / крокові двигуни
- Датчики положення
- LCD / веб-інтерфейс
- Wi-Fi передача даних

Програмна частина:

- Алгоритм прийняття рішення сортування
- Обробка сигналів датчиків
- Логування операцій
- Передача даних на сервер

Очікуваний результат - прототип апаратно-програмного комплексу, що автоматизує процес розподілу посилок за напрямками.

3.1 Принцип роботи сервоприводу в системі автоматизованого сортування посилок

1. Загальна характеристика

У розробленій мікроконтролерній системі автоматизованого сортування посилок (на прикладі ТОВ «Нова пошта») сервопривід використовується як виконавчий механізм для зміни напрямку руху посилки.

Сервопривід забезпечує:

- точне позиціонування відсікача,
- швидке перемикання каналів сортування,

- стабільність роботи при змінному навантаженні.

Конструкція сервоприводу представлено на рисунку 3.1



Рисунок 3.1 - Конструкція сервоприводу

Типовий сервопривід складається з:

1. Постійного електродвигуна
2. Редуктора
3. Датчика положення (потенціометра)
4. Плати керування

Редуктор зменшує швидкість обертання та збільшує крутний момент. Потенціометр використовується для зворотного зв'язку щодо кута повороту валу.

Принцип керування - сервопривід керується імпульсним сигналом типу PWM (Pulse Width Modulation), який формується мікроконтролером ESP32.

Основні параметри сигналу:

- Частота: 50 Гц
- Період: 20 мс

Тривалість імпульсу:

- 1.0 мс $\rightarrow$ 0°
- 1.5 мс $\rightarrow$ 90°

- $2.0 \text{ мс} \rightarrow 180^\circ$

Зміна ширини імпульсу визначає кут повороту валу.

Робота у складі системи

Після визначення напрямку сортування мікроконтролер:

- Формує відповідний PWM-сигнал.
- Сервопривід повертає механічний відсікач у задане положення.
- Після завершення переміщення посилки сервопривід повертається у

початковий стан.

Таким чином забезпечується циклічний режим роботи.

Механізм зворотного зв'язку

Внутрішня схема сервоприводу порівнює:

- бажане положення (визначене PWM-сигналом),
- фактичне положення (з потенціометра).

У разі відхилення двигун обертається до досягнення необхідного кута.

Після досягнення позиції живлення двигуна припиняється.

Електричні характеристики (типовий сервопривід)

- Напруга живлення: 4.8–6 В
- Струм холостого ходу: 100–250 мА
- Пусковий струм: до 1 А
- Кут повороту: 0–180°

У системі використано окреме джерело живлення 5 В для запобігання просадці напруги мікроконтролера.

Переваги використання сервоприводу: простота керування, точність позиціонування, компактність, достатній крутний момент, невисока вартість

Недоліки:

- обмежений кут повороту
- чутливість до просадки напруги
- механічний знос редуктора

Сервопривід є оптимальним виконавчим механізмом для реалізації системи автоматизованого сортування посилок, оскільки забезпечує точне

позиціонування відсікачів при відносно простій схемі керування та інтеграції з мікроконтролером.

3.2 Принцип роботи системи сортування та маркування посилок за регіонами, вагою та габаритами 27

1. Загальна характеристика процесу

Система автоматизованого сортування посилок призначена для:

- ☐ ідентифікації посилки;
- ☐ визначення її ваги та габаритів;
- ☐ автоматичного присвоєння категорії;
- ☐ перенаправлення до відповідного регіонального каналу;
- ☐ нанесення або перевірки маркування.

Процес виконується в режимі реального часу та інтегрується з інформаційною системою логістичної компанії.

2. Етап 1 — Ідентифікація посилки

Після надходження на конвеєр посилка проходить через зону сканування.

Використовується:

- ☐ 1D/2D сканер штрих-коду;
- ☐ або QR-сканер.

Сканер зчитує:

- ☐ номер декларації;
- ☐ регіон доставки;
- ☐ відділення призначення;
- ☐ тип відправлення.

Дані передаються до мікроконтролера або серверної системи для подальшої обробки.

3. Етап 2 — Визначення ваги

Посилка потрапляє на вагову платформу (тензодатчик + підсилювач НХ711).

Система визначає:

- ☐ фактичну масу (кг);
- ☐ відповідність заявленій масі;
- ☐ категорію за вагою.

Приклад класифікації:

- ☐ до 2 кг — малогабаритні;
- ☐ 2–10 кг — стандартні;
- ☐ 10–30 кг — великогабаритні;
- ☐ понад 30 кг — спеціальна обробка.

Якщо вага перевищує допустиму для автоматичної лінії — посилка перенаправляється на ручне сортування.

4. Етап 3 — Визначення габаритів

Габарити визначаються за допомогою:

- ☐ інфрачервоних бар'єрних датчиків;
- ☐ ультразвукових датчиків;
- ☐ або лазерних вимірювачів.

Обчислюються:

- ☐ довжина;
- ☐ ширина;
- ☐ висота;
- ☐ об'ємна вага.

Формула об'ємної ваги:

$$V = D \times III \times B \quad K \quad V = \frac{D \times III \times B}{K} \quad V = K \times D \times III \times B$$

де K — логістичний коефіцієнт (наприклад, 4000 або 5000).

Якщо габарити перевищують допустимі — активується інший канал сортування.

5. Етап 4 — Логічна обробка та класифікація

Мікроконтролер або центральна система виконує:

- ☐ Аналіз регіону доставки.
- ☐ Перевірку ваги.

- ☐ Перевірку габаритів.
- ☐ Присвоєння категорії маршрутизації.

Формується команда для:

- ☐ відкриття відповідного відсікача (сервопривід);
- ☐ активації напрямного механізму;
- ☐ або конвеєрного перемикача.

6. Сорткування за регіонами

Кожному регіону відповідає окремий канал:

- ☐ Київський регіон
- ☐ Західний регіон
- ☐ Східний регіон
- ☐ Південний регіон
- ☐ Міжнародні відправлення

Система використовує код регіону, отриманий зі штрих-коду, та перенаправляє посилку у відповідний жолоб або контейнер.

7. Маркування посилок

Маркування виконується у двох випадках:

I Первинне маркування

Якщо посилка оформлюється на терміналі:

- ☐ друкується етикетка;
- ☐ наноситься штрих-код;
- ☐ додається інформація про регіон та маршрут.

II Додаткове маркування

Під час сортування може додаватися:

- ☐ кольоровий регіональний маркер;
- ☐ наклейка “Важке”;
- ☐ наклейка “Негабарит”;
- ☐ наклейка “Крихке”.

Керування термопринтером здійснюється через інтерфейс UART або USB.

8. Обробка нестандартних ситуацій

Система передбачає:

- повторне сканування при помилці;
- зупинку конвеєра при відсутності зчитування;
- перенаправлення на ручну перевірку;
- сигналізацію оператору.

9. Послідовність роботи системи

1. Датчик наявності фіксує посилку.
2. Виконується сканування штрих-коду.
3. Вимірюється вага.
4. Визначаються габарити.
5. Виконується логічний аналіз.
6. Формується команда сортування.
7. Сервопривід змінює напрям.
8. Посилка потрапляє до відповідного регіонального контейнера.

3.3 Розробка спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок

Структурна схема системи відображає взаємодію основних функціональних блоків без деталізації елементної бази (3.2).

Переваги автоматизованого сортування: зменшення людського фактору; підвищення швидкості обробки; зменшення помилок маршрутизації; контроль перевантаження інтеграція з інформаційною системою компанії

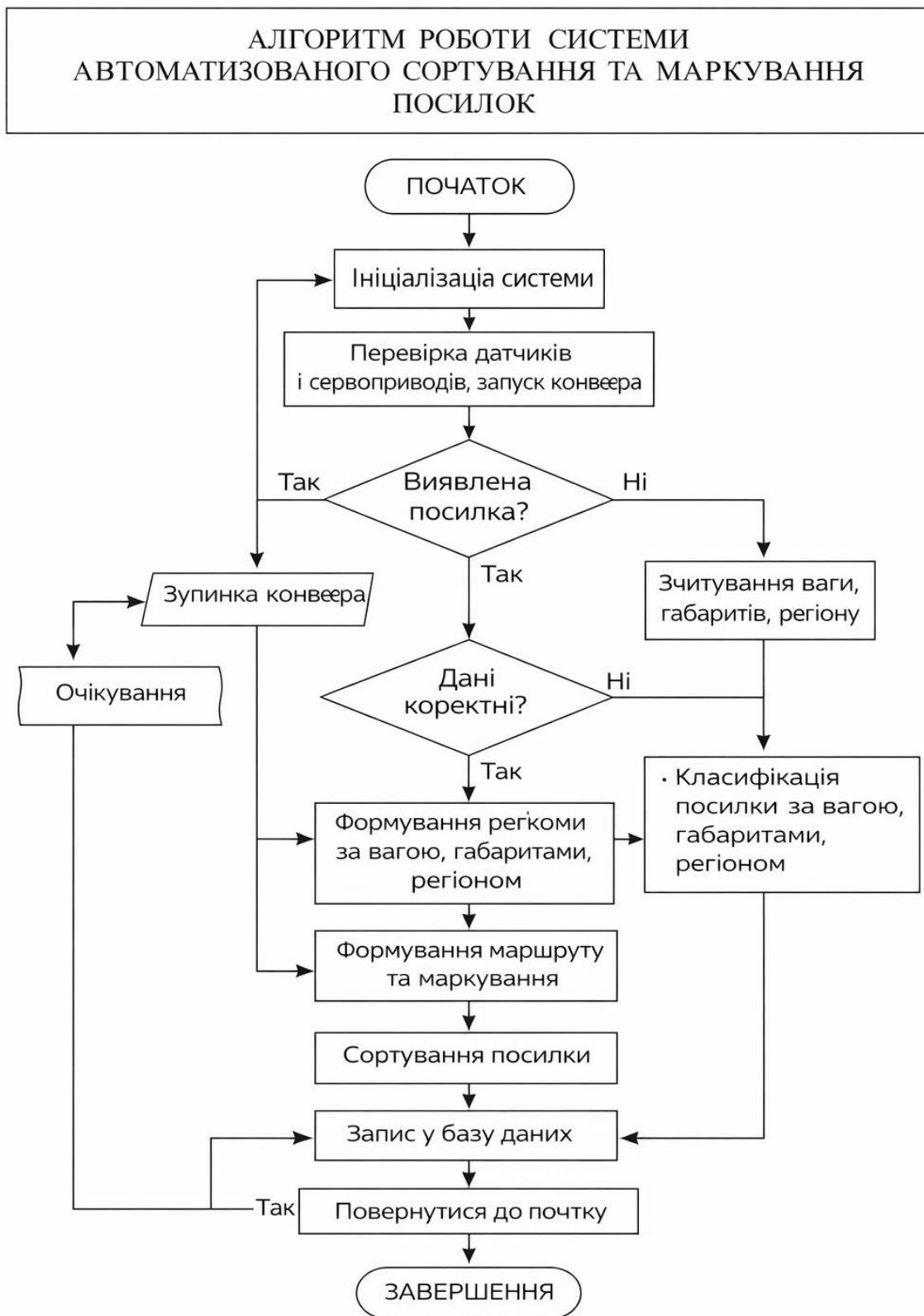


Рисунок 3.2 – Алгоритм роботи системи автоматизованого сортування та маркування посилок

Опис блоків

1. Блок живлення

- Перетворювач 220V → 12V
- DC-DC 12V → 5V
- Стабілізатор 3.3V

2. Мікроконтролер

- ESP32 (Wi-Fi, достатньо GPIO)
- Обробка сигналів
- Алгоритм сортування

3. Вхідні модулі

- Сканер штрихкоду (UART)
- RFID (SPI)
- Датчик ваги (тензодатчик + HX711)
- Оптичні датчики присутності

4. Виконавчі механізми

- Серводвигуни
- Крокові двигуни (через драйвер A4988)
- Релейний модуль

5. Інтерфейс

- LCD 16x2 / OLED
- Кнопки керування

Підібрано комплектуючі елементи (рисунок 3.3) та розроблено схему з'єднання спеціалізованої комп'ютерної системи автоматизованого сортування посилок (рисунок 3.4)

Основні вузли включають:

1. Мікроконтролер ESP32

Живлення: 3.3V, GND

2. Датчик ваги

Тензодатчик → HX711 → ESP32

HX711:

VCC → 5V

GND → GND

DT → GPIO 18

SCK → GPIO 19

3. Сканер штрихкоду (UART)

TX сканера → RX ESP32

RX сканера → TX ESP32

VCC → 5V

GND → GND

4. Серводвигун

Signal → GPIO 23

VCC → 5V (окреме живлення)

GND → GND

(Обов'язково спільна земля)

5. Кроковий двигун

ESP32 → A4988 → Кроковий двигун

STEP → GPIO 25

DIR → GPIO 26

EN → GPIO 27

Живлення двигуна – 12В

6. LCD (I2C)

SDA → GPIO 21

SCL → GPIO 22

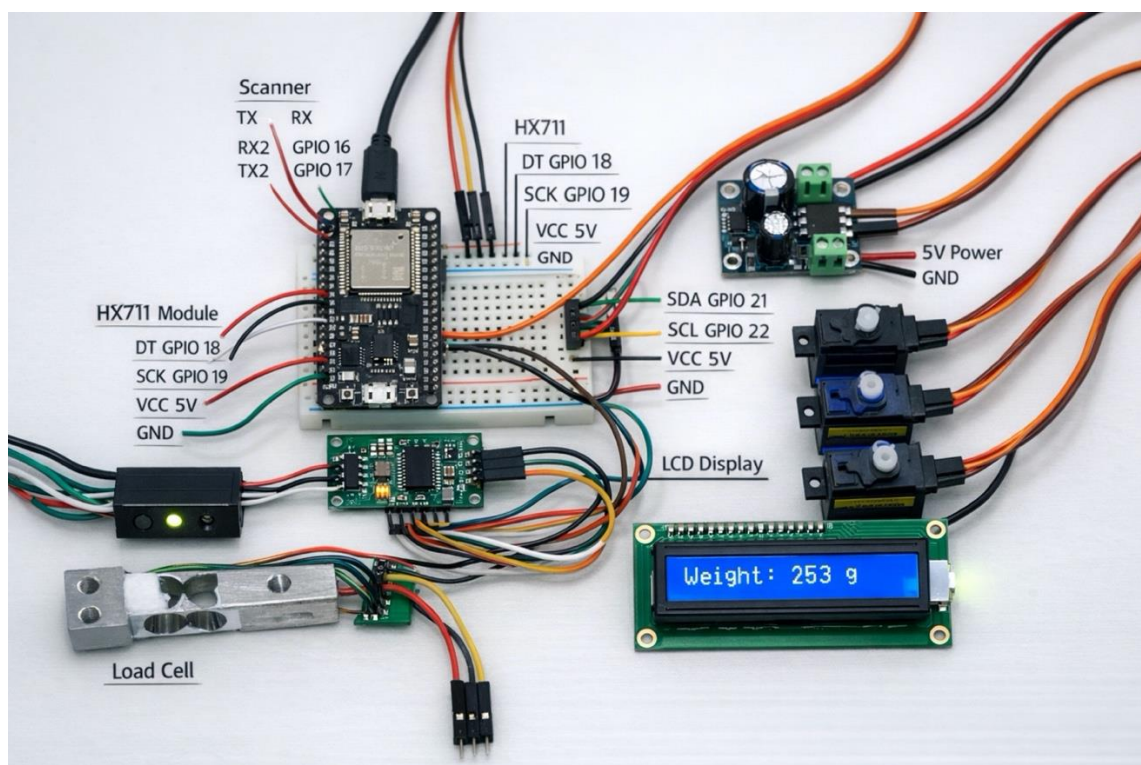


Рисунок 3.3 – Комплектуючі елементи СКС

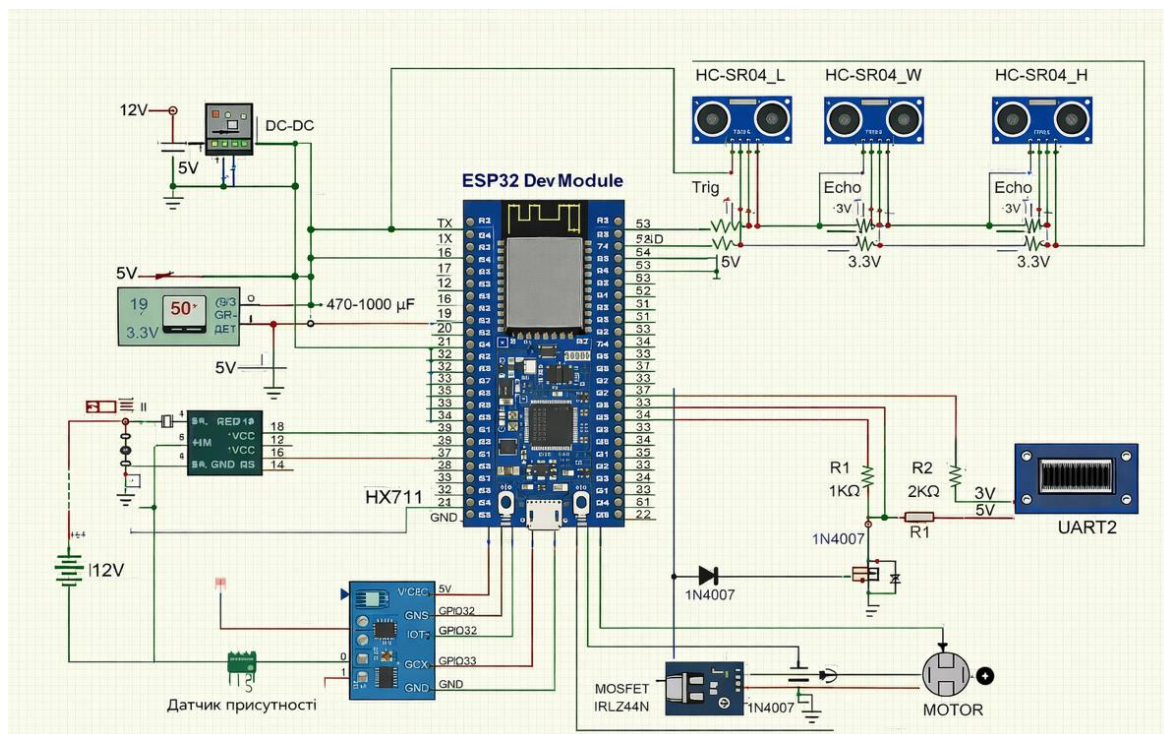


Рисунок 3.4 – Принципова схема системи сортування посилок

1 Загальний принцип роботи системи

Система призначена для автоматичного визначення параметрів посылки та її подальшого спрямування у відповідний канал сортування.

Робота системи базується на взаємодії таких модулів:

- ☐ мікроконтролер (ESP32)
- ☐ сканер штрихкоду
- ☐ ваговий модуль (тензодатчик + HX711)
- ☐ виконавчі механізми (сервоприводи)
- ☐ дисплей індикації
- ☐ блок живлення

Послідовність роботи

1. Ініціалізація

Після подачі живлення:

- ☐ ініціалізуються GPIO-порти
- ☐ запускається UART (сканер)
- ☐ активується I2C (LCD)
- ☐ виконується тарування вагового датчика
- ☐ сервоприводи встановлюються у початкове положення

Система переходить у режим очікування.

2. Виявлення посылки

Коли посылка потрапляє на платформу:

- ☐ сканер зчитує штрихкод
- ☐ дані передаються до ESP32 через UART

3. Перевірка даних

Мікроконтролер:

- ☐ перевіряє формат штрихкоду
- ☐ перевіряє на дублювання
- ☐ контролює тайм-аут зчитування

Якщо виникає помилка — посылка направляється у резервний канал.

4. Вимірювання ваги

Тензодатчик:

- деформується під навантаженням
- сигнал передається до модуля HX711
- HX711 підсилює та оцифровує сигнал
- ESP32 обчислює вагу

5. Прийняття рішення

За кодом регіону або вагової категорії визначається напрям сортування.

Приклад логіки:

- до 2 кг → канал 1
- 2–10 кг → канал 2
- понад 10 кг → канал 3

6. Активація виконавчого механізму

ESP32: подає PWM-сигнал на відповідний сервопривід; механічний відсікач змінює напрям руху посилки; після завершення операції сервопривід повертається у вихідне положення

7. Відображення та логування

На LCD відображається:

- вага
- напрям сортування
- статус операції

Через Serial або Wi-Fi записуються дані у журнал

Принцип взаємодії модулів

Посилка → Сканер → ESP32 → Аналіз →

Ваговий модуль → ESP32 → Прийняття рішення →

Сервопривід → Сортування

Особливості роботи системи

- циклічний алгоритм
- обробка помилок
- контроль тайм-аутів
- захист від дублювання
- можливість масштабування

Логіка роботи системи

Датчик фіксує наявність посилки.

Зчитується штрихкод.

Визначається напрям сортування.

Вимірюється вага.

Мікроконтролер приймає рішення.

Активується відповідний сервомеханізм.

Дані передаються на сервер.

Загальний алгоритм роботи системи

Опис логіки функціонування

Ініціалізація системи

Очікування надходження посилки

Ідентифікація посилки (штрихкод / RFID)

Вимірювання ваги

Визначення напрямку сортування

Активація виконавчого механізму

Логування та передача даних

Повернення в початковий стан

Алгоритм прийняття рішення сортування

Варіант 1 – за напрямком доставки

IF (регіон == "Київ") → Канал 1

ELSE IF (регіон == "Львів") → Канал 2

ELSE IF (регіон == "Дніпро") → Канал 3

ELSE → Резервний канал

Варіант 2 – комбінований (код + вага)

IF (вага < 2 кг) → Мала лінія

ELSE IF (вага < 10 кг) → Середня лінія

ELSE → Велика лінія

Псевдокод для ESP32

```
void loop() {
```

```

if (parcelDetected()) {
    String code = readBarcode();
    if (code == "") {
        sendToRejectLine();
        return;
    }
    float weight = readWeight();
    int direction = defineDirection(code, weight);
    activateSorter(direction);
    logData(code, weight, direction);
    resetMechanism();
}
}

```

3.4 Математична модель

Математична модель Продуктивність системи:

$$P = \frac{N}{t} \quad P = tN$$

де: P — продуктивність (посилок/год)

N — кількість оброблених посилок

t — час

Програма для ESP32 (Arduino IDE) для мікроконтролерної системи автоматизованого сортування посилок реалізує:

- ☐ зчитування штрихкоду (UART)
- ☐ вимірювання ваги (HX711)
- ☐ прийняття рішення сортування
- ☐ керування сервоприводами
- ☐ вивід інформації на LCD (I2C)

- логування через Serial
- Використані компоненти
- ESP32
- HX711 + тензодатчик
- Сканер штрихкоду (UART)
- 3 сервоприводи
- LCD 16x2 (I2C)

Програма (Arduino IDE)

```
#include <HX711.h>
```

```
#include <Servo.h>
```

```
#include <Wire.h>
```

```
#include <LiquidCrystal_I2C.h>
```

```
#define DT 18
```

```
#define SCK 19
```

```
#define SERVO1_PIN 23
```

```
#define SERVO2_PIN 25
```

```
#define SERVO3_PIN 26
```

```
HX711 scale;
```

```
Servo servo1;
```

```
Servo servo2;
```

```
Servo servo3;
```

```
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);
```

```
float calibration_factor = -7050.0; // налаштовується експериментально
```

```

// -----
// Ініціалізація
// -----

void setup() {

    Serial.begin(115200);
    Serial2.begin(9600); // сканер штрихкоду (UART2)

    lcd.init();
    lcd.backlight();

    scale.begin(DT, SCK);
    scale.set_scale(calibration_factor);
    scale.tare();

    servo1.attach(SERVO1_PIN);
    servo2.attach(SERVO2_PIN);
    servo3.attach(SERVO3_PIN);

    resetServos();

    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("System Ready");
    delay(2000);
    lcd.clear();
}

// -----
// Основний цикл

```

```

// -----
void loop() {

    if (Serial2.available()) {

        String barcode = readBarcode();
        float weight = readWeight();

        int direction = defineDirection(barcode, weight);

        activateSorter(direction);

        logData(barcode, weight, direction);

        delay(2000);
        resetServos();
    }
}

// -----
// Зчитування штрихкоду
// -----
String readBarcode() {

    String code = "";

    while (Serial2.available()) {
        char c = Serial2.read();
        if (c != '\n' && c != '\r') {
            code += c;

```

```

    }
}

return code;
}

// -----
// Зчитування ваги
// -----
float readWeight() {

    float weight = scale.get_units(10);

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Weight:");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(weight);
    lcd.print(" g");

    return weight;
}

// -----
// Логіка сортування
// -----
int defineDirection(String code, float weight) {

    if (weight < 2000) return 1;    // мала посилка
    else if (weight < 10000) return 2; // середня

```

```

    else return 3;           // велика
}

```

```

// -----

```

```

// Керування сортувальником

```

```

// -----

```

```

void activateSorter(int direction) {

```

```

    lcd.clear();

```

```

    lcd.setCursor(0,0);

```

```

    lcd.print("Sorting...");

```

```

    switch(direction) {

```

```

        case 1:

```

```

            servo1.write(90);

```

```

            break;

```

```

        case 2:

```

```

            servo2.write(90);

```

```

            break;

```

```

        case 3:

```

```

            servo3.write(90);

```

```

            break;

```

```

    }

```

```

}

```

```

// -----

```

```

// Повернення в початковий стан

```

```

// -----

```

```

void resetServos() {

```

```

    servo1.write(0);

```

```

servo2.write(0);
servo3.write(0);
}

// -----
// Логування
// -----
void logData(String code, float weight, int direction) {

    Serial.println("----");
    Serial.print("Barcode: ");
    Serial.println(code);
    Serial.print("Weight: ");
    Serial.println(weight);
    Serial.print("Direction: ");
    Serial.println(direction);
}

```

Типові помилки сканера

1. Відсутність даних (тайм-аут)
2. Некоректний формат штрихкоду
3. Пошкоджений / неповний код
4. Помилка зв'язку UART
5. Повторне зчитування того самого коду

3 Покращена функція зчитування з тайм-аутом

```

String readBarcodeWithTimeout(unsigned long timeout_ms) {

    String code = "";
    unsigned long startTime = millis();
    while (millis() - startTime < timeout_ms) {

```

```

if (Serial2.available()) {
    char c = Serial2.read();

    if (c == '\n') {
        break;
    }
    if (isPrintable(c)) {
        code += c;
    }
}

return code;
}

```

4 Перевірка коректності штрихкоду

(приклад: код має бути 13 символів – EAN-13)

```

bool isValidBarcode(String code) {

    if (code.length() != 13) return false;

    for (int i = 0; i < code.length(); i++) {
        if (!isDigit(code[i])) return false;
    }

    return true;
}

```

3.5 Логіка обробки помилок

Логіку обробки помилок представлено на рисунку 3.5

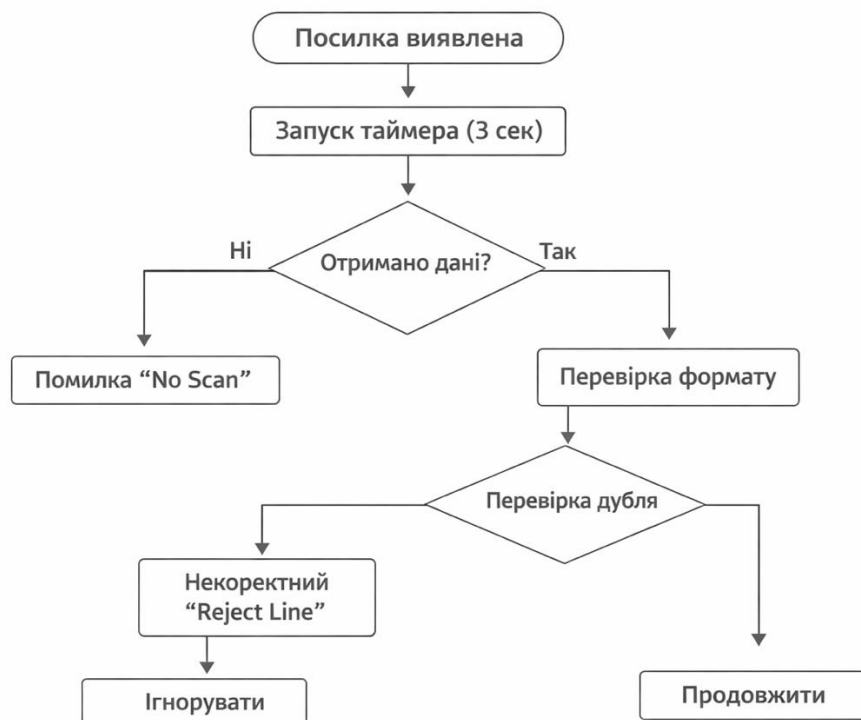


Рисунок 3.5 – Логіка обробки помилок

Захист від дублювання

```
String lastBarcode = "";
```

```
bool isDuplicate(String code) {
```

```
    if (code == lastBarcode) return true;
```

```
    lastBarcode = code;
```

```

    return false;
}

```

Повна інтеграція в loop()

```

void loop() {

    if (parcelDetected()) {

        String barcode = readBarcodeWithTimeout(3000);

        if (barcode == "") {
            handleError("No Scan");
            return;
        }

        if (!isValidBarcode(barcode)) {
            handleError("Invalid Code");
            sendToRejectLine();
            return;
        }

        if (isDuplicate(barcode)) {
            handleError("Duplicate");
            return;
        }

        float weight = readWeight();

        int direction = defineDirection(barcode, weight);
    }
}

```

```

    activateSorter(direction);

    logData(barcode, weight, direction);
}
}

Функція обробки помилки
void handleError(String errorType) {

    lcd.clear();
    lcd.setCursor(0,0);
    lcd.print("Error:");
    lcd.setCursor(0,1);
    lcd.print(errorType);

    Serial.println("Scanner Error: " + errorType);

    delay(2000);
}

```

3.6 Принцип роботи сервоприводу в системі автоматизованого сортування посилок

1. Загальна характеристика

У розробленій мікроконтролерній системі автоматизованого сортування посилок (на прикладі ТОВ «Нова пошта») сервопривід використовується як виконавчий механізм для зміни напрямку руху посилки.

Сервопривід забезпечує:

- точне позиціонування відсікача,
- швидке перемикання каналів сортування,
- стабільність роботи при змінному навантаженні.

2. Конструкція сервоприводу

Типовий сервопривід складається з:

1. Постійного електродвигуна
2. Редуктора
3. Датчика положення (потенціометра)
4. Плати керування

Редуктор зменшує швидкість обертання та збільшує крутний момент. Потенціометр використовується для зворотного зв'язку щодо кута повороту валу.

3. Принцип керування

Сервопривід керується імпульсним сигналом типу PWM (Pulse Width Modulation), який формується мікроконтролером ESP32.

Основні параметри сигналу:

- ☐ Частота: 50 Гц
- ☐ Період: 20 мс

Тривалість імпульсу:

- ☐ 1.0 мс $\rightarrow$ 0°
- ☐ 1.5 мс $\rightarrow$ 90°
- ☐ 2.0 мс $\rightarrow$ 180°

Зміна ширини імпульсу визначає кут повороту валу.

4. Робота у складі системи

Після визначення напрямку сортування мікроконтролер:

1. Формує відповідний PWM-сигнал.
2. Сервопривід повертає механічний відсікач у задане положення.
3. Після завершення переміщення посилки сервопривід повертається у

початковий стан.

Таким чином забезпечується циклічний режим роботи.

5. Механізм зворотного зв'язку

Внутрішня схема сервоприводу порівнює:

- бажане положення (визначене PWM-сигналом),

- фактичне положення (з потенціометра).

У разі відхилення двигун обертається до досягнення необхідного кута. Після досягнення позиції живлення двигуна припиняється.

6. Електричні характеристики (типовий сервопривід)

- Напруга живлення: 4.8–6 В
- Струм холостого ходу: 100–250 мА
- Пусковий струм: до 1 А
- Кут повороту: 0–180°

У системі використано окреме джерело живлення 5 В для запобігання просадці напруги мікроконтролера.

7. Переваги використання сервоприводу

- ☐ простота керування
- ☐ точність позиціонування
- ☐ компактність
- ☐ достатній крутний момент
- ☐ невисока вартість

8. Недоліки: обмежений кут повороту; чутливість до просадки напруги; механічний знос редуктора

Сервопривід є оптимальним виконавчим механізмом для реалізації системи автоматизованого сортування посилок, оскільки забезпечує точне позиціонування відсікачів при відносно простій схемі керування та інтеграції з мікроконтролером.

3.7 Розрахунок пропускної здатності автоматизованої лінії сортування посилок

1. Вихідні дані для розрахунку

Для мікроконтролерної системи сортування (на базі Arduino / ESP32) приймаємо такі параметри (табл 3.1):

Таблиця 3.1 Параметри мікроконтролерної системи сортування (на базі Arduino / ESP32)

Параметр	Позначення	Значення
Час сканування	t_1	0,5 с
Час зважування	t_2	0,7 с
Час вимірювання габаритів	t_3	0,8 с
Час логічної обробки	t_4	0,1 с
Час спрацювання сервоприводу	t_5	0,6 с
Час переміщення по конвеєру між зонами	t_6	1,3 с

2. Розрахунок часу обробки однієї посилки

Повний цикл обробки:

$$T_{\text{ц}} = t_1 + t_2 + t_3 + t_4 + t_5 + t_6$$

$$T_{\text{ц}} = 0,5 + 0,7 + 0,8 + 0,1 + 0,6 + 1,3 = 4,0 \text{ с}$$

Отже, одна посилка обробляється приблизно за:

$$T_{\text{ц}} = 4 \text{ секунди}$$

3. Пропускна здатність за секунду

$$Q_{\text{сек}} = \frac{1}{T_{\text{ц}}}$$

$$Q_{\text{сек}} = \frac{1}{4} = 0,25 \text{ пос./с}$$

4. Пропускна здатність за годину

$$Q_{\text{год}} = Q_{\text{сек}} \times 3600 \quad Q_{\text{год}} = Q_{\text{сек}} \times 3600$$

$$Q_{\text{год}} = 0,25 \times 3600 = 900 \text{ посилок/год} \quad Q_{\text{год}} = 0,25 \times 3600 = 900 \text{ \textit{посилок/год}}$$

$$Q_{\text{год}} = 0,25 \times 3600 = 900 \text{ посилок/год}$$

5. З урахуванням коефіцієнта використання часу

Реально система працює не 100% часу. Врахуємо:

- ☐ паузи
- ☐ повторне сканування
- ☐ помилки
- ☐ зупинки

Приймаємо коефіцієнт ефективності:

$$K_{\text{еф}} = 0,85 \quad K_{\text{еф}} = 0,85$$

Тоді реальна пропускна здатність:

$$Q_{\text{реал}} = 900 \times 0,85 = 765 \text{ посилок/год} \quad Q_{\text{реал}} = 900 \times 0,85 = 765 \text{ \textit{посилок/год}}$$

$$Q_{\text{реал}} = 900 \times 0,85 = 765 \text{ посилок/год}$$

Підсумковий результат

Пропускна здатність автоматизованої лінії становить: 765 посилок на годину ≈ 6120 посилок за 8-годинну зміну

6. Аналіз «вузького місця»

Найбільше часу займає:

- ☐ вимірювання габаритів (0,8 с)
- ☐ переміщення по конвеєру (1,3 с)

Саме ці ділянки визначають продуктивність.

6. Способи підвищення продуктивності

1. Паралельна робота датчиків
2. Скорочення довжини конвеєра
3. Використання швидших сервоприводів
4. Поділ на 2 паралельні лінії

Якщо встановити 2 лінії:

$$Q_{2\text{лінії}} = 765 \times 2 = 1530 \text{ пос./год}$$

Розрахунок показує, що розроблена мікроконтролерна система забезпечує середню продуктивність 765 посилок на годину, що відповідає вимогам локального сортувального центру та може бути масштабована шляхом паралельного впровадження додаткових ліній.

Запропонована мікроконтролерна система забезпечує комплексну автоматизовану обробку посилок за регіоном доставки, вагою та габаритами, що підвищує ефективність логістичних процесів та зменшує час сортування.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Оцінка умов виконання дипломної роботи

Виконання дипломної роботи проходило на кафедрі КІТ та Р УДУНТ ННІ УДХТУ.

Протягом виконання роботи були ідентифіковані небезпечні та шкідливі фактори [12 - 13]:

- Електромагнітне випромінювання через тривалу роботу з комп'ютером, особливо з моніторами та іншими електронними пристроями, може підвищувати рівень електромагнітного випромінювання, що у свою чергу негативно впливає на зір та нервову систему.
- Шумове навантаження через постійний фонову роботу системних блоків, вентиляторів та іншої техніки може викликати втоми та знижувати концентрацію уваги.
- Недостатнє або надмірне освітлення робочого місця може викликати швидкого навантаження на очі, що веде до зниження продуктивності та швидкої втоми.
- Ризик ураження електричним струмом через неправильне підключення обладнання чи використання несправних електроприладів може призвести до травм від електрики.
- Перегрівання електронних компонентів або коротке замикання можуть стати причиною виникнення пожежі.
- Недотримання температурного режиму в приміщенні може негативно позначатися на самопочутті та працездатності людини.
- Низька вологість сприяє пересиханню слизових оболонок, що може викликати дискомфорт та підвищити ризик захворювань.

4.2 Міри щодо забезпечення безпечних і здорових умов праці

З метою забезпечення безпечних та комфортних умов праці під час розробки спеціалізованої комп'ютерної системи підрахунку об'єктів описано рекомендовані правила дотримання.

Робочі місця були обладнані відповідно до ергономічних вимог:

- Монітори розташовані на відстані 60–70 см від очей користувача, верхній край екрана знаходиться на рівні або трохи нижче рівня очей, щоб зменшує навантаження на шийну область та очі.
- Клавіатура розміщена на відстані 15–30 см від краю столу, з кутом нахилу до 5° - 15° для зручного набору тексту
- Робочі столи мають регулювання по висоті не більше 680 – 760 мм, або за відсутності такої можливості по висоті 720 мм. Робочий стілець повинен мати підймальний механізм, для регуляції висоти посади та спини. Також повинно бути організовано місце для ніг у розмірі 600 мм. ширини, 650 мм висоти. та 500 мм. глибини.
- Мишка повинна розміщуватися на одну рівні з клавіатурою

Це дозволяє адаптувати місця під індивідуальні потреби працівників, забезпечуючи правильну поставу та зменшуючи статичне навантаження на опорно-руховий апарат [14].

На одне робоче місце повинно припадати не менше 6 м² та 20 м³ об'єму, так як це напряду впливає на концентрацію кисню в повітрі, регуляцію температури й вологості, що безпосередньо впливає на здоров'я та працездатність робітника.

Відстань між бічними поверхнями ВДТ (відео терміналами) має бути не менше 1,2 м, а між тильною поверхнею одного ВДТ та екраном іншого не менше 2,5 м.

Приміщення повинно бути обладнанні аптечками першої медичної допомоги та місцями для відпочинку.

Також за умовами вимог до організації режиму роботи необхідно дотримуватися правил щодо перерв під час роботи. Робітник повинен мати 2 або 3 перерви тривалістю 10 хвилин кожна. Кількість опрацьованих символів не повинна перевищувати 30 000 за 4 години роботи. Перерви та навантаження повинно рівномірно розподілити на весь час роботи та періодично змінювати тип роботи на інший вид діяльності [15].

Норми мікроклімату за класифікацією за важкістю та енерговитратами відповідають I категорії робіт (легкі, що виконуються сидячі), як параметрів повітряного середовища, які впливають на людини, повинні дотримуватися в залежності від типу пори року (таблиця 4.1).

Таблиця 4.1 – Нормативні параметри мікроклімату.

Пора року	Температура, С°	Вологість, %	Швидкість повітря
холодна	21-23	45 - 60	$\leq 0,1$
тепла	18 - 20	40 - 60	$\leq 0,2$

Недотримання сприяє тепловому дискомфорту, втомі та зниженню продуктивності.

При виборі освітлення потрібно спочатку провести розрахунки освітленості робочої кімнати для визначення необхідної кількості освітлювальних приладів. Величина світлового потоку розраховують за формулою 4.1.

$$V = X * Y * Z \quad (4.1)$$

де V - величина світлового потоку

X – стандарт норми освітлення, Лк

Y – Площа приміщення, м²

Z – коефіцієнт запасу.

Коефіцієнт запасу залежить від висоти стелі:

До 2.7 м = 1;

Від 2,7 до 3 м = 1,2;

Від 3 до 3,5 = 1,5;

Від 3,5 до 5,5 = 2;

З урахуванням коефіцієнту при висоті стелі до 2,7м = 1, нормою освітленості для офісу або кабінету та площею робочого кабінету 20 м² величина світлового потоку буде розраховуватися за формулою 4.1 :

$$V = 300 * 20 * 1 = 6000 \text{ Лм}$$

Таким чином, для забезпечення належного рівня освітленості в кабінетному приміщенні площею 20 м² при висоті стелі до 2,7 м необхідний сумарний світловий потік у 6000 люменів.

Для забезпечення рівня освітленості найкращим варіантом буде LED лампа через енергоефективність. Середній світловий потік однієї становить в середньому 1500 Лм. Звідси для забезпечення світлового потоку для робочої кімнати необхідно встановити 4 світлодіодні лампи. Вони повинні бути розташовані між рядами робочих місць або в зонах бічного освітлення для запобігання засліплення або блисків на моніторі, без потрапляння до очей прямих променів світла [16].

Відповідно до будівельних норм, у приміщенні обов'язково має бути організована вентиляція - природна або штучна. Вона повинна забезпечувати достатній притік і відтік повітря, щоб у кімнаті завжди було свіже повітря у потрібній кількості. Для цього розраховується кратність повітрообміну за формулою 4.2.

$$L = V_{\text{пом}} * K_p \quad (4.2)$$

де L – кратність повітрообміну, м³/ год

$V_{\text{пом}}$ – об'єм приміщення, м³

K_p – мінімальна кратність повітрообміну, 1/год.

Звідси для приміщення з об'ємом 54 м^3 , з мінімальною кратністю для офісного приміщення від 5 до 7 одиниць на годину за формулою 4.2 повітрообмін повинен бути:

$$L = 54 * 6 = 324 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Отже, щоб забезпечити хорошу вентиляцію в кімнаті площею 20 м^2 з висотою стелі $2,7 \text{ м}$, потрібно, щоб за годину повітря в приміщенні повністю оновлювалося - 324 м^3 на годину.

Досягти такого обсягу повітрообміну можливо кількома способами:

- Природня вентиляція за допомогою вікон або дверей.
- Штучна вентиляція з продуктивністю не менше 324 м^3 на годину.
- Кондиціонер з приливною вентиляцією або установка типу «Рекупатор», яка дозволяє очищати повітря без втрати тепла[17].

Щоб убезпечити працівників від ураження електричним струмом, потрібно організувати захисне заземлення та встановити автоматичні вимикачі, які спрацьовують при короткому замиканні чи перевантаженні. Всі електроприлади мають бути надійно заземлені, а допустимий опір заземлення для електронного обладнання $R_e \leq 4 \text{ Ом}$. Основні витрати енергії в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Потужність обладнання.

прилад	Потужність, Вт
Комп'ютер	300
Монітор	80
Принтер	200
Маршрутизатор	70
Інше	200
Разом	850

Отже, електричне обладнання використовує 850 Ватт або майже 1 Кіловатт для перевантажень. Звідси при напрузі 220 В за формулою 4.3 визначимо сили струму:

$$I = \frac{P}{U} = \frac{1000}{220} = 4,55 \text{ A} \quad (4.3)$$

Де I – сила струму, А

P – потужність, Вт

U – Напряга, В.

Для заземлення можна використати сталний прут діаметром 16 мм. та розрахувати опір вертикального електроду за формулою 4.4.

$$R = \frac{\rho}{2\pi L} * \ln\left(\frac{2L}{d}\right) \quad (4.4)$$

де R – опір заземлення, Ом

ρ – питомий опір ґрунту, Ом·м

L – довжина електроду, м

d – діаметр електроду, м

Розрахуємо сталевий пруток довжиною 2,5 метру та діаметром 16 міліметр, середній рекомендований питомий опір ґрунту для чорнозему 100 Ом·м.. Тоді опір вертикального електроду за формулою 4.4. виглядає наступним чином

$$R = \frac{100}{2*3,14*2,5} * \ln\left(\frac{2*2,5}{0,016}\right) = \frac{100}{15,7} * \ln(312,5) = 36,6 \text{ Ом}$$

Так як отриманий опір більше ніж допустимий $R_e \leq 4 \text{ Ом}$, тоді потрібно визначити кількість додаткових заземлювачів за формулою 4.5

$$n = \frac{R}{R_e} = \frac{36,6}{4} = 9,15 = 10 \quad (4.5)$$

Тому для надійного заземлення потрібно додатково встановити 10 вертикальних електродів або об'єднати їх в контури [18].

4.3 Характеристика приміщення щодо вибухо- та пожежної небезпеки

Кабінетне приміщення площею 20 м² з висотою стелі 2,7 м, обладнане комп'ютерами відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016 класифікується за вибухопожежною та пожежною небезпекою як категорія В. До цієї категорії належать приміщення, де знаходяться або використовуються горючі та важко займисті рідини, тверді горючі, які можуть стати джерелом пожежі. До основних причин пожежі належать:

- несправне електрообладнання або порушення правил експлуатації електроприладів, наприклад, залишення їх без нагляду чи використання не за призначенням;
- необережне поводження з вогнем, паління в заборонених місцях, застосування відкритого вогню.
- недотримання правил зберігання горючих матеріалів: зберігання паперу, тканин та інших легкозаймистих речовин поблизу джерел тепла, що може призвести до пожежі або вибуху [19].

4.4 Протипожежні заходи

Для запобігання пожежам у кабінеті слід дотримуватися комплексу заходів, які відповідають сучасним вимогам пожежної безпеки:

- регулярно перевіряти електромережі та обладнання та своєчасно усувати виявлені несправності.
- Встановити автоматичну систему пожежної сигналізації, яка дозволяє швидко виявити загоряння та повідомити про небезпеку.
- Оснастити кабінет первинними засобами пожежогасіння: вогнегасниками, ящиками з піском, водяними бочками, покривалами з

негорючого матеріалу, пожежними відрами, совковими лопатами та інструментом.

- Створити план евакуації з чітко позначеними шляхами виходу, а також провести навчання персоналу щодо дій у разі пожежі.
- Регулярно проводити інструктажі з пожежної безпеки та стежити за дотриманням встановлених правил усіма працівниками.

Кабінет розташований у будівлі II ступеня вогнестійкості, тобто основні конструкції виконані з негорючих матеріалів (залізобетон тощо), а межа вогнестійкості становить не менше 0,75 години.

В кабінеті площею 20 м² достатньо одного комплекту первинних засобів пожежогасіння, до якого входять:

- Вогнегасники;
- Пожежні кран-комплекти;
- Ящики з піском;
- Бочки з водою;
- Покривала з негорючого теплоізоляційного матеріалу;
- Пожежні відра, совкові лопати, пожежний інструмент, а саме: багор, лом, гак, сокира [20].

Для пожежного водопостачання розрахуємо об'єм резервного запасу води для гасіння пожежі визначається за формулою 4.6

$$Q = 3600 * r * q \quad (4.6)$$

де r – середній час гасіння, 3 години

q – сумарний витрат води, л·с⁻¹, яка визначається за формулою 4.7:

$$q = q_{\text{зовн}} + q_{\text{вн}} + q_{\text{авт}} \quad (4.7)$$

де $q_{\text{зовн}}$ - витрата води на зовнішнє пожежогасіння, 10 л/с

$q_{\text{вн}}$ - витрата на внутрішнє гасіння, 5 л/с

$q_{\text{авт}}$ - витрата на автоматичні установки пожежогасіння, 30 л/с.

Тоді за формулами 4.6 та 4.7 обсяг води розраховується так:

$$q = 10 + 5 + 30 = 45 \text{ л/с}$$

$$Q = 3600 * 3 * 45 = 486000 \text{ л.}$$

Таким чином необхідний запас обсягу води становить 486000 літрів води або 486 метрів кубічних.

4.5 Здійснення оцінки стану приміщення в екстрених випадках

З метою визначення стану будинку в надзвичайних ситуаціях розраховано надлишковий тиск вибуху балонів 40 на відстані 20 м. від місця роботи працівника для визначення можливих негативних наслідків вибуху для розробника та ступінь руйнування будівлі.

Визначення енергії вибуху визначається за формулою 4.8.

$$A = \frac{P - P_0}{\gamma - 1} * V \quad (4.8)$$

де P – тиск у балоні з пропан-бутаном при руйнуванні, 2500 кПа;

P_0 – атмосферний тиск, 101 кПа

γ – показник адіабати газу, 1,13

V – об'єм балонів, що визначається за формулою 4.9.

$$V = i * V_i \quad (4.9)$$

Де i – кількість балонів, 40

V_i – об'єм одного балона, 0.04.

$$V = 40 * 0.04 = 1.6 \text{ м}^3$$

Тоді енергія вибуху за формулою 4.8:

$$A = \frac{250000-10100}{1.13-1} * 1.6 = 29\,526\,154 \text{ Дж}$$

Або в тротиловому еквіваленті за формулою 4.10:

$$TE = \frac{A}{4,6 * 10^3} \quad (4.10)$$

$$TE = \frac{29\,526\,154}{4,6 * 10^3} = 6,4 \text{ кг}$$

Визначимо надлишковий тиск у фронті вибуху за формулою 4.11

$$\Delta P = \frac{105}{R} * \sqrt[3]{q} + \frac{410}{R} * \sqrt[3]{q^2} + \frac{1370}{R} * q \quad (4.11)$$

де R – дистанція до місця знаходження балонів, 20 м

q – показник вільного розповсюдження вибухової хвилі, за формулою 4.12

$$q = 0.5 * TE \quad (4.12)$$

$$q = 0.5 * 6.4 = 3.2$$

Тоді за формулою 4.11:

$$\Delta P = \frac{105}{20} * \sqrt[3]{3.2} + \frac{410}{20} * \sqrt[3]{3.2^2} + \frac{1370}{20} * 3.2 = 7.73 + 44.51 + 219.2 = 271.44 \text{ Па}$$

При надлишкову тиску у фронті вибухової хвилі на відстані 20 метрів досягає 271.44 Па, через те що епіцентр вибуху знаходиться на віддаленій відстані через це, вона буде відчуватися як вибухова хвиля. Під час такого вибуху робітник відчує коливання та вибухову хвилю, можливо зазнає стресу але вагомих поранень не дістане. Будівля не зазнає вагомих збитків, можливо падіння окремих легких предметів, обвалення штукатурки або розбиття старих, тонких вікон [21].

5. РОЗРАХУНОК ВИТРАТ НА РЕАЛІЗАЦІЮ

5.1 Розрахунок витрат

Для розрахунку витрат при створенні системи підрахунку, необхідно визначити ціну кожного елемента системи та розрахувати час, який потрібно робітникам для встановлення системи та їх заробітну плату.

Для реалізації системи було використано наступні компоненти (ціни наведені відповідно до даних отриманих з інтернету в 2025 році) (таблиця 5.1.1).

Таблиця 5.1.1 – Розрахунок витрат компонентів

Найменування компоненту	Ціна, грн
Камера відеоспостереження EZVIZ C8W Pro 2K	7060
Маршрутизатор Asus RT-AX88U PRO	6120
Комп'ютер ARTLINE X43 (X43v45) з монітором LG 27UL500-W для обробки відео	30 000
Додаткове обладнання (комутатор TP-Link TL-SG108, кабель Ethernet UTP Cat6 , подовжувач живлення на 5 метрів витратні матеріали)	3500
Разом	46 690

Заробітна плата (Z) одного залученого фахівця, який займається налаштуванням та тестуванням системи, підтримкою та керування 15000 грн.

Нарахування на заробітну плату (N) це обов'язкові внески, які роботодавець сплачує до державних фондів, що становлять 22 % [22]

Нарахування розраховують за наступною формулою 5.1.

$$N = Z * 22\%; \quad (5.1)$$

$$N = 15\,000 * 0.22 = 3\,300 \text{ грн}$$

Далі розрахуємо витрати накладні (V_n), які включають витрати на офісні ресурси, інструменти, електроенергію, інтернет, ремонт елементів системи або будівлі, збори на проведення інформаційних заходів тощо.

Розрахування буде проведено, при умові що збори становлять 15%, тоді за формулою 5.2 накладні витрати становлять:

$$V_n = Z * 18; \quad (5.2)$$

$$V_n = 15\,000 * 0.18 = 2\,700 \text{ грн}$$

Звідси розрахувавши зарплату робітника, вартість компонентів системи, податки роботодавця та додаткові витрати можливо розрахувати собівартість створення та підтримання системи підрахунку як суму всіх елементів за формулою 5.3.

$$S = V_n + N + Z + K_a \quad (5.3)$$

де K_a – сума всіх компонентів системи.

$$S = 2\,700 + 3\,300 + 15\,000 + 46\,690 = 67\,690 \text{ грн},$$

Також до загальної вартості додається ПДВ (податок на додану вартість) у розмірі 20% та розраховується за формулою 5.4 [23].

$$\text{ПДВ} = 67\,690 * 20\% = 13\,538 \text{ грн} \quad (5.4)$$

Звідси загальні витрати наведені у таблиці 5.2

Таблиця 5.1.2 – Розрахунок загальних витрат

Витрати	Сума, грн
Вартість обладнання	46 690
Заробітна плата	15 000
Нарахування на заробітну плату	3 300
Додаткові витрати	2 700
ПДВ	13 538
Загальна вартість	81 228

Звідси вартість розробки та підтримки системи – 81 228 грн.

ВИСНОВКИ

Для розробки спеціалізованої комп'ютерної системи сортування посилок було:

- визначено принцип роботи системи сортування та маркування посилок за регіонами, вагою та габаритами - побудовано алгоритм

- підібрано комплектуючі компоненти та побудовано спеціалізовану комп'ютерну систему сортування посилок

- написано програму для визначення дублювання та обробки помилок

- принцип роботи сервоприводу в системі автоматизованого сортування посилок

- проведено тестування системи та розрахунок пропускної здатності автоматизованої лінії сортування

Розрахунок показує, що розроблена мікроконтролерна система забезпечує середню продуктивність 765 посилок на годину, що відповідає вимогам локального сортувального центру та може бути масштабована шляхом паралельного впровадження додаткових ліній.

Запропонована мікроконтролерна система забезпечує комплексну автоматизовану обробку посилок за регіоном доставки, вагою та габаритами, що підвищує ефективність логістичних процесів та зменшує час сортування.

Перспективи. Розробка має потенціал для подальшого вдосконалення, зокрема інтеграції додаткових сенсорів, автоматизації окремих процесів управління та впровадження системи зворотного зв'язку для моніторингу роботи пристрою. Отримані результати можуть стати основою для майбутніх досліджень і розробок у сфері обробки посилок, пошти.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Основи побудови спеціалізованих комп'ютерних систем: URL: <https://api.dspace.wunu.edu.ua/api/core/bitstreams/c808265c-8b9e-4389-b6cc-45387d93623f/content> (дата звернення 30.03.2026)
2. Нова пошта: URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9D%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%BF%D0%BE%D1%88%D1%82%D0%B0 (дата звернення 25.03.2026)
3. Що таке Ардуіно?: URL: http://stem.tnpu.edu.ua/assets/files/proekt_arduino.pdf (дата звернення 25.03.2026)
4. Мова програмування Ардуіно С: просто про складне: URL: <https://cloud.itstep.org/blog/arduino-c-programming-language-simple-about-complex> (дата звернення 4.04.2026)
12. Класифікація небезпечних і шкідливих виробничих факторів. веб-сайт. URL: <https://oppb.com.ua/articles/klasyfikaciya-nebezpechnyh-i-shkidlyvyh-vyrobnychyh-faktoriv>. (Дата звертання 19.04.2025).
13. Чинники при роботі на ПК та ВДТ. веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/2495940/page:2/>. (Дата звертання 19.04.2025).
14. Розробка заходів щодо забезпечення безпечних і комфортних умов праці: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/4531795/page:13/>. (Дата звертання 23.04.2025).
15. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами: веб-сайт. URL: <https://ips.ligazakon.net/document/MOZ320>. (Дата звертання 25.04.2025).
16. Розрахунок освітленості в приміщенні: веб-сайт. URL: <https://ledtest.vestum.ua/uk/study/rozrahunok-kilkosti-lamp-dlja-osvitlennja-primishhennja/>. (Дата звертання 27.04.2025).

17. Розрахунок вентиляції робочого приміщення: веб-сайт. URL: <https://vents.ua/opredelenie-neobhodimosti-vozduhoobmena/>. (Дата звертання 28.04.2025).

18. Система технічних засобів і заходів електробезпеки: веб-сайт. URL: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/1110.html>. (Дата звертання 28.04.2025).

19. Класифікація приміщень за вибухопожежною та пожежною небезпекою: веб-сайт. URL: <https://сро.stu.cn.ua/Oksana/posibnik/1200.html>. (Дата звертання 29.04.2025).

20. Заходи пожежної безпеки: веб-сайт. URL: <https://antifire.ua/organizaciya-rozharnoy-bezopasnosti-2>. (Дата звертання 30.04.2025).

21. Вибухонебезпечність об'єктів і приміщень: веб-сайт. URL: <https://studfile.net/preview/10840387/page:47/>. (Дата звертання 01.05.2025).

22. Поняття заробітної плати: веб-сайт. URL: https://legalaidd.wiki/index.php/Поняття_заробітної_плати._Порядок_і_строки_ви_плати_заробітної_плати. (Дата звертання 02.05.2025).

23. Види податків та їх різниця: веб-сайт. URL: <https://pravovsim.org/inform-portal/post/vidi-podatkov-ta-yihni-funkciyi>. (Дата звертання 02.05.2025).

24. Розробка системи підрахунку Андріана Розенброка: веб-сайт. URL: https://arduinointro.com/articles/projects/count-people-in-a-room-arduino-pir-sensor?utm_source=chatgpt.com. (Дата звертання 03.05.2025).