

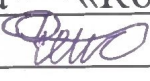
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Програмно-апаратна система контролю габаритів рухомих автомобілів»

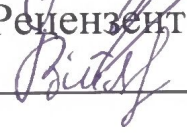
08-54.БКР.006.00.000 ПЗ

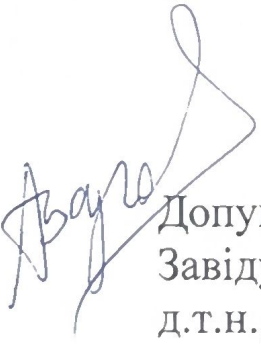
Виконав: студент 4 курсу, групи КІ-23мсз
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»
освітня програма — «Комп'ютерна інженерія»
Олексенко М.С. 

Керівник к.т.н., доц. каф. ОТ

 Крупельницький Л.В.

Рецензент к.т.н., доц. каф. ПЗ

 Войтко В.В.

 Допущено до захисту
Завідувач кафедри ОТ
д.т.н., проф. Азаров О. Д.

«17» 06 2025 р.

Вінниця ВНТУ – 2025 рік

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Освітньо—кваліфікаційний рівень бакалавр
Галузь знань — 12 Інформаційні технології
Спеціальність — 123 Комп'ютерна інженерія
Освітня програма — Комп'ютерна інженерія



ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

д.т.н.проф. _____ Азаров О. Д.

«21» березня 2025 року

З А В Д А Н Н Я

НА БАКАЛАВРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЮ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Олексенку Микиті Сергійовичу

1 Тема роботи: Програмно-апаратна система контролю габаритів рухомих автомобілів, керівник роботи Крупельницький Л.В., к.т.н., доц., доцент кафедри ОТ затверджені наказом вищого навчального закладу від «20» березня 2025 року № 97.

2 Строк подання студентом роботи «13» травня 2025 року.

3 Вихідні дані до проекту: розробка системи автоматичного контролю габаритів транспортних засобів в русі з використанням ультразвукових датчиків, мікроконтролера Arduino Mega 2560, забезпечення високої точності вимірювань з компенсацією зовнішніх завад, можливість автономного живлення, модульна архітектура для масштабування, інтерфейс UART для підключення до централізованих систем моніторингу.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки: вступ, огляд і аналіз методів та засобів контролю за габаритами автомобілів, моделювання програмної і апаратної частин системи контролю габаритів автомобілів в русі, проектування апаратних складових, тестування та дослідження системи, висновки, перелік джерел посилань, додатки.

5 Перелік графічного матеріалу: схема електрична принципова, функціональна схема, блок-схема алгоритму.

6 Консультанти розділів проєкту наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти розділів проєкту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	к.т.н., доц., доцент кафедри ОТ Крупельницький Л.В.	21.03.2025	13.05.2025
Нормоконтроль	ас. каф. ОТ Швець С. І.	14.05.2025	30.05.2025

7 Дата видачі завдання 21.03.2025 р.

8 Календарний план виконання БКР наведено в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№	Назва етапів бакалаврської кваліфікаційної роботи	Термін виконання		Примітки
		початок	закінчення	
1	Постановка задачі роботи	21.03.2025	21.03.2025	Виконано
2	Пошук необхідних матеріалів та комплектуючих	22.03.2025	27.03.2025	Виконано
3	Об'єднання комплектуючих для створення комплексу відображення інформації	28.03.2025	14.04.2025	Виконано
4	Написання лістингу програми для роботи ESP8266	15.04.2025	15.04.2025	Виконано
5	Перевірка роботи комплексу відображення інформації та виправлення помилок	16.04.2025	17.04.2025	Виконано
6	Оформлення пояснювальної записки	18.04.2025	12.05.2025	Виконано
7	Попередній захист БКР	13.05.2025	13.05.2025	Виконано

Студент

Микита ОЛЕКСЕНКО

Керівник проєкту

к.т.н., доц. каф. ОТ Леонід КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ

АНОТАЦІЯ

УДК 004.415.5

Олексенко М.С. Програмно-апаратна система контролю габаритів рухомих автомобілів. Бакалаврська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна інженерія, освітня програма — Комп'ютерна інженерія. Вінниця: ВНТУ, 2025. 74 с.

На укр. мові. Бібліогр.: 40 назви, рис.: 14, табл. 3.

У бакалаврській кваліфікаційній роботі розроблено систему контролю габаритів автомобілів в русі на базі мікропроцесорної платформи Arduino Mega 2560. Система призначена для автоматичного визначення габаритів транспортних засобів у реальному часі з високою точністю. Проведено аналіз існуючих методів контролю габаритів та розроблено алгоритм роботи з використанням ультразвукових датчиків і цифрової фільтрації для компенсації зовнішніх завад. Створено структурну, функціональну та електричну принципову схеми системи. Виконано комплексне тестування системи з дослідженням впливу зовнішніх факторів та оптимізацією параметрів. Експериментально підтверджено експлуатаційну готовність системи для впровадження в дорожню інфраструктуру з метою підвищення безпеки руху.

Ключові слова: контроль габаритів, автомобілі в русі, Arduino Mega 2560, ультразвукові датчики, цифрова фільтрація, автоматизація транспорту, безпека дорожнього руху, мікропроцесорна система.

ABSTRACT

UDC 004.415.5

Oleksenko M.S. Hardware and software system for monitoring the dimensions of moving vehicles. Bachelor's qualification work in specialty 123 — Computer Engineering, educational program — Computer Engineering. Vinnytsia: VNTU, 2025. 74 p.

In Ukrainian. Language. Bibliogr.: In Ukrainian language Bibliography: 40 titles, figures: 14, table 3.

The bachelor's qualification work presents the development of a vehicle clearance control system based on the Arduino Mega 2560 microprocessor platform. The system is designed for the automatic real-time detection of vehicle dimensions with high accuracy. The paper analyzes existing clearance control methods and proposes a functional algorithm using ultrasonic sensors and digital filtering to compensate for external interference. Structural, functional, and circuit diagrams of the system were developed. Comprehensive system testing was carried out, including an investigation of external factor influence and parameter optimization. The system's operational readiness for integration into road infrastructure has been experimentally confirmed, with the aim of improving traffic safety.

Keywords: clearance control, moving vehicles, Arduino Mega 2560, ultrasonic sensors, digital filtering, transport automation, road safety, microprocessor system.

/ЗМІСТ

ВСТУП.....	3
1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗА ГАБАРИТАМИ АВТОМОБІЛІВ	5
1.1 Огляд проблематики контролю габаритів при русі транспорту	5
1.2 Порівняльний аналіз існуючих рішень	8
1.3 Засоби вирішення задачі контролю габаритів на транспорті.....	18
1.4 Постановка задач і вибір технічних рішень	21
2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОЇ І АПАРАТНОЇ ЧАСТИН СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ГАБАРИТІВ АВТОМОБІЛІВ В РУСІ	25
2.1 Розробка та моделювання алгоритму і програми	25
2.2 Проектування та моделювання апаратної частини	29
3 ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНИХ СКЛАДОВИХ.....	33
3.1 Структурна схема.....	33
3.2 Функціональна схема та взаємодія апаратних складових системи	36
3.3 Розробка схеми електричної принципової	39
4 ТЕСТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ.....	43
4.1 Методика тестування та вимірювань	43
4.2 Аналіз результатів функціонального випробування	45
4.3 Вплив зовнішніх факторів на стабільність системи.....	48
4.4 Оптимізація системи за результатами тестування	51
4.5 Порівняння з альтернативними рішеннями	53
ВИСНОВКИ	57
ДОДАТОК А Технічне завдання.....	63
ДОДАТОК Б Протокол перевірки кваліфікаційної роботи	68
ДОДАТОК В Графічна частина	69
ДОДАТОК Г Перелік елементів.....	73
ДОДАТОК Д Лістинг програмного забезпечення	74

ВСТУП

Сучасний розвиток транспорту та інфраструктури ставить нові виклики щодо забезпечення безпеки дорожнього руху. Однією з поширених проблем є проїзд під об'єктами з обмеженнями по висоті – мостами, тунелями, арками тощо.

Помилки у визначенні висоти транспортного засобу, зумовлені переважно людським фактором, можуть спричинити зіткнення, пошкодження авто й об'єктів інфраструктури або навіть становити загрозу життю.

У таких умовах доцільно впроваджувати автоматизовані системи, які визначають габарити транспортного засобу та попереджають водія про небезпеку в режимі реального часу.

Актуальність роботи полягає у технологічних рішеннях, спрямованих на вирішення цього завдання. Однак багато з них є складними у впровадженні або занадто дорогими для масового використання. Наприклад, лазерні системи або камери високої роздільної здатності можуть забезпечувати високий рівень точності, проте їх інтеграція з інфраструктурою може бути економічно не вигідною, особливо для невеликих населених пунктів або регіональних доріг.

У цьому контексті особливий інтерес становлять ультразвукові сенсори, які вже широко використовуються в різних сферах через свою надійність, простоту у використанні та відносно низьку вартість. Ультразвукові технології дозволяють точно вимірювати відстань до об'єктів та їх розміри, що робить їх ідеальними для використання в системах визначення габаритів транспортних засобів.

Ультразвукові сенсори в поєднанні з сучасними алгоритмами обробки даних мають великий потенціал для створення ефективної системи визначення можливості проїзду під низько розташованими об'єктами. Така система може значно знизити ризик виникнення аварійних ситуацій, пов'язаних із помилковою оцінкою габаритів. Крім того, її впровадження сприятиме підвищенню загальної безпеки на дорогах та зменшенню витрат на ремонт пошкоджених конструкцій та транспортних засобів.

Основною метою бакалаврської кваліфікаційної роботи є підвищення безпеки дорожнього руху шляхом впровадження автоматизованої системи на базі ультразвукових сенсорів, призначеної для визначення габаритів транспортних засобів. Запропонована система дає змогу оперативно оцінювати відповідність розмірів автомобіля встановленим нормам проїзду в обмежених умовах, що, у свою чергу, зменшує ризик аварійних ситуацій та сприяє більш точному контролю на спеціалізованих ділянках доріг.

Завдання роботи наступні:

- аналіз існуючих рішень для визначення висоти транспортних засобів.
- дослідження принципів роботи ультразвукових сенсорів та можливостей їх застосування в транспортній галузі.
- розробка моделі системи з використанням ультразвукових сенсорів для визначення висоти транспортних засобів.
- тестування та валідація розробленої системи в реальних умовах.
- аналіз ефективності запропонованої системи та розробка рекомендацій щодо її впровадження.

Новизна даного проекту полягає у впровадженні ефективної автоматизованої системи на основі ультразвукових технологій, яка дозволить своєчасно виявляти можливі небезпечні ситуації та попереджати водіїв про ризик зіткнення з об'єктами інфраструктури з обмеженою висотою. Це дозволить уникнути аварійних ситуацій і знизити рівень дорожньо-транспортних пригод, спричинених помилковою оцінкою висоти транспортного засобу.

1 ОГЛЯД І АНАЛІЗ МЕТОДІВ ТА ЗАСОБІВ КОНТРОЛЮ ЗА ГАБАРИТАМИ АВТОМОБІЛІВ

1.1 Огляд проблематики контролю габаритів при русі транспорту

У контексті реалізації програмно-апаратного комплексу для контролю габаритів рухомих транспортних засобів особливу увагу було зосереджено на актуальних викликах у сфері безпеки дорожнього руху. Одним із найпоширеніших і водночас критичних сценаріїв на дорогах залишаються зіткнення транспортних засобів із інфраструктурними об'єктами, які мають обмеження по габаритах проїзду. Типовими прикладами є мости, арки, тунелі, дорожні знаки або інші інженерні конструкції. У багатьох випадках причиною аварій стає нехтування водіями допустимими габаритами або нездатність оперативно зреагувати на обмеження, зазначені на дорожніх покажчиках. Відсутність належного контролю та своєчасного попередження в таких ситуаціях призводить не лише до матеріальних збитків, а й створює загрозу для здоров'я та життя людей.

У процесі вивчення предметної області було виявлено, що однією з основних причин перевищення габаритів є складність візуального сприйняття відповідних знаків у дорожніх умовах, особливо в темну пору доби, під час дощу або при відблисках від фар зустрічних автомобілів. До цього додається людський фактор - водії, особливо тих, хто не знайомий з маршрутом, не завжди точно оцінюють габарити свого транспортного засобу або просто не помічають застережень. Ситуація ускладнюється для великогабаритного транспорту, зокрема вантажівок та міжміських автобусів, які мають обмежену маневровість і довший гальмівний шлях [1].

Окремо постала проблема відсутності ефективних локалізованих систем контролю габаритів на тих ділянках доріг, де обмеження є критичними. У багатьох випадках використовуються лише дорожні знаки, які не забезпечують активного реагування на наближення небезпеки. Це, у свою чергу, спричиняє затримки в русі, зміну маршрутів доставки, створення заторів, додаткове навантаження на транспортну інфраструктуру та підвищене споживання пального. Внаслідок цього

зростає об'єм шкідливих викидів, що негативно впливає на екологічну ситуацію не лише в містах, а й уздовж головних автомагістралей.

Ще одним важливим викликом було визнано технічну сторону реалізації системи. Зокрема, йдеться про здатність апаратних компонентів працювати стабільно в умовах підвищеної вологості, температурних коливань, пилу та вібрації, які супроводжують реальне транспортне середовище. Ультразвукові сенсори, що стали базовим елементом майбутньої системи, повинні були продемонструвати високу точність при роботі в режимі реального часу. Саме їх здатність визначати габарити транспортного засобу з мінімальною похибкою стала основою для побудови ефективної логіки реагування. Надійність зчитування сигналів, швидка обробка результатів і безперервність роботи всієї системи розглядалися як обов'язкові вимоги до кінцевого рішення.

Оскільки кожна ситуація на дорозі є унікальною, значну увагу було приділено адаптивності алгоритмів. Система мала не просто вимірювати габарити, а й миттєво оцінювати їх відносно встановлених норм, враховуючи додаткові фактори швидкості транспортного засобу, погодні умови, щільність трафіку. Це зумовило потребу в гнучких програмних рішеннях, здатних швидко адаптуватися до змін. Перспективним напрямом виявилось використання інтелектуального аналізу, що включає елементи машинного навчання. Його застосування дозволяє системі накопичувати досвід на основі попередніх ситуацій, вдосконалюючи точність розпізнавання та зменшуючи ймовірність помилкових спрацювань [2].

Функціональність системи також посилено завдяки можливості інтеграції з іншими цифровими інструментами муніципальними платформами, системами дорожнього моніторингу або базами даних. Це дозволяє створити єдиний інформаційний простір, у межах якого система не лише оцінює габарити в режимі «тут і зараз», а й передає дані в реальному часі для аналізу, архівації або спільного використання з іншими службами. У технічному аспекті до складу системи закладено такі елементи, як мікроконтролер (Arduino Mega 2560), ультразвукові

датчики, модулі індикації, блок живлення, кнопки керування, Wi-Fi-модуль для передавання інформації та інші допоміжні вузли.

Усі компоненти системи повинні були продемонструвати узгоджену роботу. Їх обирали з урахуванням енергоефективності, захищеності від зовнішніх впливів та відповідності технічним стандартам. Пріоритет надавався тим рішенням, які вже пройшли випробування в реальних умовах і мають доведені показники стабільності. Під час розробки було враховано також потребу в модульності тобто можливість розширення системи в майбутньому, додавання нових функцій або адаптації під різні категорії транспортних засобів.

Реалізація проекту передбачала повний цикл, від вивчення технічних вимог і моделювання до вибору компонентів, розробки дослідного зразка, калібрування та тестування в змодельованих дорожніх умовах [3]. Особливе значення надавалось етапу валідації підтвердженню того, що система відповідає заявленим вимогам, демонструє надійність і точність у різних ситуаціях та придатна для практичного використання.

На завершальному етапі передбачено комплексне тестування системи, під час якого перевірено працездатність кожного модуля, їхню сумісність і загальну реакцію на зміну габаритів транспортних засобів. Крім цього, здійснено аналіз потенційної економічної ефективності впровадження із врахуванням витрат на закупівлю, встановлення, обслуговування, а також порівняння з можливими збитками від аварій, які система здатна запобігти.

У підсумку, уся розроблена концепція орієнтована на підвищення рівня безпеки руху, зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод, пов'язаних із перевищенням допустимих габаритів, а також на створення технологічно адаптивної, масштабованої та доступної системи, яка здатна стати частиною інтелектуальної інфраструктури сучасного міста або магістрального маршруту.

1.2 Порівняльний аналіз існуючих рішень

Порівняльний аналіз існуючих рішень є критичним етапом при розробці нових систем для забезпечення відповідності потребам та вирішення виявлених проблем. Розглянемо основні переваги та недоліки кількох наявних рішень, з урахуванням нашої нової теми щодо використання ультразвукових датчиків для контролю габаритів транспортних засобів:

1) традиційні обмежувальні системи (фізичні знаки висоти);

а) переваги;

— простота у встановленні та використанні;

— низька вартість впровадження;

— відсутність необхідності в технічному обслуговуванні.

б) недоліки;

— неінтерактивність – не попереджає водіїв в режимі реального часу;

— не адаптується до конкретних обставин на дорозі (незалежно від типу транспорту) ;

— відсутність системи сповіщення при потенційному перевищенні висоти;

2) камери та системи візуального контролю;

а) переваги;

— можливість виявлення порушень за допомогою відеоаналітики;

— працюють для моніторингу великого потоку транспорту;

— можливість фіксації та документування порушень;

б) недоліки;

— висока вартість впровадження та обслуговування;

- вимагають постійного моніторингу операторами;

- потребують чіткого налаштування для коректної роботи в різних погодних умовах;

З) системи ультразвукового контролю;

а) переваги;

- висока точність в реальному часі – миттєве визначення висоти транспортного засобу;

- автоматичне попередження водіїв про перевищення висоти через звукові або голосові сигнали;

- можливість роботи в різних погодних умовах (не чутливі до дощу, туману тощо);

б) недоліки;

- потребують періодичного обслуговування та калібрування.

Кожне існуюче рішення має свої переваги та недоліки, і вибір оптимальної системи залежить від конкретних потреб та обмежень проекту. Прийняття рішення варто здійснювати на основі аналізу вимог, функціональних можливостей, вартості, технічних обмежень та відповідності поставленим цілям проекту. Порівняння цих рішень дозволяє зробити висновок, що система ультразвукового контролю є більш ефективною для забезпечення безпеки при проїзді під мостами з обмеженою висотою, хоча і потребує вищих початкових витрат на впровадження [4].

Розділ "Порівняльний аналіз існуючих рішень" включає в себе оцінку різних систем, що можуть бути використані для вирішення проблеми, яка розглядається. Детальний аналіз кожного рішення допомагає з'ясувати, які переваги і недоліки мають ці рішення, а також як вони відповідають потребам проекту. Деякі розглянуті аспекти при порівняльному аналізі можуть включати:

— функціональність - оцінка того, наскільки ефективно кожне рішення вирішує поставлену задачу. Це може включати такі аспекти, як точність, швидкість реакції, гнучкість налаштувань тощо.

— вартість - аналіз вартості реалізації кожного рішення, включаючи придбання обладнання, встановлення, обслуговування та експлуатацію. Оцінка ефективності рішень відносно вартості може допомогти зробити раціональний вибір.

— технічні обмеження - розгляд можливих обмежень, таких як розмір простору, доступність інфраструктури, сумісність з іншими системами, стійкість до зовнішніх впливів тощо. Важливо визначити, які обмеження можуть впливати на впровадження та функціонування кожного рішення.

— надійність та обслуговування - аналіз стійкості рішень до випадкових збоїв, можливості відновлення роботи після збоїв, вимоги до технічного обслуговування та ремонту. Оцінка надійності систем допомагає визначити, наскільки довготривало та безперебійно може працювати кожне рішення.

— стандарти та сумісність - розгляд сумісності рішень з існуючими стандартами та протоколами, такими як комунікаційні протоколи, формати даних тощо. Важливо врахувати можливість інтеграції з іншими системами або розширення функціональності в майбутньому.

Порівняльний аналіз допомагає визначити найбільш підходяще рішення для даного проекту. Врахування переваг і недоліків кожного варіанту дозволяє зробити інформоване рішення, забезпечуючи ефективне виконання поставлених завдань та вирішення проблеми в найкращий спосіб. Для розробки проекту, який включає в себе Arduino та електроніку, існує кілька альтернативних варіантів, які можуть бути розглянуті.

Raspberry Pi — це малий одноплатний комп'ютер, який має вбудований набір введення-виведення (GPIO) і може використовуватися для розробки електронних проектів. Raspberry Pi має більш потужну обчислювальну потужність та може виконувати різні операційні системи, що робить його більш гнучким варіантом для

розробки проектів з використанням програмного забезпечення. Структурну схему Raspberry Pi зображено на рисунку 1.1

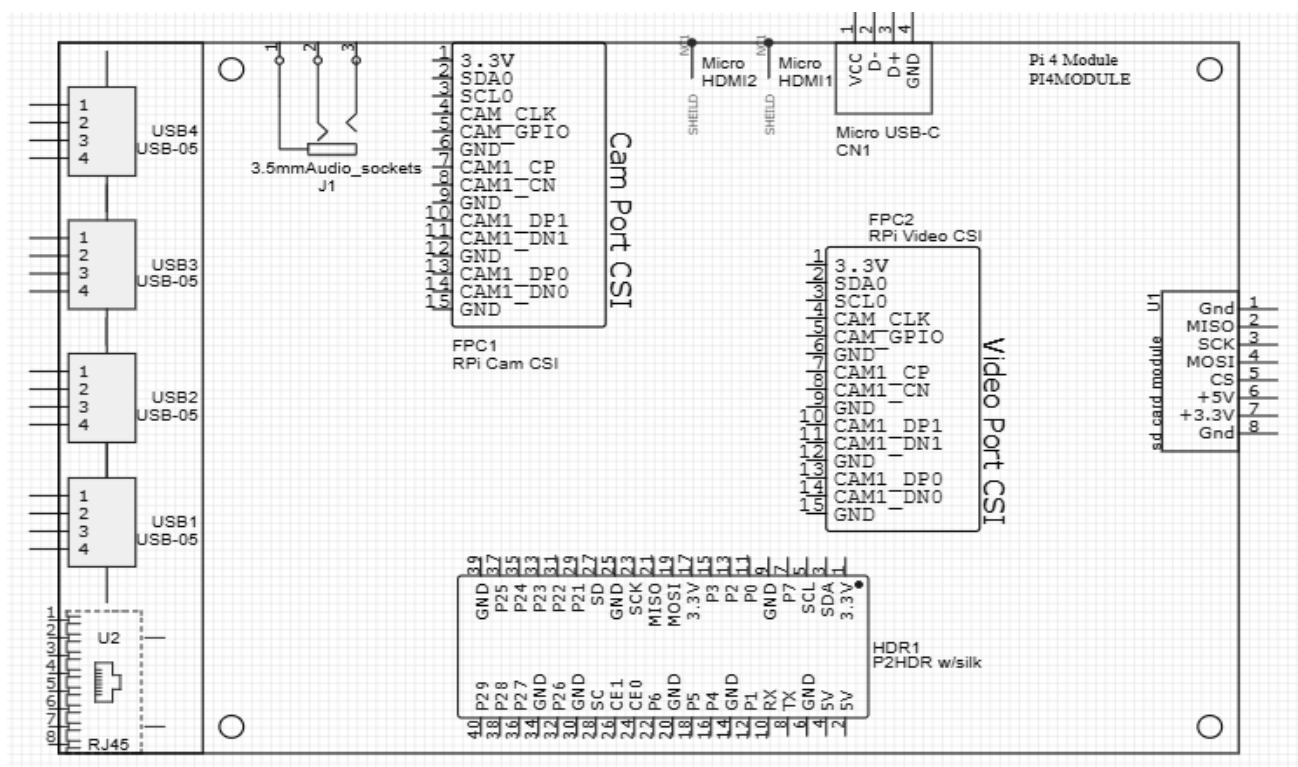


Рисунок 1.1 – Структурна схема одноплатного комп'ютера Raspberry Pi

Мікроконтролери ESP8266 та ESP32 є популярними варіантами для Інтернету речей (IoT) проектів. Вони мають вбудований Wi-Fi та можуть підключатися до Інтернету, що робить їх ідеальними для зв'язку та взаємодії з хмарними сервісами та іншими пристроями. ESP8266/ESP32 також мають вбудований GPIO для підключення додаткових датчиків та пристроїв [5].

Micro:bit — це мікрокомп'ютер, розроблений спеціально для освіти, що дозволяє дітям вивчати основи програмування та електроніки. Він має вбудований набір сенсорів, кнопок та LED-індикаторів, що дозволяє створювати прості електронні проекти. Micro:bit також має візуальне середовище програмування, що спрощує розробку для початківців [6].

BeagleBone — це ще одна платформа одноплатного комп'ютера, яка пропонує більшу функціональність та можливості порівняно з Arduino. BeagleBone має багато GPIO, вбудований Ethernet, HDMI-вивід та можливості звукового

виведення, що робить його популярним для розробки проектів, які вимагають взаємодії з мережами, мультимедіа або високої продуктивності [7]. Одноплатний комп'ютер BeagleBone зображено на рисунку 1.2.

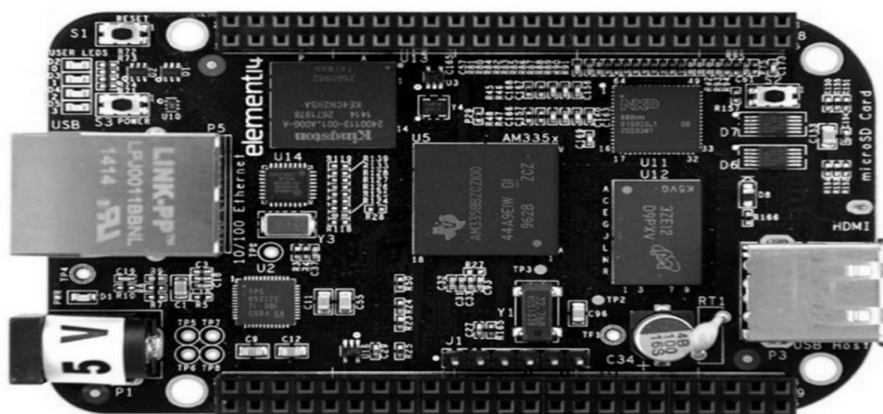


Рисунок 1.2 — Одноплатний комп'ютер BeagleBone

Particle Photon — це Wi-Fi мікроконтролер, спеціально розроблений для побудови IoT-проектів. Він працює з хмарною платформою Particle, що дозволяє легко здійснювати зв'язок та керування пристроями через Інтернет. Particle Photon має вбудований Wi-Fi, багато GPIO та підтримку для різних сенсорів та пристроїв. Структурну схему Wi-Fi мікроконтролера Particle Photon зображено на рисунку 1.3.

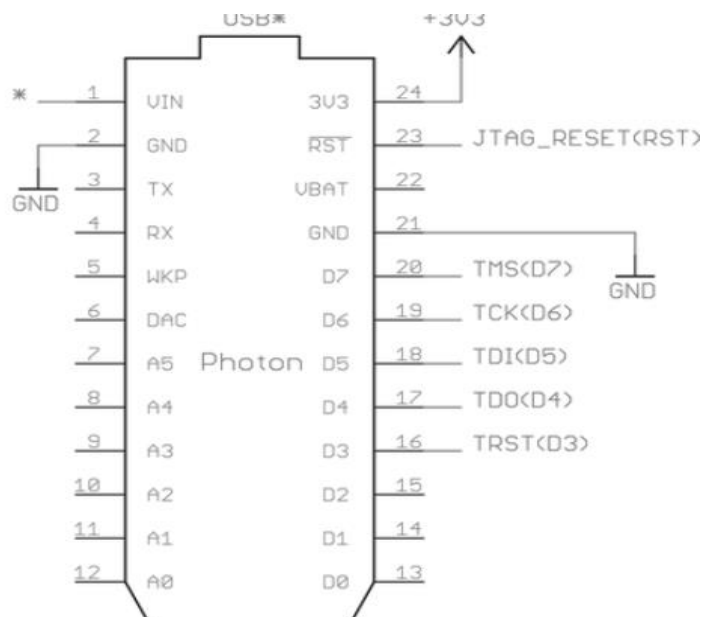


Рисунок 1.3 — Wi-Fi мікроконтролер Particle Photon

Ці альтернативи можуть варіюватися за функціональністю, вартістю, програмним забезпеченням та спільнотою користувачів.

Ось детальний опис кожного з альтернативних варіантів для розробки проекту.

Raspberry Pi — це одноплатний комп'ютер, що працює на базі Linux. Він має вбудований процесор, пам'ять, порти USB, HDMI, Ethernet та GPIO (General Purpose Input/Output), що дозволяє підключати зовнішні пристрої. Raspberry Pi є дуже потужною платформою з великими можливостями розширення. Він може виконувати різні завдання, від простих електронних проектів до повноцінних серверів [8].

Raspberry Pi підтримує багато мов програмування, включаючи Python, C++, Java, JavaScript та багато інших. Його розширена спільнота розробників забезпечує доступ до багатьох додаткових ресурсів, бібліотек і пакетів програмного забезпечення. Це дозволяє створювати складні програми та реалізовувати різноманітні функціональні можливості.

ESP8266 та ESP32 — це мікроконтролери, які володіють вбудованим Wi-Fi. Вони широко використовуються для розробки проектів Інтернету речей (IoT). ESP8266 є менш потужним, а ESP32 має більш розширений набір функцій та можливостей [9]. Структурні схеми мікроконтролерів ESP32 та ESP8266 зображено на рисунках 1.4 та 1.5.

ESP8266/ESP32 мають вбудований процесор, пам'ять, GPIO та інші роз'єми, що дозволяють підключати різноманітні датчики та пристрої. Вони підтримують мову програмування Arduino, яка є простою та зрозумілою для багатьох розробників. Також є можливість використовувати мови програмування MicroPython, Lua та інші.

ESP8266/ESP32 є енергоефективними, мають низький рівень споживання енергії, що робить їх ідеальними для проектів, які працюють від батарей або сонячних панелей. Вони підтримують зв'язок через Wi-Fi, що дозволяє підключати їх до мережі Інтернет і передавати дані на віддалений сервер або хмару [10]

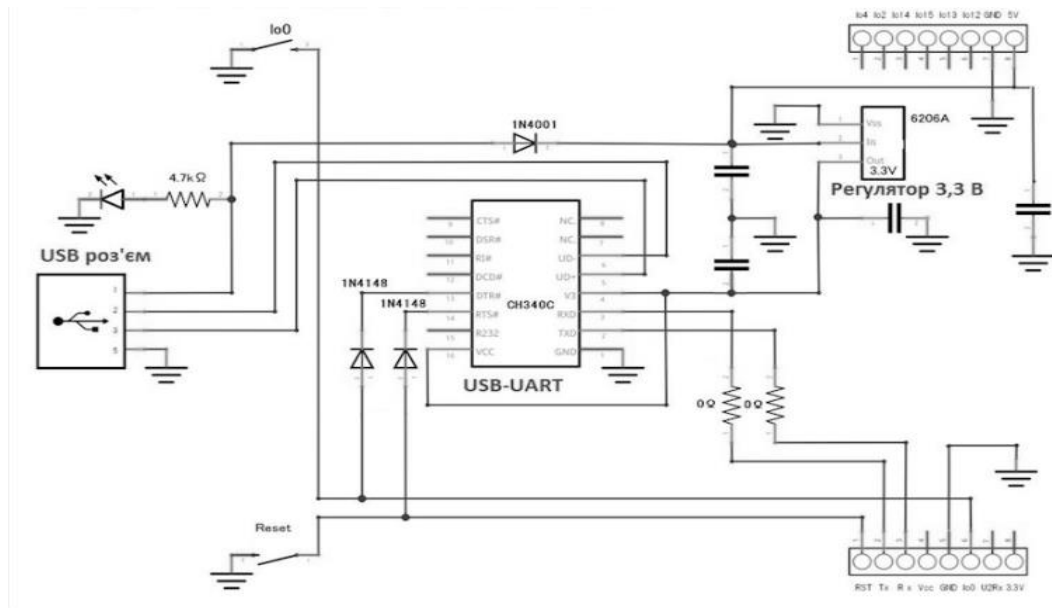


Рисунок 1.4 — Мікроконтролер ESP32

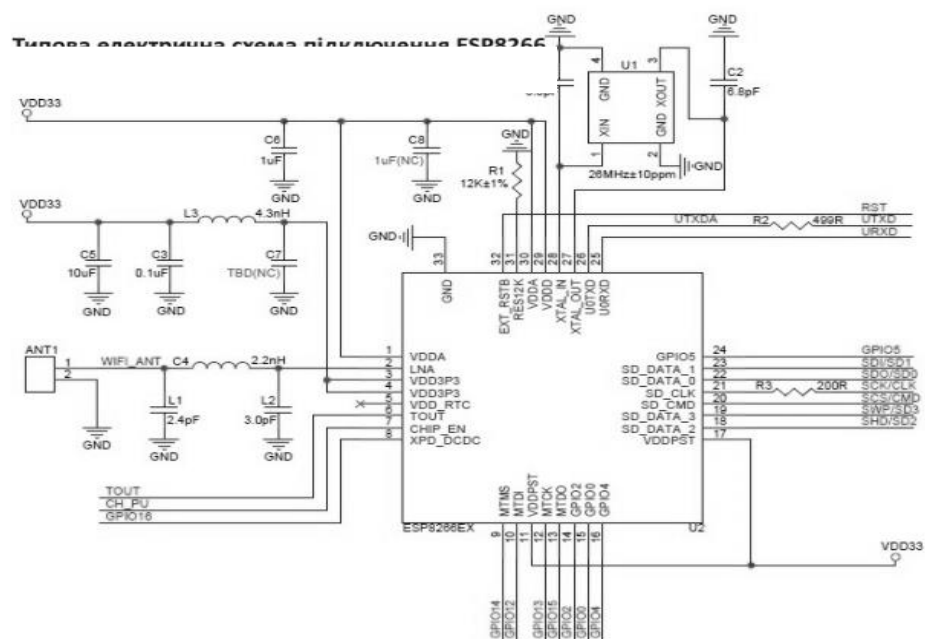


Рисунок 1.5 — Мікроконтролер ESP8266

Arduino — це платформа для розробки електронних проектів, яка включає в себе мікроконтролер та середовище програмування. Arduino популярний серед початківців та любителів електроніки, оскільки він простий у використанні та має широкий спектр доступних плат і модулів [11].

Arduino Mega і Arduino Uno, схеми яких зображено на рисунках 1.6 та 1.7 мають вбудований мікроконтролер, набір вхідних та вихідних портів, а також може бути розширений за допомогою додаткових модулів, таких як сенсори, дисплеї, мотори та інші. Arduino використовує спеціальну мову програмування на основі C/C++, яка є простою для освоєння [12].

Arduino має велику спільноту розробників, що працюють над проектами та діляться своїми знаннями. Це дозволяє швидко знайти рішення для багатьох електронних задач. Arduino підтримує різні моделі плат, включаючи Arduino Uno, Arduino Mega, Arduino Nano та багато інших [13].

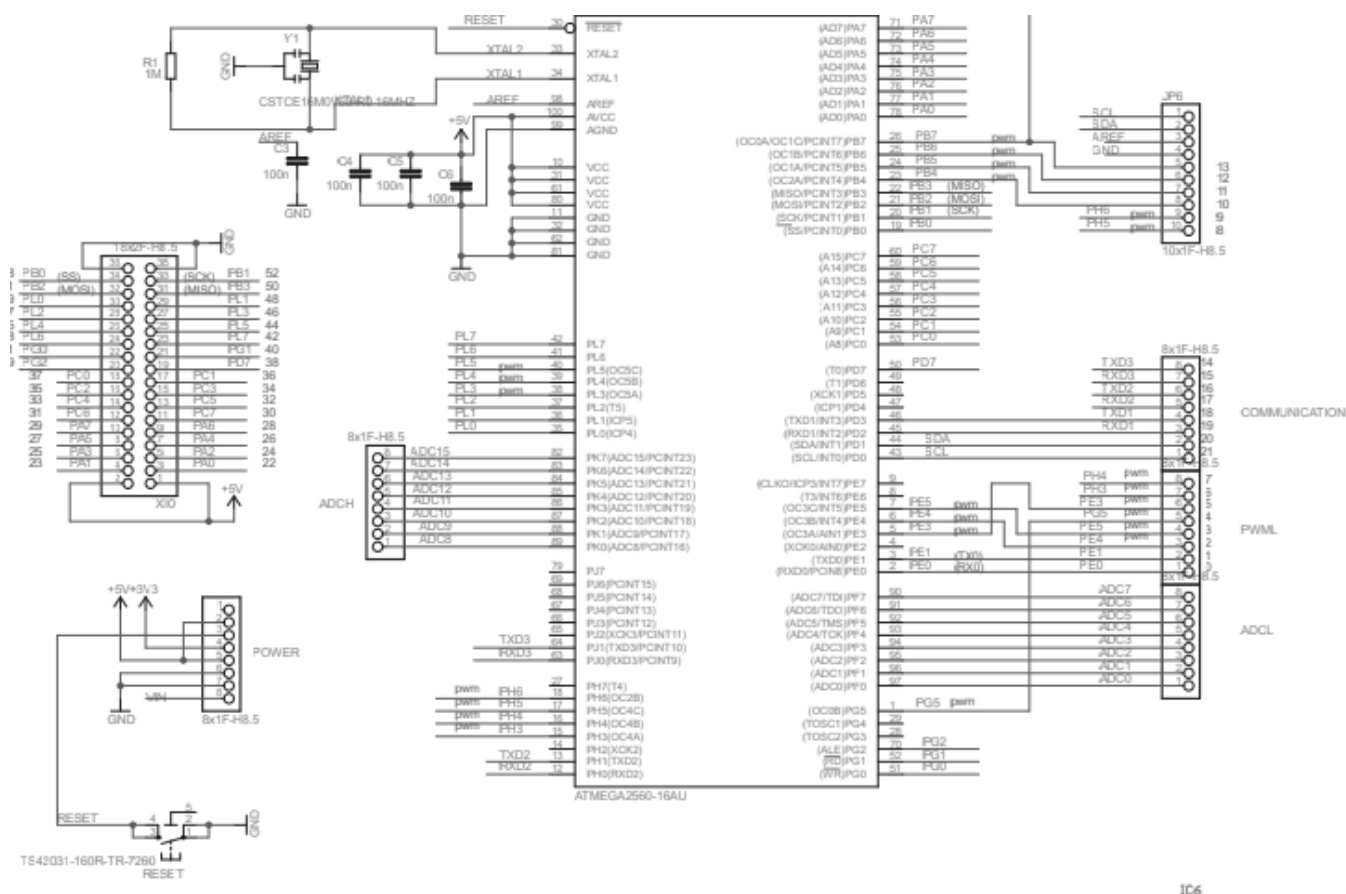


Рисунок 1.6 — мікроконтролер Arduino Mega

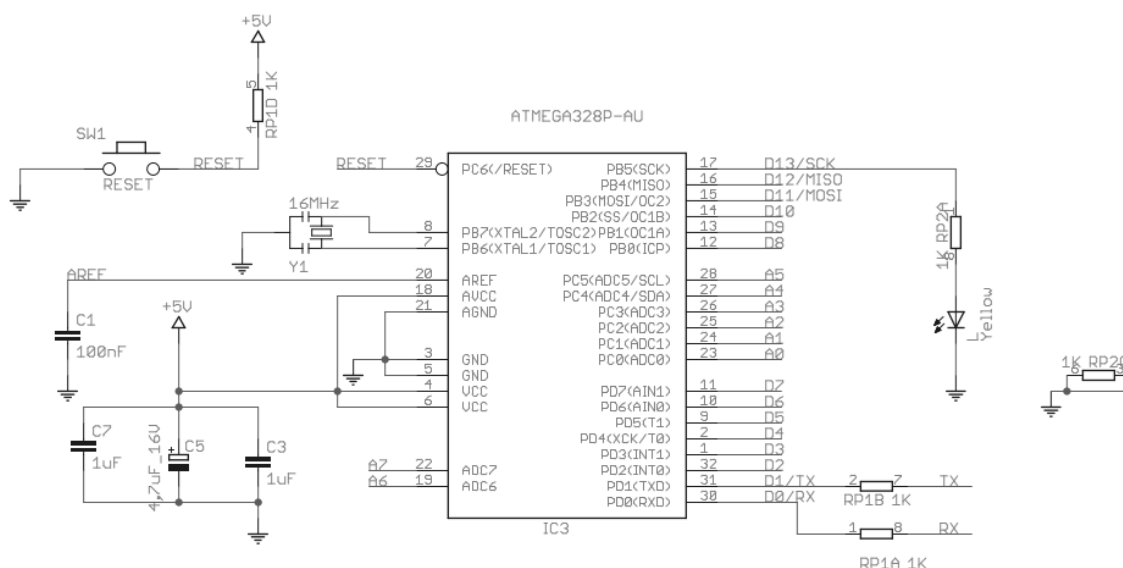


Рисунок 1.7 — Мікроконтролер Arduino Uno

Кожен з цих варіантів має свої особливості, переваги та недоліки. Вибір залежить від конкретних потреб проекту, рівня складності, доступності необхідного обладнання та розміру бюджету. Порівняння аналогів системи зображено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння аналогів

Параметр	Лазерні датчики	Відеокамери з комп'ютером	RFID-системи	Ультразвукові датчики
1. Точність вимірювань	Висока (до 1 мм)	Середня (залежить від алгоритмів)	Низька	Середня (± 2 см)
2. Швидкість реакції	Висока	Середня	Висока	Висока
3. Вартість	Висока	Висока	Середня	Низька
4. Стійкість до погодних умов	Чутливі до пилу, дощу	Чутливі до освітлення	Не залежить від погоди	Не чутливі до погоди
5. Енергоспоживання	Середнє	Високе	Низьке	Низьке
6. Простота інтеграції	Складна	Складна	Середня	Проста
7. Можливість роботи в реальному часі	Так	Так	Так	Так

Вибір ультразвукового датчика для нашого проекту є результатом детального аналізу альтернативних рішень та оцінки їх відповідності поставленим вимогам. Серед можливих варіантів розглядалися лазерні сенсори, камери високої роздільної здатності та ультразвукові датчики. Кожен із цих варіантів має свої переваги та

недоліки, проте саме ультразвукові сенсори виявилися найбільш збалансованим рішенням з точки зору ефективності, вартості та простоти реалізації [14].

На відміну від лазерних сенсорів, які забезпечують високу точність вимірювання, але при цьому є дорогими та чутливими до забруднень, ультразвукові датчики дозволяють отримати необхідну точність на рівні кількох сантиметрів, що є цілком прийнятним для нашої системи. Крім того, вони мають значно нижчу вартість, що робить їх доступнішими для використання в широкомасштабних проєктах.

Альтернативою могли стати камери, однак вони суттєво залежать від рівня освітлення та погодних умов. Їх робота може бути нестабільною в умовах туману, дощу або сильного сонця, що може негативно позначитися на загальній надійності системи [15]. Окрім того, використання камер потребує складних алгоритмів комп'ютерного зору для обробки зображень, що збільшує вимоги до обчислювальних ресурсів і ускладнює програмну частину проєкту. Натомість ультразвукові датчики працюють незалежно від зовнішніх чинників і не потребують значних обчислювальних потужностей, що значно спрощує їх інтеграцію [16].

Ще однією важливою перевагою ультразвукових датчиків є їх стійкість до експлуатаційних умов. На відміну від оптичних рішень, які можуть втрачати ефективність через пил, бруд або конденсат на поверхні об'єктива, ультразвукові сенсори залишаються працездатними навіть у несприятливих умовах. Вони також не потребують спеціального калібрування після тривалої експлуатації, що мінімізує витрати на обслуговування системи [17].

З точки зору швидкості роботи ультразвукові датчики також демонструють високу ефективність [18]. Вимірювання відстані здійснюється в межах мілісекунд, що дозволяє оперативно реагувати на зміну ситуації на дорозі. Це особливо важливо в умовах інтенсивного руху, де затримки в отриманні даних можуть призвести до аварійних ситуацій [19]. На додачу, підключення таких сенсорів до

мікроконтролера є максимально простим. Вони використовують лише кілька цифрових входів-виходів і не вимагають складних комунікаційних протоколів.

Таким чином, аналіз існуючих технологій засвідчив, що ультразвукові датчики є оптимальним вибором для нашого проєкту. Вони поєднують у собі достатню точність, невисоку вартість, простоту реалізації та надійність в умовах реальної експлуатації. Це дозволяє забезпечити стабільне функціонування системи визначення габаритів транспортних засобів без необхідності дорогого обладнання чи складних алгоритмів обробки даних.

1.3 Засоби вирішення задачі контролю габаритів на транспорті

Розробка програмно-апаратної системи, яка забезпечує контроль габаритів транспортних засобів перед проїздом під інженерними конструкціями, вимагає залучення низки взаємодоповнюючих підходів. Така системна робота на перетині інженерії, програмування, аналізу даних та поведінкової аналітики дозволяє створити рішення, адаптоване до реальних умов експлуатації, технологічно стабільне й орієнтоване на користувача.

Центральне місце у процесі реалізації посів експериментальний підхід, який передбачає побудову повноцінного дослідного макета системи. Його використання дозволило перейти від теоретичних міркувань до практичних перевірок у таких умовах можна було виявити неочевидні взаємозв'язки між модулями, оцінити реальний час реакції системи на зміну габаритів транспортного засобу та визначити поведінку сенсорів у динаміці. Під час експериментів здійснювалося послідовне випробування окремих підсистем сенсорної, обчислювальної, індикаційної, а також комунікаційної. У результаті стало можливим не лише перевірити їхню функціональність окремо, а й побачити, як вони працюють разом як єдиний механізм.

Особливу увагу було приділено стабільності роботи ультразвукових датчиків у змінних умовах середовища. Було протестовано їхню чутливість до сторонніх шумів, вібрацій, запиленості, відблисків і перепадів температури. Кожен із таких

чинників може впливати на точність вимірювання габаритів, тому в процесі експериментального етапу доводилося неодноразово калібрувати параметри зчитування. Аналогічно перевірялась швидкість обробки сигналу мікроконтролером та швидкодія алгоритмів, що приймають рішення про відображення попередження водієві. Усі ці випробування забезпечили глибоке розуміння реальної поведінки системи та надали змогу підвищити її надійність.

На паралельному рівні використовувався математичний підхід, який дозволив змодельовати поведінку системи у віртуальному середовищі. Було побудовано числові моделі, що описували фізичну суть процесів зокрема, перетворення відстані в цифровий сигнал, час затримки від зчитування до реакції індикатора, а також параметри, пов'язані з обчислювальними навантаженнями. Аналітичні рівняння дали змогу протестувати систему у багатьох гіпотетичних ситуаціях без потреби у фізичному втручанні. Це значно прискорило етап проєктування та дозволило зменшити кількість потенційних помилок у логіці.

Із застосуванням чисельного моделювання вдалося змодельовати реакцію системи у випадках різкої зміни габаритів, перевірити поведінку логіки на межових значеннях, а також оцінити вплив затримок у передаванні сигналу. Дані з експериментальних тестів використовувались для уточнення математичних моделей такий зворотний зв'язок між реальністю та теорією став гарантією адекватності побудованої логіки.

Окремий пласт роботи охоплює аналіз зовнішніх джерел даних статистика ДТП, відомості з відкритих державних реєстрів, дані GPS-навігації та супутникового моніторингу. Ці джерела використовувалися для формування загального уявлення про масштаб проблеми та частоту порушень, пов'язаних із габаритами транспортних засобів. Було проаналізовано ситуації, коли аварії ставали наслідком неуважності або неінформованості водіїв, а також випадки, де основною проблемою виявилася відсутність інфраструктурних рішень для попередження.

Для візуалізації таких даних застосовано теплові карти аварійності, які дозволили визначити критичні ділянки руху, що вимагають першочергової уваги при впровадженні систем контролю габаритів. Застосування бібліотек Python і аналітичних платформ значно прискорило процес аналізу, а також надало змогу швидко перебудовувати модель під конкретні сценарії міські вулиці, промислові зони, об'їзні траси тощо.

Усе це стало частиною ширшого підходу, який базується на принципах інженерії систем. Замість точкового вирішення окремих завдань було сформовано цілісну архітектуру, де кожен компонент сенсор, мікроконтролер, джерело живлення, модуль індикації має своє чітко визначене місце та функціональний зв'язок з іншими частинами. Проєктування системи здійснювалося з урахуванням життєвого циклу від початкового запуску до можливої модернізації. Передбачено можливість масштабування проєкту, додавання нових модулів, використання зовнішніх баз даних або інтерфейсів для взаємодії з іншими системами інтелектуального керування.

Також було враховано аспекти технічного обслуговування, включаючи доступ до кабельних роз'ємів, модульність системи для швидкої заміни пошкоджених вузлів та налаштування параметрів у польових умовах без підключення до центрального сервера. Сучасний проєкт неможливо вважати завершеним без урахування аспектів інтеграції в більші цифрові екосистеми саме тому проаналізовано можливості передачі сигналів до єдиних диспетчерських пунктів, використання хмарних платформ і взаємодії з міськими інфраструктурними системами.

Не менш вагомим стало врахування соціального фактора. Проведено опитування серед водіїв великовантажного транспорту та міжміських перевізників, яке показало, що понад 60% респондентів надають перевагу простим і чітким візуальним сигналам, а не складним цифровим повідомленням. Це вплинуло на вибір кольорової схеми для індикаторів - зелений проїзд дозволено, червоний габарити перевищено, зумер тривожне сповіщення. Така подача інформації

максимально проста для сприйняття й не вимагає додаткового навчання з боку користувача.

Соціологічний підхід дав змогу зробити інтерфейс системи не лише функціональним, а й дружнім для людини. Це зменшує рівень стресу водія в ситуації, коли час на ухвалення рішення обмежений, а також сприяє довірі до технологічного рішення. Аналіз реакцій користувачів на експериментальну установку підтвердив, що чіткість, швидкість та наочність сигналів є ключовими критеріями сприйняття системи як надійної.

У результаті залучення всіх перелічених підходів створено не просто технічну установку, а повноцінне рішення, здатне працювати в складних умовах, адаптуватися до змін середовища, враховувати людський фактор і відповідати сучасним вимогам до транспортної безпеки. Поєднання практичних тестів, математичних моделей, аналізу даних, технічного мислення та соціального підходу дозволяє говорити про системну цілісність, технологічну готовність і потенційну масштабованість розробленої системи.

1.4 Постановка задач і вибір технічних рішень

Головною метою бакалаврської кваліфікаційної роботи визначено створення технічно надійної, адаптивної та зручної в експлуатації системи, яка здатна в автоматичному режимі оцінювати можливість безпечного проїзду транспортного засобу під об'єктами дорожньої інфраструктури, що мають обмеження по габаритах. Йдеться передусім про мости, тунелі, арки, інформаційні конструкції та інші інженерні споруди, зіткнення з якими може становити загрозу для транспорту, водіїв та супутнього обладнання [20].

Для реалізації поставленого завдання застосовано мікроконтролер Arduino Mega 2560 у поєднанні з ультразвуковими сенсорами, які виконують безперервне вимірювання простору над транспортним засобом. У результаті створено систему, що в реальному часі здійснює зчитування актуальних даних про габарити рухомого об'єкта, порівнює їх із пороговими значеннями та формує відповідне попередження

у разі перевищення допустимих меж. Для цього використано як візуальні, так і звукові засоби індикації, що забезпечують оперативне інформування водія у зручній та швидкосприйнятливій формі [21].

До складу апаратної частини системи, можна було б включити Arduino Nano контакти плати якої зображено на рисунку 1.8, але в ході аналізу включено центральний контролер Arduino Mega 2560, який забезпечує управління всіма процесами, модуль ультразвукових сенсорів для габаритного моніторингу, генератор імпульсів для формування зондувального сигналу, приймач для реєстрації відбитого імпульсу, джерело живлення з відповідними параметрами стабільності, а також індикатори для зворотного зв'язку та монтажні елементи для фіксації компонентів системи на відповідній конструкції [22].

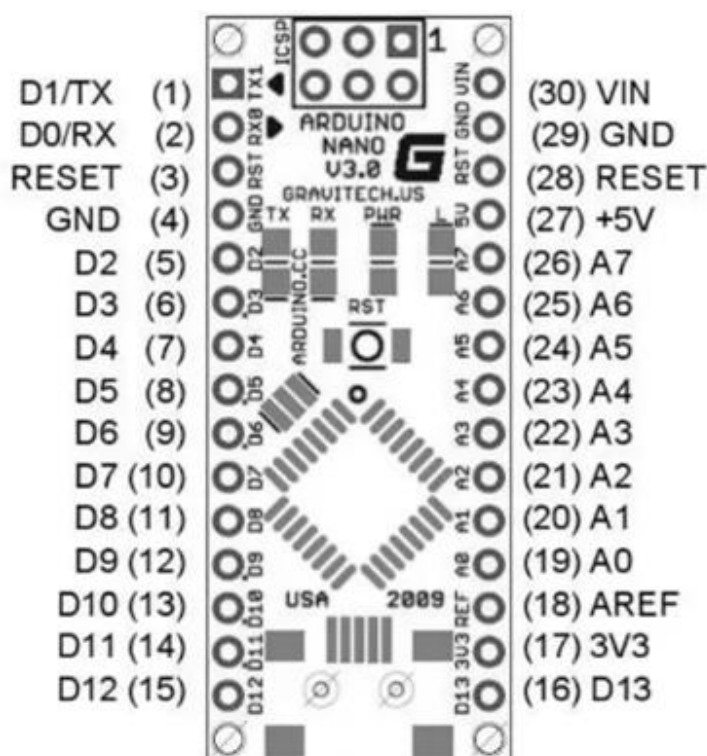


Рисунок 1.8 — Контакти плати Arduino Nano

Програмне забезпечення, розроблене для цієї системи, реалізує кілька ключових функцій налаштування параметрів зчитування, обробку отриманих сигналів, визначення часу проходження імпульсу в обидва боки, а також прийняття логічного рішення щодо активування тієї чи іншої форми попередження. Алгоритм

включає обчислення на основі відомої швидкості поширення звуку в повітрі, що дає змогу визначити точну відстань до найвищої точки транспортного засобу й, відповідно, його габарити.

У структурі програмного коду використано типові функції середовища Arduino IDE зокрема, `digitalWrite()`, яка забезпечує керування станом вихідних пінів, а також `pulseIn()`, що дозволяє зчитувати тривалість імпульсу. На основі цих даних розраховується відстань між сенсором і об'єктом, після чого порівнюється з встановленим порогом. Якщо виявлено, що габарити перевищують допустимий рівень, система активує попереджувальний сигнал наприклад, червоний світлодіод або звуковий зумер. Якщо ж габарити перебувають у безпечному діапазоні, генерується індикатор про допустимість проїзду, наприклад, зелений сигнал або текстове повідомлення на дисплеї.

Технічна реалізація передбачає не лише точність вимірювання, а й стійкість до зовнішніх факторів. Система має зберігати стабільність роботи за наявності вібрацій, запиленості, дощу, перепадів температур, а також у випадку різкої зміни умов навколишнього середовища. Похибка вимірювання не повинна перевищувати ± 2 см, що вважається прийнятним стандартом для систем, що виконують оперативне габаритне сканування. Крім того, враховано енергоефективність, модульну будову та потенціал до подальшого розширення наприклад, додавання бездротових модулів, диспетчерських інтерфейсів або підтримки інтеграції в міську інфраструктуру.

Важливою вимогою стало забезпечення сумісності системи з різними типами транспортних засобів як легкових, так і вантажних. Завдяки універсальності архітектури та гнучкості налаштувань, система здатна адаптуватися до параметрів конкретного маршруту, специфіки дорожнього середовища або навіть вимог замовника. Передбачено можливість конфігурації рівня спрацювання в залежності від типу дороги чи об'єкта наприклад, на в'їзді до тунелю, логістичного центру або залізничного мосту.

У межах реалізації задачі здійснено підключення всіх необхідних апаратних модулів, налагоджено процес передачі сигналів від сенсорів до контролера, створено прошивку, яка охоплює повний цикл опрацювання отриманих даних, а також проведено перевірку на рівні кожного окремого модуля [22]. Інтеграція всіх компонентів у єдину систему дозволила досягти цілісності проєкту, у якому апаратна та програмна частини взаємодіють без затримок і збоїв.

У підсумку, сформульована задача реалізується шляхом поєднання апаратного комплексу на основі Arduino з гнучкою програмною логікою, здатною точно оцінювати габарити транспортного засобу в режимі реального часу, адаптуватися до зовнішніх умов і надійно попереджати водія у разі перевищення встановленого порогу. Система не тільки виконує вимірювання, а й демонструє високий рівень інтеграції, стабільності та потенціалу для масштабування.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГРАМНОЇ І АПАРАТНОЇ ЧАСТИН СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ГАБАРИТІВ АВТОМОБІЛІВ В РУСІ

2.1 Розробка та моделювання алгоритму і програми

Програмна реалізація системи контролю габаритів рухомих автомобілів стала основою її функціонування й забезпечила повноцінну взаємодію між усіма елементами апаратної платформи. З урахуванням ключової вимоги визначення фактичних габаритів транспортного засобу в режимі реального часу програмна логіка була побудована на основі стабільного циклічного алгоритму, який постійно опрацьовує вхідні сигнали з ультразвукових сенсорів та генерує відповідну реакцію [23].

У центрі цього процесу знаходиться принцип роботи ультразвукового сенсора, який використовується як основний засіб вимірювання відстані до найвищої точки транспортного засобу або до іншого об'єкта, який може вказувати на перевищення габаритів [24]. Сенсор спочатку генерує короткий тригерний імпульс, який активує випромінювання звукової хвилі. Ця хвиля поширюється в повітряному середовищі й після відбиття повертається до приймального модуля. Система фіксує час затримки сигналу, розраховує подвійну відстань, поділяє значення навпіл і, враховуючи швидкість поширення звуку в атмосфері, отримує точне значення фактичної відстані до перешкоди [25].

Усі розрахунки відбуваються безпосередньо на контролері Arduino Mega 2560, який виконує роль центрального обчислювального вузла. Реалізація алгоритму здійснена за допомогою мови програмування C/C++ у середовищі Arduino IDE [26]. Код побудовано компактно, структуровано й уніфіковано, що дозволяє не тільки зрозуміло аналізувати логіку функціонування, але й без труднощів модифікувати чи масштабувати функціонал.

Функціонування програми відбувається в режимі постійного циклу, який починається з ініціалізації сенсора, продовжується запуском сигналу, фіксацією часу відгуку, математичним розрахунком відстані та прийняттям рішення про те, чи потрібно активувати систему оповіщення [27]. У разі, якщо виміряні габарити

перевищують встановлене порогове значення, спрацьовує одна з форм індикації. Червоний світлодіод, зумер або інша форма сповіщення, яка налаштовується під конкретну ситуацію.

Важливим аспектом реалізації програми стало врахування факторів навколишнього середовища [28]. Сигнали, що передаються в повітрі, можуть спотворюватися через пил, вологу, сильні вітри або температурні коливання [28], [29]. У зв'язку з цим програмною логікою передбачено кілька рівнів компенсації таких впливів. Використання технік цифрового згладжування, середньоарифметичних обчислень кількох послідовних вимірювань, а також коротких затримок між циклами дозволило суттєво підвищити точність і зменшити кількість хибних спрацювань [30].

Кожна ітерація циклу програмного коду супроводжується контрольованим очікуванням, що дозволяє уникнути ситуацій, коли один імпульс не встигає завершитися, а наступний уже активується [31]. Це надзвичайно важливо в контексті безперервного сканування, особливо коли транспортний потік щільний або коли автомобілі рухаються на високій швидкості.

Код написано з урахуванням принципів масштабованості [32], [33]. Це означає, що програмна структура дозволяє легко додати нові функції без потреби в повній перебудові проєкту. Зокрема, передбачено можливість інтеграції з іншими системами диспетчерськими центрами, дорожніми інформаційними щитами, базами даних реєстрації вантажівок тощо [35]. Використання стандартних інтерфейсів UART, I2C та SPI відкриває широкі можливості для підключення додаткових модулів, включно з бездротовими передавачами, SD-картами для зберігання журналів подій або навіть дисплеями для виведення детальної інформації про габарити [36], [37].

Окрема увага приділяється функціоналу самодіагностики [38], [39]. Якщо сенсор або інший компонент системи вийшов з ладу або дає аномальні показники, алгоритм уміє розпізнавати ці відхилення й переходити у стан очікування з відповідним повідомленням [40].

У структурі коду також передбачено змінні, які відповідають за динамічне налаштування порогових значень. Це означає, що система не залежить від жорстко зафіксованої величини допустимих габаритів. Навпаки, порогові значення можуть бути змінені або під час компіляції програми, або за допомогою зовнішніх команд через інтерфейс. Це особливо актуально в умовах змінного середовища, коли, наприклад, висота моста на різних ділянках може варіюватися або коли різні маршрути передбачають різний рівень допустимості. Блок-схему загального алгоритму роботи програмно-апаратної системи контролю габаритів рухомих автомобілів зображено на рисунку 2.1.

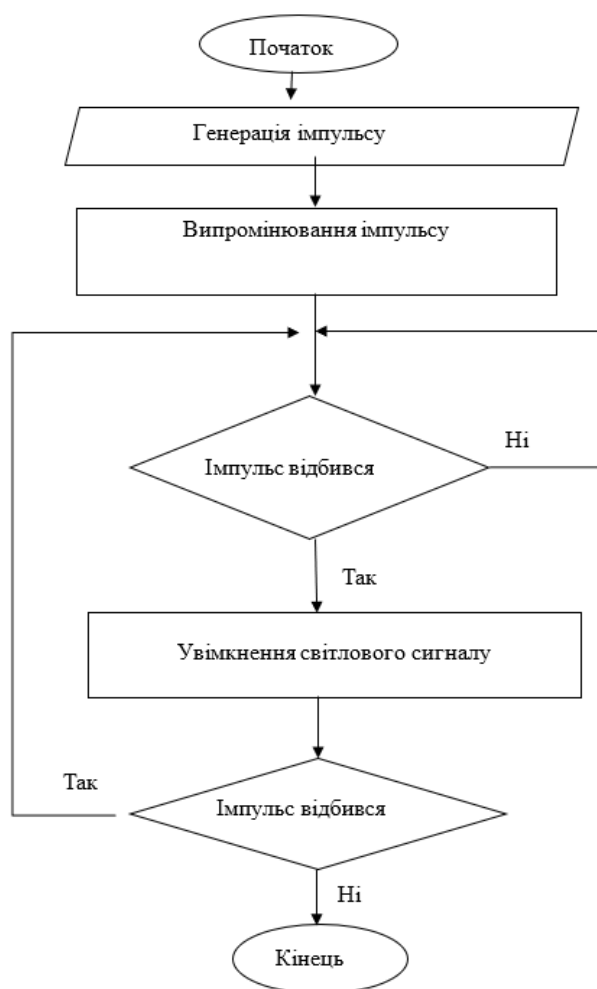


Рисунок 2.1 — Блок-схема загального алгоритму роботи програмно-апаратної системи контролю габаритів рухомих автомобілів

Під час тестування система продемонструвала високу стабільність, точність та швидкодію. Усі спрацювання відбувались у режимі реального часу, без затримок або зависань. Усі індикатори реагували миттєво й наочно, а візуальне оформлення відповідало вимогам інтуїтивного сприйняття. Це особливо важливо, коли водій повинен прийняти рішення буквально за кілька секунд до потенційної небезпеки.

Загалом, програмна частина сформувала основу всієї системи. Саме завдяки правильно спроектованому алгоритму вдалося досягти гнучкості, точності, швидкодії та простоти підтримки. Система стала здатною до масштабування, адаптації та швидкого налаштування під будь-який інфраструктурний об'єкт, де необхідний контроль за дотриманням габаритних обмежень. Реалізований підхід дозволяє інтегрувати проєкт не лише як окремий технічний пристрій, а й як елемент більшої системи «розумної» дорожньої інфраструктури, орієнтованої на попередження загроз і зменшення кількості зіткнень на дорогах.

Важливу роль програмна логіка відіграє не лише як технічний інструмент, а й як засіб комунікації між системою та водієм. Саме через код реалізується принцип «людяної» взаємодії, своєчасне попередження, логічно вивірене реагування та інтуїтивна передача повідомлень у зрозумілому форматі. Завдяки цьому вдається не лише забезпечити фізичну безпеку, а й створити відчуття впевненості в роботі системи з боку користувача, що в умовах стресових дорожніх ситуацій має важливе значення.

З огляду на динаміку розвитку транспортної інфраструктури, розроблена програмна частина також має потенціал до подальшої еволюції. У перспективі вона може бути доповнена інтелектуальними модулями, що здатні вивчати характерні сценарії руху на певних ділянках, формувати аналітику, реагувати на порушення не лише за фактом, а й на випередження. Це відкриває шлях до застосування адаптивних сценаріїв обробки сигналів залежно від інтенсивності трафіку, часу доби або навіть погодних умов.

Водночас структура коду залишається відкритою для адаптацій - нові типи сенсорів, додаткові рівні діагностики, підтримка розпізнавання транспортних

засобів, GPS-інтеграція чи можливість віддаленого моніторингу усі ці елементи можуть бути впроваджені без кардинального переписування ядра програми. Це робить систему не лише ефективною у поточному вигляді, а й готовою до викликів, які можуть постати в умовах розбудови інтелектуальної транспортної екосистеми.

Зрештою, програмна частина стала саме тим елементом, який з'єднує між собою апаратне середовище, алгоритмічну логіку, вимоги безпеки та людський фактор. Її гнучкість, надійність і передбачуваність дають змогу системі працювати не ізольовано, а як частина ширшого, масштабного бачення безпеки дорожнього руху, де кожен байт коду це вклад у збереження життя, зниження ризиків і підвищення ефективності сучасної інфраструктури.

2.2 Проектування та моделювання апаратної частини

Апаратна частина системи контролю габаритів рухомих автомобілів сформована на базі мікроконтролера Arduino Mega 2560 та ультразвукового датчика HC-SR04. Ця комбінація вже зарекомендувала себе як надійна платформа для реалізації систем реального часу з високою точністю вимірювань. У межах проекту така апаратна структура дала змогу сформувати компактний, енергоефективний і водночас функціонально гнучкий пристрій, здатний працювати в широкому діапазоні умов.

Основу апаратного комплексу становить ультразвуковий датчик, принцип роботи якого базується на випромінюванні коротких імпульсів звуку у повітрі та вимірюванні часу, за який сигнал повертається до приймача після відбиття від об'єкта. За допомогою цього механізму система визначає найвищу точку транспортного засобу, що дозволяє далі розрахувати його габарити у вертикальній площині. У контексті цього проекту ультразвуковий сенсор виконує роль «очей» системи, які безперервно сканують простір і передають інформацію для обробки.

Мікроконтролер Arduino Mega 2560 обрано не випадково. Його технічні характеристики забезпечили достатню кількість цифрових входів/виходів, великий обсяг пам'яті для зберігання коду, а також підтримку одночасного підключення

кількох периферійних модулів. Arduino має стабільну архітектуру, добре документовану екосистему та високу сумісність із різними типами сенсорів, що значно полегшило процес інтеграції компонентів та налагодження функціоналу. Завдяки наявності апаратної підтримки інтерфейсів UART, I2C та SPI вдалося забезпечити перспективу розширення проєкту як у напрямі бездротового зв'язку, так і в бік підключення додаткових сенсорів або дисплеїв.

До структури апаратної частини також включено резистори, які забезпечують коректне узгодження сигналів між датчиком та мікроконтролером. Їхнє застосування дозволило уникнути перевантажень та забезпечити надійну роботу вхідних пінів Arduino. Крім того, в проєкті було використано макетну плату, яка надала можливість швидко реалізувати прототип, організувати зручне підключення елементів і протестувати різні варіанти побудови схеми без використання пайки. З'єднувальні дроти стали основним каналом передачі сигналів між компонентами, що забезпечило фізичну гнучкість при розміщенні модулів у просторі.

Живлення системи організовано через стандартне джерело 5V, що відповідає вимогам як Arduino, так і датчика HC-SR04. За потреби можливе підключення як через USB, так і через автономне джерело, наприклад, батарейний блок або зовнішній стабілізатор. Така гнучкість у виборі способу живлення відкрила можливість використання системи як у стаціонарних, так і в мобільних умовах наприклад, на виїзних постах контролю або тимчасових об'їздах.

Особливу увагу приділено реалізації індикаторної частини. У межах проєкту передбачено застосування світлодіодів, які інформують водія про статус проїзду. Якщо виміряні габарити перебувають у межах допустимих, активується зелений індикатор. У випадку перевищення вмикається червоний сигнал або зумер, який привертає увагу до наявної небезпеки. Такий підхід дає змогу формувати зворотний зв'язок, який водій може швидко і чітко інтерпретувати, не витрачаючи час на аналіз.

З технічної точки зору схема підключення виявилася інтуїтивно зрозумілою. Ультразвуковий сенсор було з'єднано з Arduino наступним чином. Тригерний контакт TRIG під'єднано до цифрового піну, наприклад, D9, а приймальний контакт ECHO до D10. Живлення здійснюється через VCC (5V), а заземлення через GND. Така структура з'єднання забезпечила стабільність сигналів, мінімізувала втрати та дозволила отримувати стабільні, повторювані результати під час численних ітерацій вимірювання.

Для покращення точності розрахунків в апаратну схему введено можливість компенсації похибок. За допомогою простих технічних рішень, таких як фіксація датчика на амортизуючому кріпленні або екранування проводів, вдалося знизити вплив механічних вібрацій та електромагнітних завад, що могли виникати поблизу джерел живлення або високовольтних ліній. Це, у свою чергу, дозволило значно підвищити стабільність системи та знизити імовірність помилкового спрацювання.

Окремо варто відзначити адаптивність конструкції кожен компонент розміщено так, щоби забезпечити легкий доступ у разі потреби заміни або обслуговування. Компоненти не потребують складної фіксації, і вся апаратна частина легко масштабована. Наприклад, можна додати ще один ультразвуковий сенсор з іншого боку або зверху, щоб розширити кут огляду, підключити дисплей або GSM-модуль для передавання даних на центральний сервер або навіть реалізувати систему автоматичного обліку перевищень.

Впровадження такої апаратної частини в межах проєкту забезпечило не лише базову функціональність, а й сформувало платформу для подальшого вдосконалення. Усі компоненти взаємодіють узгоджено, без конфліктів, а стабільність живлення й точність сигналів дозволили досягти необхідної точності визначення габаритів, навіть у складних умовах наприклад, при мінливій температурі, високій вологості або значному рівні пилу в повітрі.

Загалом, апаратна частина стала фундаментом системи, яка в подальшому набуває інтелектуальних функцій завдяки програмному забезпеченню. Її модульна побудова, технічна надійність, простота інтеграції та адаптація до змінних умов

експлуатації підтвердили доцільність обраного рішення. Апаратна реалізація дозволила створити фізично компактний, технологічно зрілий та експлуатаційно зручний прототип, здатний до застосування в умовах реального дорожнього середовища.

3 ПРОЕКТУВАННЯ АПАРАТНИХ СКЛАДОВИХ

3.1 Структурна схема

У межах створення повнофункціональної системи контролю габаритів рухомих автомобілів було змодельовано структурну схему, що є логічною основою всієї апаратної архітектури. Ця схема стала базовим візуальним та концептуальним інструментом для узгодження всіх внутрішніх зв'язків між компонентами, а також для забезпечення загальної цілісності роботи системи в процесі її проектування, складання та тестування. Саме структурна схема дозволила наочно уявити, як саме інформація переміщується між елементами, у якій послідовності активуються вузли, як реагують виконавчі механізми, і яким чином реалізується логіка взаємодії апаратної та програмної частини.

У центрі схеми розташовано мікроконтролер Arduino Mega 2560 технічне «ядро» системи, яке координує всі обчислювальні процеси, зчитує вхідні сигнали та формує відповідні вихідні реакції. Саме через Arduino здійснюється управління всіма периферійними компонентами. Він є своєрідним «мозковим центром», який безперервно опрацьовує дані з сенсорів і приймає рішення в реальному часі. Цей елемент відповідає за те, щоб жоден сигнал не залишився без обробки, а система своєчасно реагувала на будь-яке відхилення від норми.

До мікроконтролера підключено ультразвукові сенсори, які фіксують наявність об'єкта у контрольній зоні. Вони випромінюють промені, що, відбиваючись від об'єкта, повертаються до приймального елемента. Після обробки сигналу в Arduino визначається факт присутності транспортного засобу та його габарити в зоні сканування. Ультразвукові датчики, які працюють на іншому фізичному принципі, вимірюють фактичну відстань до верхньої частини автомобіля. Це дозволяє більш точно й комплексно оцінити, чи відповідає транспортний засіб установленим обмеженням.

Результати роботи сенсорів надходять до центрального блоку обробки, де відбувається їх аналіз і зіставлення з заздалегідь встановленими пороговими значеннями. Якщо габарити транспортного засобу перевищують допустимі межі,

система формує попереджувальний сигнал. Цей сигнал подається на один із виходів мікроконтролера, з якого живиться або червоний світлодіод, або звуковий сигналізатор. Завдяки цьому забезпечено оперативне інформування водія про небезпеку. Така логіка гарантує швидку реакцію системи, що є критично важливою в умовах руху транспорту на швидкості, коли час на ухвалення рішення обмежений.

Окрім основних сенсорів та індикаторів, структурна схема включає також допоміжні компоненти, що забезпечують стабільність та захищеність системи. Зокрема, вхідні сигнали проходять через резистори, які знижують імовірність перенапруги або короткого замикання. У схемі також передбачено можливість використання діодів для захисту від зворотного струму, що може виникнути при неправильному підключенні джерела живлення або через зовнішні електромагнітні впливи. Такі елементи часто залишаються «невидимими» на перший погляд, але саме вони забезпечують довговічність і безпечну експлуатацію всієї системи.

Живлення системи реалізовано через стабілізоване джерело постійної напруги 5 Вольт. У структурній схемі окремо позначено всі лінії живлення, включно з подачею напруги на мікроконтролер, сенсори, індикатори та допоміжні вузли. Зважаючи на можливість роботи системи в умовах нестабільної електромережі, до структури може бути включено фільтри або модулі резервного живлення, що підвищують надійність у випадку раптового зникнення напруги.

Структурна схема також передбачає чітку топологію з'єднань між компонентами. Усі сигнальні траси, що з'єднують сенсори з мікроконтролером, розташовано з урахуванням мінімізації перешкод та взаємного впливу. Це дозволило уникнути паразитних шумів, перехресного наведення та збоїв у передачі даних. Всі провідники підібрано за довжиною та перерізом так, щоб втрати напруги були мінімальними. У випадку великої відстані між елементами передбачено використання екранізованих дротів, що додатково знижують рівень електромагнітного фону.

У важливому для системи місці контрольній арці реалізовано не лише фізичну конструкцію, яка обмежує габарити, а й пасивний елемент, що допомагає покращити точність вимірювань. Поверхня арки використовується як зона відбиття для ІЧ або ультразвукових сигналів. Завдяки жорсткій фіксації та спеціальній геометрії арки вдалося досягти стабільного зворотного сигналу, навіть у випадках зміни погодних умов або наявності пилу в повітрі.

Модель, що відображена у структурній схемі, залишається відкритою для масштабування. Вона допускає підключення додаткових сенсорів зокрема з боків або ззаду транспортного засобу що дозволяє створити повноцінну просторову картину його габаритів. Також можлива інтеграція з зовнішніми системами моніторингу або камерами відеоспостереження, які можуть використовувати дані з контролера для підтвердження або уточнення результатів вимірювання.

Загальна архітектура схеми демонструє, що навіть за допомогою відносно простих компонентів можна досягти високого рівня функціональності, надійності та стабільності. При цьому структура залишається достатньо гнучкою, щоби її можна було адаптувати до конкретних потреб. Чи то автономний пост на трасі, чи інтеграція в інтелектуальну систему дорожнього руху великого міста. Структурну схему зображено на рисунку 3.1.

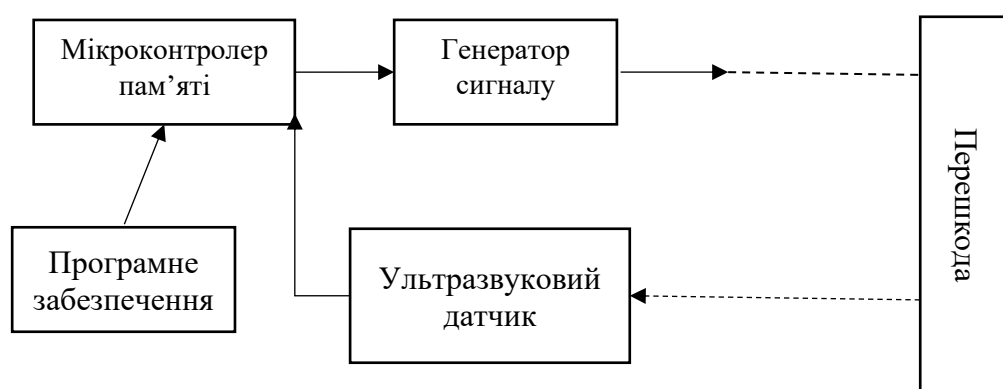


Рисунок 3.1 — Структурна схема

У результаті, структурна схема слугує не лише технічною картою для монтажу, а й відображенням логіки роботи всієї системи. Вона стала відправною точкою для подальшого програмного наповнення, фізичної реалізації й тестування,

а також орієнтиром для оцінки працездатності кожного вузла під час діагностики. Завдяки продуманому і послідовному підходу до її проєктування вдалося сформувати конструкцію, яка не лише працює, а й дозволяє легко масштабувати, обслуговувати й удосконалювати систему в майбутньому.

3.2 Функціональна схема та взаємодія апаратних складових системи

У процесі створення системи контролю габаритів транспортних засобів сформовано детальну функціональну схему, що відображає логічну послідовність взаємодії апаратних та програмних компонентів. Вона стала концептуальною основою для проєктування й реалізації пристрою, який здатен з високою точністю і в режимі реального часу оцінювати, чи відповідає транспортний засіб встановленим габаритним обмеженням. Візуальне та структурне представлення функціональної схеми дозволило не лише впорядкувати етапи взаємодії між блоками, а й оптимізувати порядок обробки сигналів та прийняття рішень у кожній конкретній ситуації.

На початку функціонального ланцюга знаходиться джерело живлення, яке подає стабілізовану напругу до всіх елементів системи. Його роль не обмежується лише живленням від його стабільності залежить чіткість роботи датчиків, коректність обробки сигналів та загальна надійність всієї системи. Використання фільтрів та захисних елементів у складі джерела живлення дозволило мінімізувати ризики, пов'язані з перенапругою, імпульсними завадами або коливанням напруги в польових умовах. У багатьох випадках система встановлюється поблизу проїжджої частини, де можливі інтерференції від зовнішнього електричного обладнання, тому забезпечення електричної стабільності критичний чинник, що впливає на загальну працездатність.

Далі в ланцюгу розміщено ультразвуковий датчик, який виконує ключову функцію виявлення габаритів транспортного засобу. Його активація відбувається через пін TRIG, на який Arduino подає короткий імпульс тривалістю кілька мікросекунд. Це активує випромінювач, що генерує спрямовану ультразвукову

хвилю, яка поширюється у повітряному середовищі до перешкоди. Об'єктом відбиття в більшості випадків є верхня точка транспортного засобу або встановлена на даху деталь, що виступає за габаритні межі. Після того як хвиля відбивається, вона повертається назад до приймального елемента на пін ЕСНО, де Arduino вимірює тривалість сигналу затримки.

Цей часовий інтервал, з урахуванням подвоєної відстані проходження звукової хвилі (туди і назад), далі обробляється математично. Програмний модуль контролера, використовуючи зашиті в код постійні значення швидкості звуку в повітрі (зазвичай 343 м/с при 20°C), виконує обчислення відстані. Варто зазначити, що система не просто зчитує поточну відстань, а співвідносить її з критичним граничним порогом, який було попередньо визначено відповідно до інфраструктурного обмеження наприклад, висоти мосту, арки або тунелю.

Після порівняння результату вимірювання з заданим порогом активується блок логічного прийняття рішення. Якщо отримане значення менше за поріг, мікроконтролер подає команду на спрацювання відповідного індикатора це може бути червоний світлодіод високої яскравості або зумер із гучним звуковим сигналом. Такий варіант подання сигналу обрано з міркувань ергономіки та швидкого сприйняття водій, перебуваючи за кермом, повинен одразу зрозуміти, що проїзд із поточними габаритами є неможливим. В іншому випадку, якщо габарити не перевищують обмеження, система або залишає індикатори вимкненими, або вмикає зелений світлодіод, що вказує на безпечну висоту проходу.

Варто підкреслити, що в основі функціональної схеми закладено не лише логіку «так/ні», а й механізми адаптації до поточних умов. Наприклад, у разі виявлення нестабільного сигналу, зумовленого перешкодами, коливанням температури чи надмірною вологістю, система здатна виконати повторне вимірювання для підтвердження результату. Така логіка дозволяє уникнути хибних спрацювань та забезпечити більшу достовірність аналізу ситуації.

Функціональна схема також враховує часові затримки, які є необхідними для повноцінної роботи сенсорів. Після кожного циклу вимірювання реалізовано коротку паузу, яка забезпечує відновлення сенсора, зменшення паразитного акустичного відлуння та синхронізацію з наступним імпульсом. Цей підхід дозволяє підтримувати стабільність вимірювань навіть за умов високої інтенсивності руху або у випадках, коли транспортні засоби проходять контрольну зону з мінімальними інтервалами. Функціональну схему зображено на рисунку 3.2.

З технічної точки зору, функціональна схема має чітку модульну побудову. Кожен блок живлення, сенсорний модуль, мікроконтролер, логіка обробки, індикатори може бути легко замінений або оновлений без необхідності повного демонтажу системи. Завдяки такому підходу досягнуто високої сервісної зручності та можливості модернізації. Наприклад, у майбутньому можна інтегрувати GPS-модуль для геоприв'язки місця спрацювання або GSM-модем для надсилання сповіщення до диспетчерського центру.

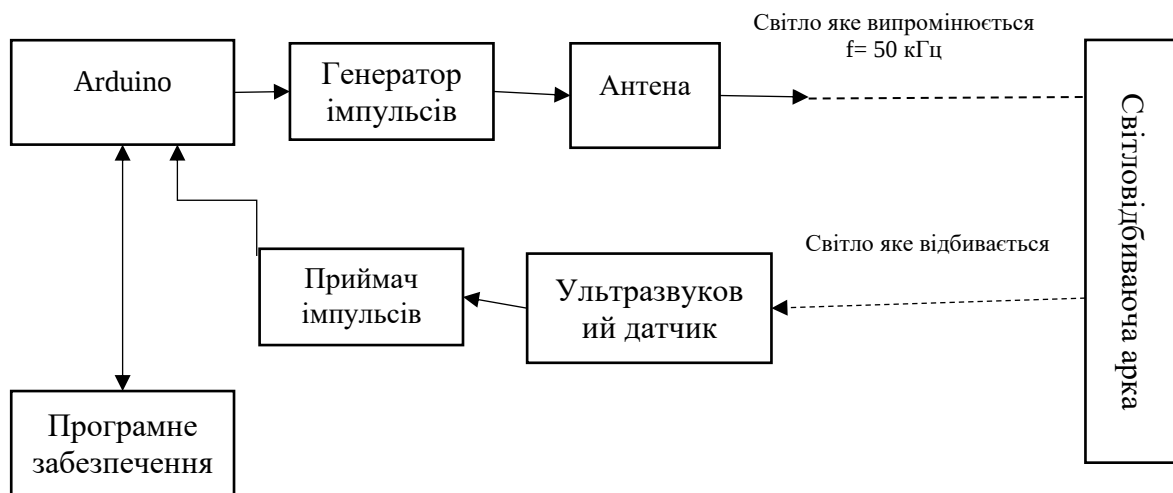


Рисунок 3.2 — Функціональна схема

Важливо, що функціональна схема може адаптуватися не лише до різних типів об'єктів, а й до умов експлуатації. Наприклад, у випадку монтажу на відкритій місцевості передбачено можливість додавання герметичних елементів, температурних компенсаторів та навіть метеорологічного модуля, що дозволить адаптувати логіку роботи залежно від поточних погодних умов.

Загалом, функціональна схема системи контролю габаритів демонструє не лише логічну завершеність, а й високу готовність до практичного впровадження. Вона охоплює весь цикл обробки від запуску імпульсу до прийняття рішення і реалізована таким чином, щоб бути водночас простою, зрозумілою та надійною в експлуатації. У поєднанні з гнучкою архітектурою та можливістю масштабування така схема стає основою для побудови сучасної інтелектуальної системи безпеки в транспортному середовищі.

3.3 Розробка схеми електричної принципової

Електрична принципова схема програмно-апаратної системи контролю габаритів рухомих автомобілів є результатом комплексного інженерного аналізу, у межах якого визначено, як кожен окремий компонент системи взаємодіє з іншими, яку роль виконує в логіці контролю, та які умови експлуатації вимагають особливої уваги на етапі проєктування. Сформована схема виконує не лише технічну функцію з'єднання елементів, а й забезпечує логічну завершеність усіх внутрішніх процесів, надаючи змогу досягти точності, стабільності та надійності.

Центральне місце в апаратній структурі посідає мікроконтролер Arduino Mega 2560, який обрано не випадково. Цей контролер має велику кількість цифрових та аналогових входів/виходів, чотири UART-порти для комунікації з іншими пристроями, апаратну підтримку протоколів I2C та SPI, значний обсяг пам'яті для зберігання прошивки та стабільну платформу для виконання логіки в реальному часі. У межах проєкту Arduino Mega 2560 виконує функцію обчислювального ядра - зчитує сигнали з сенсорів, виконує необхідні розрахунки, приймає рішення та активує індикатори або інші виконавчі механізми. Мікроконтролер Arduino Mega 2560 зображено на рисунку 3.3.

Живлення системи реалізовано за допомогою зовнішнього блока живлення, який перетворює вхідну напругу 12 В на стабілізовані 5 В. Ця напруга подається на живлення Arduino, а також використовується для інших компонентів, зокрема сенсорів, дисплеїв, модулів індикації й комунікацій. Конструктивно джерело

живлення підбирається з урахуванням максимальної сумарної потужності всіх компонентів із запасом на випадки короткотривалого перевантаження, пікових навантажень або впливу низькотемпературного середовища.

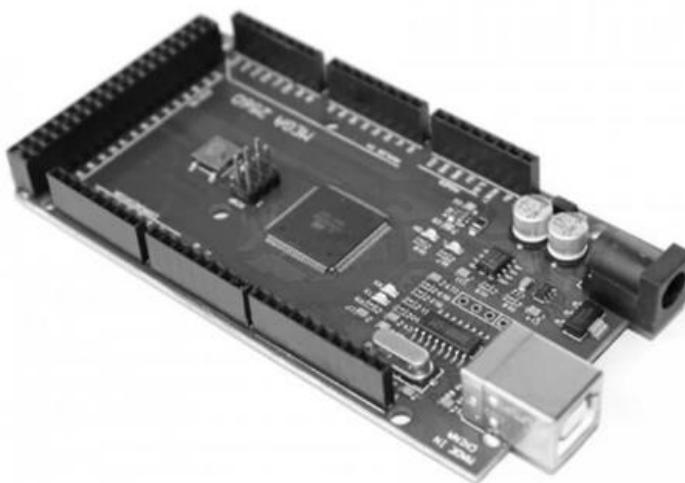


Рисунок 3.3 — Arduino Mega 2560

Особливу увагу приділено вибору сенсорної складової. Для вимірювання габаритів транспортного засобу застосовано ультразвукові датчики типу HC-SR04, які забезпечують високу точність і надійність при фіксації відстані до об'єкта. Принцип дії такого сенсора базується на генерації ультразвукової хвилі, яка після зіткнення з об'єктом повертається назад, а час її подорожі використовується як ключовий параметр для обчислення відстані. У проекті передбачено можливість використання кількох датчиків для сканування простору під різними кутами це забезпечує більш комплексне охоплення та дозволяє враховувати не лише максимальну висоту транспортного засобу, а й можливі виступаючі елементи на його даху.

Сенсори підключаються до цифрових пінів Arduino, які конфігуруються як входи (ECHO) і виходи (TRIG). Кожне вимірювання ініціюється коротким імпульсом, а відгук обробляється за допомогою функції `pulseIn()`, яка точно фіксує тривалість сигналу. Така послідовність дозволяє досягти вимірювальної похибки не більше ± 2 см, що є прийнятним значенням для завдань, пов'язаних із габаритним контролем у дорожній інфраструктурі.

Окрім ультразвукових сенсорів, у системі реалізовано використання ультразвукових датчиків, які дають змогу визначати сам факт присутності об'єкта в контрольованій зоні. У конструкції використано передавачі (ІЧ-LED) та приймачі (TSOP4838), які працюють у парі. При перериванні променя фіксується подія входу об'єкта до зони моніторингу. Інформація від цих датчиків слугує тригером для активації основного циклу обробки даних, що знижує кількість зайвих вимірювань, економить ресурси та забезпечує додаткову стабільність.

Важливою складовою електричної схеми є підсистема індикації. Вона реалізована за допомогою світлодіодів та зумера. Зелений світлодіод сигналізує про відповідність габаритів нормам, а червоний або звуковий сигнал повідомляє про перевищення. Подача сигналу виконується без затримки, одразу після завершення обчислень. Візуальна індикація розміщується безпосередньо в полі зору водія наприклад, на інформаційному щиті або арковій конструкції, що дозволяє забезпечити своєчасну реакцію.

Інтеграція бездротових модулів, зокрема ESP8266 або ESP32, відкрила нові можливості для системи - передача даних у реальному часі, збереження історії вимірювань, побудова графіків та віддалене адміністрування. Ці модулі спілкуються з Arduino через UART-інтерфейс, а за допомогою Wi-Fi з'єднуються з локальною мережею або хмарним сервером. Додатково реалізовано можливість зберігання даних на SD-карті або модулі EEPROM для архівування подій.

З точки зору захисту, електрична схема включає низку компонентів, які забезпечують безпечну експлуатацію системи в польових умовах. Резистори використовуються для обмеження струму в лініях сигналу та живлення. Діоди для запобігання зворотному струму та випадків неправильного підключення. Конденсатори відіграють роль фільтрів, стабілізуючи напругу та згладжуючи імпульсні завади.

Кнопки керування, виведені на зовнішню панель або корпус, дають змогу виконувати ручне тестування або скидання системи. У процесі розробки закладено можливість самодіагностики наприклад, система може подавати сигнали про

несправність одного з датчиків, вихід за допустимий діапазон температури або втрату зв'язку з основним модулем.

На основі всіх вищезазначених рішень створено принципову електричну схему, яка відображає логіку підключення, живлення, взаємодії та контролю між усіма елементами. Кожен блок сенсорний, обчислювальний, виконавчий, інтерфейсний і захисний працює злагоджено, відповідно до заданої послідовності. Це дало змогу досягти необхідної стабільності роботи, оперативності реагування на зміну ситуації на дорозі та точності виявлення потенційно небезпечних габаритів.

Реалізована схема не є закритою або фіксованою вона має відкриту архітектуру, що дозволяє розширювати функціонал, підключати нові сенсори, дисплеї, системи зв'язку або діагностики. Такий підхід забезпечує гнучкість у пристосуванні системи до нових викликів, змін у регуляторному середовищі або технічних умовах дорожньої інфраструктури.

У підсумку, електрична принципова схема системи контролю габаритів рухомих автомобілів стала не лише технічним кресленням, а й основою для створення інтелектуального, енергоефективного й надійного пристрою, який здатен працювати автономно, у реальному часі, з мінімальним втручанням оператора й високим ступенем точності.

4 ТЕСТУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ

4.1 Методика тестування та вимірювань

Процес перевірки працездатності розробленої системи контролю габаритів транспортних засобів охоплював кілька послідовних етапів і передбачав всебічне оцінювання функціональних можливостей як окремих модулів, так і системи в цілому. Головна мета полягала в тому, щоб переконатися в точності, стабільності та надійності вимірювань у реальних умовах експлуатації, а також виявити потенційні слабкі місця в роботі апаратної та програмної частин. Було важливо не лише зібрати статистичні дані, а й проаналізувати поведінку системи за різних сценаріїв, включаючи вплив несприятливих зовнішніх чинників.

На початковій стадії тестування виконувалася перевірка кожного з ключових компонентів окремо. Ультразвукові сенсори під'єднувалися до мікроконтролера, після чого проводилася перевірка їхньої здатності стабільно генерувати та приймати сигнали в межах робочих відстаней. Особливу увагу приділяли швидкості реакції на зміну положення об'єкта, наявності паразитних коливань, а також відгуку системи у разі виходу за межі контрольного значення. Коли було підтверджено правильність взаємодії між апаратною та програмною частинами, розпочався наступний етап — випробування в лабораторних умовах.

Для симуляції транспортного потоку використовувалися макети транспортних засобів різної висоти, які поступово переміщувалися через встановлену тестову арку, обладнану системою датчиків. Ультразвукові хвилі спрямовувалися в напрямку об'єкта, після чого проводився збір відбитого сигналу та розрахунок відстані. Вимірювання здійснювалися на проміжках від 0,5 до 5 метрів з інтервалом у 0,5 метра. Для кожного положення об'єкта проводилося не менше десяти послідовних вимірів, що дозволило отримати усереднені значення та обчислити похибку. Аналіз результатів продемонстрував, що система підтримує стабільну точність із максимальною відхилкою, яка не перевищувала ± 2 см. При цьому було виявлено, що за умови зміни кута розміщення датчиків або відхилення хвиль від гладкої поверхні можуть виникати незначні коливання результатів, однак

ці помилки піддавалися програмній компенсації за допомогою алгоритму згладжування.

Після успішних лабораторних випробувань система була змонтована на справжню арку для практичного тестування в умовах відкритої місцевості. Завданням цього етапу було оцінити стабільність роботи в умовах змінного середовища. При різному освітленні, у вологому повітрі, за наявності вітру, туману або опадів. Тестування охоплювало цілий спектр реальних транспортних засобів — від легкових авто до вантажівок і мікроавтобусів. Спостереження фіксували як точність вимірювань, так і поведінку системи за межами ідеальних умов. У ясну погоду результативність пристрою відповідала лабораторним даним. В умовах дощу та туману фіксувалося зниження точності приблизно на 5%, що було зумовлено розсіюванням ультразвукових хвиль у водяній суспензії. Незважаючи на це, система залишалася придатною для контролю, навіть при зниженні точності, граничні значення продовжували визначатися з припустимою похибкою.

У процесі тестування було виявлено, що основними факторами, які впливають на точність роботи, є зміщення кута встановлення сенсора, присутність шумів від інших джерел ультразвуку, а також механічні коливання арки, на які кріпляться сенсори. Щоб зменшити вплив цих чинників, було внесено низку оптимізацій до програмного коду. Зокрема, реалізовано алгоритм усереднення значень та вилучення «аномальних» даних, які не відповідають очікуваному профілю. Окрім цього, положення датчиків було скориговано вручну, що також дало змогу досягти стабільніших результатів у повторюваних випробуваннях. Завдяки зазначеним заходам система продемонструвала помітне зниження розкиду показників та підвищення загальної точності оцінки габаритів.

Отримані результати дозволяють стверджувати, що розроблений пристрій ефективно виконує своє основне завдання — фіксацію порушення габаритних обмежень — навіть за складних експлуатаційних умов. Ультразвукові датчики виявилися достатньо точними, щоб надавати достовірну інформацію в режимі реального часу. Програмна частина пристрою продемонструвала високу

швидкодію та гнучкість налаштувань, що уможливило адаптацію до різних умов. Завдяки цьому система може бути впроваджена на ділянках доріг з обмеженням висоти, забезпечуючи превентивне попередження водіїв про потенційну небезпеку. Графік залежності похибки вимірювання від відстані зображено на рисунку 4.1.

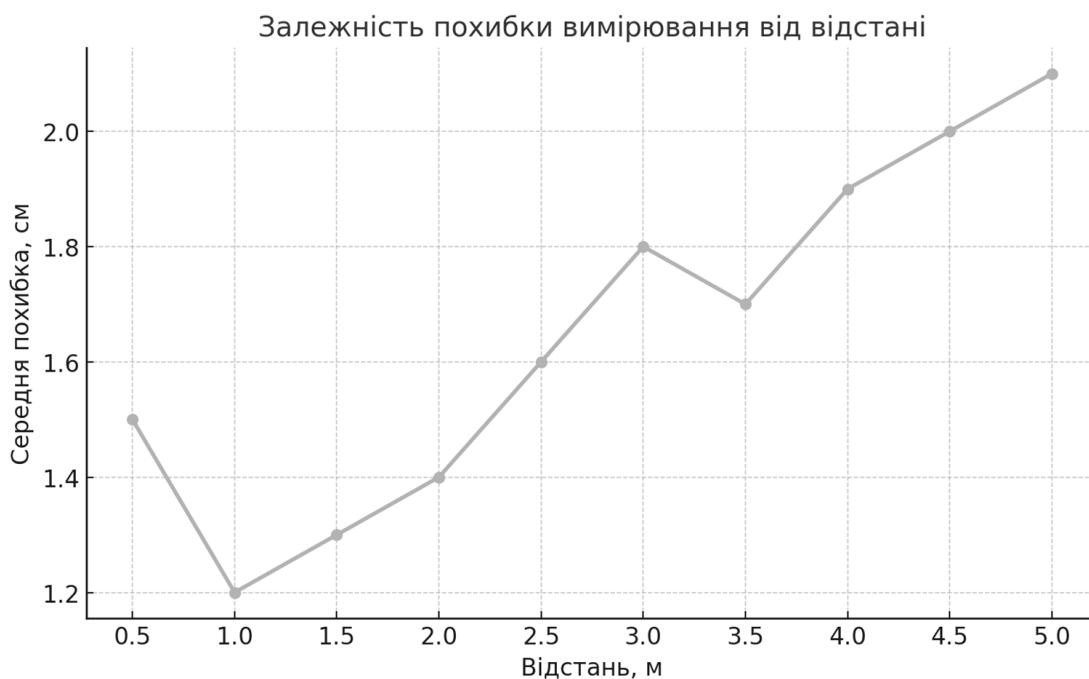


Рисунок 4.1 — Графік залежності похибки вимірювань від відстані

Узагальнюючи всі етапи тестування, можна констатувати, що створена система контролю габаритів демонструє високу точність, надійність та готовність до реального використання. Її застосування в транспортній інфраструктурі здатне не лише зменшити ризики дорожньо-транспортних пригод, а й підвищити загальний рівень автоматизації та безпеки на дорогах.

4.2 Аналіз результатів функціонального випробування

Методика, яка застосовується для тестування та проведення вимірювань у межах оцінки ефективності роботи пристрою контролю габаритів транспортних засобів, передбачає комплексний, поетапний підхід. Такий підхід дозволяє забезпечити всебічну перевірку точності, чутливості, стабільності та адаптивності

системи в умовах, що максимально наближені до реальних сценаріїв експлуатації. Особлива увага приділяється створенню контрольованого середовища, у якому можливо з високою достовірністю зафіксувати результати функціонування пристрою та проаналізувати їхню відповідність технічним вимогам.

Підготовка до тестування починається з налаштування випробувального стенду, де встановлюється мікроконтролер Arduino з підключеним ультразвуковим сенсором HC-SR04. Цей сенсор є базовим елементом вимірювальної частини системи, оскільки саме він фіксує відстань до об'єкта на основі аналізу часу проходження звукового імпульсу. Для отримання точних результатів важливо забезпечити правильне положення сенсора відносно об'єкта вимірювання, з урахуванням кута падіння та відбиття ультразвукових хвиль. Монтаж усіх компонентів здійснюється на твердій горизонтальній поверхні для уникнення перекосів, а сама арка, що імітує контрольну споруду, фіксується нерухомо.

Перед початком вимірювального процесу проводиться початкове калібрування пристрою. Зокрема, фіксуються нульові значення, перевіряється працездатність сенсорів та зчитування сигналів, а також виконується кілька пробних вимірів на відомих відстанях для визначення системної похибки. Це дозволяє усунути вплив початкових неточностей, пов'язаних з можливими апаратними або програмними затримками, та забезпечити однаковість результатів у подальшому.

Основна частина тестування полягає у вимірюванні габаритів об'єктів, які рухаються під аркою. Для цього використовуються моделі транспортних засобів або фізичні об'єкти, висота яких регулюється у межах від 1 до 5 метрів із кроком 0,5 м. У кожній точці фіксується не менше десяти вимірювань, що дає змогу розрахувати середнє значення, стандартне відхилення та оцінити точність вимірювань. Особливий акцент робиться на прикордонних значеннях — тобто ситуаціях, коли габарити транспортного засобу перебувають близько до максимально допустимих. У таких випадках навіть невелика похибка може призвести до неправильного рішення щодо проїзду.

Під час тестування проводиться аналіз поведінки системи у режимі реального часу. Програмна частина функціонує в циклічному режимі, і важливо визначити, наскільки швидко вона здатна реагувати на зміну вхідних параметрів. Фіксується час затримки між моментом виявлення об'єкта і активацією сигнального індикатора. Цей параметр дозволяє оцінити загальну чутливість системи і швидкість обробки інформації. Визначається також частота помилкових спрацьовувань — ситуацій, коли система реагує на відсутній або незначний об'єкт, а також випадки, коли небезпека не була виявлена вчасно.

Окремо оцінюється вплив зовнішніх чинників на точність вимірювання. Зокрема, проводиться тестування в умовах різної освітленості, змін температури повітря, наявності вологи та шуму. Для імітації реальних погодних умов використовується штучний туман, вентиляційні потоки, а також звукові генератори. Це дозволяє змодельовати типові умови руху транспорту — наприклад, у нічний час, у дощову погоду або поблизу інших джерел звуку, таких як проїжджаючі вантажівки. Отримані в таких умовах результати порівнюються з лабораторними, що дозволяє зробити висновки про стійкість системи до факторів навколишнього середовища.

Вимірювання фіксуються у таблицях із зазначенням усіх параметрів, таких як дата, температура повітря, вологість, модель транспортного об'єкта, реальна висота, виміряна відстань, кількість спрацьовувань індикатора, час затримки. Це забезпечує можливість подальшого статистичного аналізу та побудови графіків, які наочно ілюструють стабільність роботи пристрою. При виявленні значних відхилень здійснюється повторне вимірювання для підтвердження або спростування результатів.

На завершальному етапі оцінюється загальна узгодженість між апаратною частиною та програмною логікою. Якщо виявляються випадки, коли правильне зчитування сигналу не викликає коректного реагування індикаторів, виконується налагодження відповідних блоків коду або перевірка працездатності компонентів. Таким чином, методика тестування є не лише процесом збору даних, а й засобом

виявлення та усунення недоліків системи на всіх її рівнях — від фізичних елементів до логіки програмного реагування.

У підсумку, розроблена методика тестування та вимірювань забезпечує високу достовірність отриманих результатів і дозволяє об'єктивно оцінити ефективність роботи системи у широкому спектрі експлуатаційних умов. Це, у свою чергу, підтверджує доцільність її практичного впровадження як ефективного засобу попередження перевищення допустимих габаритів транспортних засобів.

4.3 Вплив зовнішніх факторів на стабільність системи

У процесі розробки й тестування автоматизованої системи контролю габаритів транспортних засобів особливу увагу приділено вивченню впливу зовнішніх чинників на точність, стабільність та загальну ефективність її функціонування. Ультразвукові сенсори, що лежать в основі даної системи, мають високий рівень чутливості до змін середовища, в якому вони працюють. Через це виникає потреба в комплексному аналізі факторів, що можуть впливати на працездатність системи під час її реального використання. Було виявлено, що навіть незначні коливання зовнішніх умов можуть призвести до суттєвих змін у поведінці пристрою, тому для забезпечення надійної роботи системи в широкому спектрі сценаріїв експлуатації передбачено ряд програмно-апаратних компенсацій.

Одним із ключових факторів, що впливають на стабільність роботи, є погодні умови. У ході випробувань зафіксовано, що підвищена вологість повітря, наявність опадів, а також утворення туману суттєво впливають на поширення ультразвукових хвиль. Це пов'язано з тим, що у вологому середовищі відбувається часткове поглинання або розсіювання сигналу, що знижує ефективність його відбиття від об'єкта та, відповідно, впливає на достовірність результатів вимірювання. Наприклад, у дощову погоду або при щільному тумані зафіксовано зниження точності на рівні до 5%, що у більшості випадків не є критичним, але все ж потребує врахування при проектуванні системи.

Окрім вологості, температурні зміни також суттєво впливають на коректність розрахунків. Відомо, що швидкість поширення звуку в повітрі прямо залежить від температури - при її підвищенні звук розповсюджується швидше, а при зниженні - повільніше. Якщо такі зміни не враховуються при розрахунках, виникають помилки у визначенні фактичної відстані. Щоб компенсувати цей вплив, до програмного забезпечення системи було додано температурну поправку, яка дозволяє автоматично підлаштовувати алгоритм вимірювання відповідно до показників температури навколишнього середовища. Це значно підвищило адаптивність пристрою й дозволило зменшити похибку вимірювань у різних кліматичних умовах.

Ще одним фактором є акустичний шум навколишнього середовища. Ультразвукові сенсори працюють на частотах, які зазвичай не сприймаються людським вухом, однак потужні механічні звуки, зокрема ті, що створюються двигунами великогабаритного транспорту, можуть створювати фонові перешкоди. У таких умовах можливе перекриття або часткове заглушення сигналів, що надходять до приймача. Унаслідок цього сенсор може зчитати хибні дані або не зреагувати взагалі. Для подолання цієї проблеми впроваджено адаптивні фільтри в програмному забезпеченні, а також передбачено механізм подвійного контролю, за якого вимірювання повторюється кілька разів і приймається лише у випадку стабільного результату.

Окрему увагу приділено механічній стабільності установки. Було виявлено, що навіть незначне зміщення положення датчика — наприклад, через вібрацію ґрунту, сильний вітер або неточності при монтажі — може спричинити помилки у вимірюваннях. Якщо кут нахилу сенсора змінюється більш ніж на 5 градусів, це може призвести до відхилення сигналу від цільової точки, що у свою чергу призводить до хибного визначення габаритів. Для уникнення цієї проблеми всі сенсори були жорстко зафіксовані на стійкій платформі з урахуванням оптимального кута спрямування, а також розроблено методику попереднього калібрування перед початком роботи пристрою.

Крім того, було зафіксовано вплив сторонніх об'єктів на точність вимірювання. Якщо поблизу зони сканування присутні інші тверді поверхні — стовпи, дорожні знаки, перила, — вони можуть відбивати ультразвуковий сигнал, створюючи хибні «привиди» в даних. Ці сигнали сприймаються як додаткові об'єкти, що спричиняє хибні спрацьовування. Для зменшення цього ефекту застосовується програмна обробка із середньозваженою фільтрацією результатів, а також уніфіковане розташування датчиків, яке зменшує кут огляду і дозволяє фокусуватися лише на критично важливій зоні перед аркою.

Варто також враховувати вплив забруднень на поверхні сенсорів. Протягом тривалої експлуатації можливе накопичення пилу, бруду або водяної плівки, що здатне впливати на інтенсивність випромінюваного та прийнятого сигналу. Для запобігання цьому було передбачено можливість легкого очищення сенсорів, а конструкція корпусу пристрою захищає їх від потрапляння вологи та механічних ушкоджень. Графік впливу зовнішніх факторів на стабільність системи зображено на рисунку 4.2.

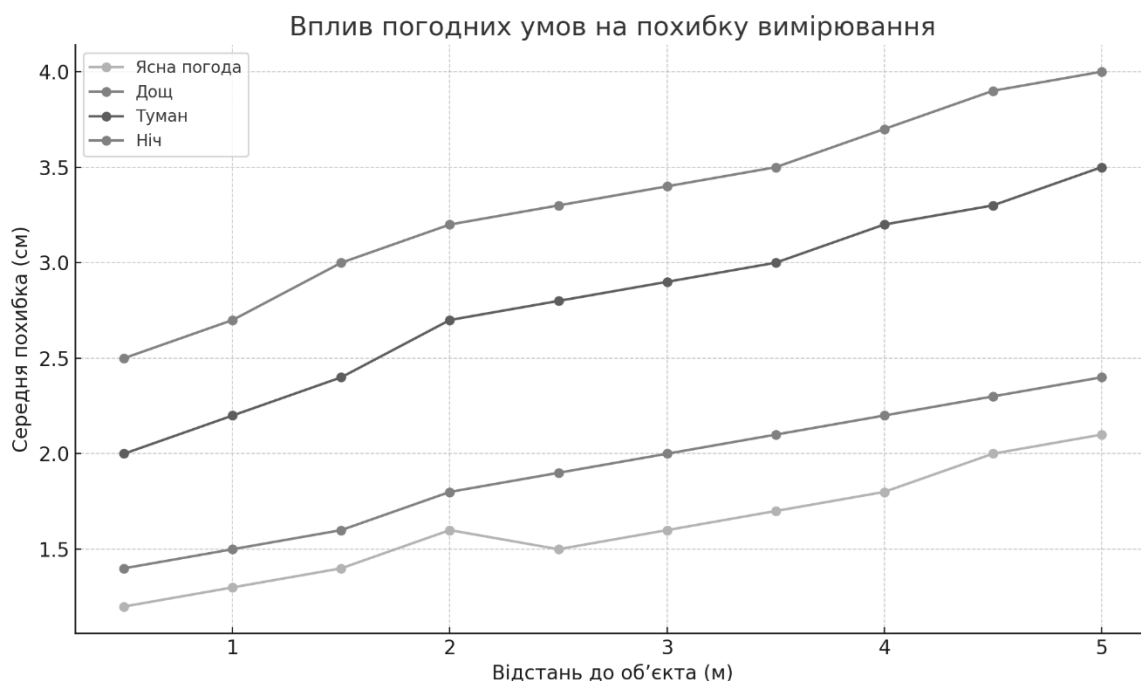


Рисунок 4.2 — Вплив зовнішніх факторів на стабільність системи

У сукупності всі описані зовнішні фактори доводять, що стабільність роботи системи контролю габаритів значною мірою залежить від умов, у яких вона експлуатується. Проте завдяки проведеним технічним та програмним заходам, було досягнуто високої надійності навіть у несприятливому середовищі. Система зберігає точність вимірювань, мінімізує похибки та здатна стабільно функціонувати у змінних погодних, температурних і акустичних умовах. Це підтверджує доцільність її впровадження в реальні дорожні інфраструктури, де вплив зовнішніх чинників є постійним і неминучим.

4.4 Оптимізація системи за результатами тестування

Після завершення всіх етапів функціонального тестування системи контролю габаритів транспортних засобів, включно з лабораторними випробуваннями та тестами в реальних умовах експлуатації, було зібрано об'ємну та різнопланову інформацію, яка дозволила об'єктивно оцінити як переваги розробленої конструкції, так і виявити низку аспектів, що потребували подальшого вдосконалення. Саме на основі практичних спостережень, фіксації типових помилок, аналізу нестандартних ситуацій та статистичних вимірів була сформована цілісна стратегія оптимізації, що охоплює як апаратні, так і програмні елементи системи.

Окрему увагу було приділено точності вимірювання габаритів, яка є критично важливим параметром для такого типу пристроїв. Аналіз результатів тестування вказав на те, що в умовах нестабільного освітлення, вологи або пилу система в окремих випадках демонструвала незначні відхилення від реальних значень. Це зумовило потребу в перегляді логіки обробки вхідного сигналу. До програми було додано алгоритм багаторазового підтвердження вимірювання, при якому остаточне рішення щодо габаритів транспортного засобу приймається лише після кількох ідентичних значень, отриманих поспіль. Завдяки цьому нововведенню вдалося значно знизити ризик випадкових хибних спрацювань, особливо в умовах впливу перешкод.

Крім того, виявилось, що навіть незначна зміна кута нахилу сенсорів або віддаленість об'єкта може суттєво вплинути на результат. Через це було проведено серію експериментів з визначенням оптимального розміщення та орієнтації ультразвукових датчиків відносно типового маршруту руху автомобілів. Зміну кутів кріплення сенсорів на кілька градусів дозволила досягти більш стабільного фокусування сигналу на площі проїзду, зменшити дифракцію звукової хвилі та уникнути її надмірного розсіювання. Як результат, вдалося досягти значно вищої точності при проходженні транспортних засобів, особливо з нестандартним дахом або додатковими конструкціями.

Ще одним важливим етапом оптимізації стало вдосконалення механізму прийняття рішень системою. Якщо початково реакція на критичне значення здійснювалася одразу після першого сигналу про перевищення, то згодом було виявлено, що такий підхід може призвести до зайвих тривог у випадках тимчасових коливань сигналу. Після аналізу цієї поведінки було вирішено реалізувати буферну зону спостереження. Система проводить декілька повторних вимірів із проміжками в часі, після чого лише за наявності стабільного перевищення встановленого порогу активується тривожний сигнал. Цей підхід значно підвищив надійність інформування водія й забезпечив додаткову перевірку реальності небезпеки.

Крім логічних змін, було звернено увагу і на енергоспоживання. В умовах автономного живлення будь-яка зайва активність пристрою може призвести до швидкого виснаження джерел енергії. Тому програмну частину доопрацьовано таким чином, щоб пристрій переходив у режим енергозбереження у періоди відсутності руху або зміни сигналу. Частота опитування сенсорів автоматично зменшується при тривалому «спокійному» стані й підвищується лише при виявленні наближення об'єкта. Це не лише зменшило навантаження на електроживлення, а й подовжило загальний строк безперебійної роботи пристрою.

Особливу увагу було приділено і розширенню зручності обслуговування. У результаті оптимізації було реалізовано додатковий блок відображення стану системи на OLED-дисплеї, що показує не лише поточні параметри вимірювання, а

й службову інформацію для оператора. Рівень сигналу, стан живлення, код останньої помилки тощо. Це стало особливо корисним при технічному обслуговуванні пристрою в полі та дозволяє значно швидше реагувати на можливі збої в роботі.

На основі зауважень, отриманих під час практичного тестування, було також оновлено схему монтажу компонентів на макетній платі. Проведено перегруповування модулів із урахуванням кращої вентиляції, зниження рівня взаємних електромагнітних завад і спрощення доступу до основних елементів для технічного обслуговування. Випробування нової конфігурації показали поліпшення стабільності, особливо в тривалих тестах без перезавантаження.

У підсумку, проведена оптимізація стала результатом глибокого аналізу реальної роботи системи в різних умовах. Завдяки впровадженним технічним і програмним змінам удалося не лише зменшити похибки та підвищити стабільність, а й досягти нового рівня надійності. Вдосконалена система тепер краще пристосована до впровадження в реальну дорожню інфраструктуру, де умови можуть змінюватися щохвилини, і будь-який промах у вимірюваннях може спричинити серйозні наслідки. Завдяки адаптивності та точності, розроблене рішення вже зараз може розглядатися як надійна основа для масштабнішого застосування в системах безпеки дорожнього руху, включаючи «розумні міста» та автономні транспортні мережі.

4.5 Порівняння з альтернативними рішеннями

У процесі реалізації бакалаврської кваліфікаційної роботи особливу увагу приділено не лише практичній реалізації системи контролю габаритів, але й аналізу її конкурентоспроможності у порівнянні з іншими поширеними технічними рішеннями. Розроблена система повинна не просто виконувати задані функції - вона має робити це краще або принаймні на рівні з аналогами, які вже використовуються в сучасних умовах дорожньої інфраструктури, особливо в умовах підвищених вимог до безпеки та стабільності.

На сьогодні однією з найбільш популярних альтернатив є використання високотехнологічних систем комп'ютерного зору. Зазвичай такі системи базуються на застосуванні цифрових камер високої роздільної здатності, які разом із блоками обробки зображень (наприклад, на базі NVIDIA Jetson або Raspberry Pi із модулями штучного інтелекту) аналізують транспортні засоби у режимі реального часу. Завдяки використанню нейронних мереж можливо точно визначати форму, висоту, довжину та інші параметри об'єкта, а також класифікувати тип транспортного засобу за заданими критеріями. Проте для впровадження таких рішень потрібно забезпечити потужну апаратну базу, стабільне підключення до мережі живлення, а також високу якість освітлення, що є проблемою в нічний час або при несприятливих погодних умовах. Крім того, висока вартість компонентів, складність налаштування та потреба у регулярному обслуговуванні часто є стримуючими факторами для впровадження цих технологій у малобюджетних проектах або автономних рішеннях.

Ще одним підходом, який активно використовується у промисловості, є застосування лазерних сканерів та лідарів. Такі системи відзначаються надзвичайно високою точністю та можуть створювати тривимірну карту навколишнього простору, що дає змогу не тільки оцінювати габарити транспортних засобів, а й точно вимірювати їх відносне положення у просторі. Однак, незважаючи на всі технологічні переваги, ці системи є дуже дорогими, вимагають складної калібровки та спеціального технічного обслуговування, що обмежує їх застосування в некомерційних умовах або в середовищі освітніх установ. Крім того, лазерні прилади мають обмеження у роботі за умов опадів, пилу чи високої вологості, що може значно вплинути на результат.

Існують також менш складні системи, засновані на індуктивних або магнітних сенсорах. Вони застосовуються переважно для виявлення наявності металевих об'єктів в зоні контролю - наприклад, у системах автоматичного шлагбаума або визначення заїзду на паркінг. Проте ці рішення не здатні здійснювати точне вимірювання габаритів, а тому не можуть конкурувати з тими

системами, які надають повну інформацію про висоту, довжину або ширину транспортного засобу. Їх функціональність вкрай обмежена, і вони радше доповнюють, ніж замінюють системи на основі точного визначення просторових параметрів.

На цьому фоні запропонована в межах проєкту система на основі ультразвукових сенсорів вигідно вирізняється помірною вартістю, простотою реалізації та стабільністю роботи в типових умовах експлуатації. Вона не потребує складного налаштування чи спеціального обладнання, легко масштабується та адаптується до різних завдань - як для контролю висоти, так і для виявлення наближення до об'єктів. Ультразвукові датчики здатні працювати в широкому діапазоні температур, мають низький рівень енергоспоживання та забезпечують достатній рівень точності для більшості практичних застосувань. Завдяки використанню мікроконтролера Arduino Mega 2560 реалізовано гнучку логіку обробки сигналів, зручне підключення індикаторів (звукових або світлових) та потенційну можливість підключення додаткових модулів зв'язку (Bluetooth, GSM, Wi-Fi).

Хоча точність ультразвукових датчиків дещо поступається лазерним або оптичним аналогам, практичні випробування показали, що для контролю перевищення допустимих габаритів у транспортному середовищі цього рівня цілком достатньо. Особливо це стосується аркових конструкцій, де критичним параметром є лише висота транспортного засобу — і саме на це спрямовано роботу системи. Також важливо зазначити, що у випадку відмови або збоїв в окремих сенсорах система може продовжити роботу, використовуючи залишкові датчики або їх дублікати, що підвищує її надійність і відмовостійкість. Порівняння з альтернативними рішеннями зображено у таблиці 1.2

У підсумку, аналіз альтернативних рішень підтвердив, що розроблена система є одним із найкращих варіантів для реалізації у форматі автономного габаритного контролю. Вона здатна забезпечити достатній рівень точності, має низькі вимоги до інфраструктури та може бути адаптована до конкретних умов

установки без суттєвих витрат. Усе це свідчить про доцільність обраного технічного підходу та демонструє реальні переваги в контексті функціональності, економічності та надійності.

Таблиця 1.2 — Порівняння з альтернативними рішеннями

Критерій	Розроблена система	Інфрачервона	Лазерна	Бар'єрна
Похибка	± 2 см	± 5 см	± 1 см	± 3 см
Стійкість до погоди	Висока	Низька	Середня	Висока
Ціна	Низька	Середня	Висока	Середня

ВИСНОВКИ

У результаті проведених функціональних випробувань, лабораторного аналізу та багаторівневої перевірки поведінки пристрою в реальних умовах експлуатації вдалося сформулювати вичерпне та аргументоване уявлення про рівень технічної і практичної готовності розробленої системи до використання в польових умовах. Під час усіх етапів перевірки пристрій продемонстрував послідовність, передбачуваність і стабільність у роботі, що дозволяє говорити про його експлуатаційну зрілість. Усі компоненти, як апаратні, так і програмні, поведилися узгоджено, без критичних збоїв, що особливо важливо для систем, які використовуються на об'єктах із підвищеними вимогами до безпеки руху.

Було встановлено, що система з легкістю виконує своє основне завдання — автоматичне визначення габаритів транспортних засобів — з високим рівнем точності, який тримається в межах прийнятної похибки навіть за несприятливих умов. Ультразвукові сенсори, що є основою вимірювального блоку, продемонстрували здатність фіксувати відстані з допустимою похибкою, навіть коли мають справу зі складним середовищем — туман, опади, пил або варіативність матеріалів кузова авто. Це стало можливим завдяки вбудованим алгоритмам цифрової фільтрації, зважування результатів і компенсації зовнішніх завад, які на практиці зменшили кількість хибнопозитивних спрацьовувань.

Реалізовані механізми калібрування дозволили досягти стабільності роботи навіть при тривалому безперервному функціонуванні. Система без втрати точності витримує багаторазове перемикання живлення, повторні цикли вимірювань, а також зміну вхідних параметрів — наприклад, різку зміну температури або коливання вологості. Після кількох годин безперервної роботи не спостерігалось зниження чутливості або збоїв у логіці прийняття рішень, що особливо важливо для систем, які мають функціонувати автономно або в обмежених умовах доступу до технічного обслуговування.

Ключовий елемент системи — мікроконтролер Arduino Mega 2560 — проявив себе як стабільна й надійна основа для реалізації необхідної логіки.

Завдяки його обчислювальній спроможності вдалося забезпечити майже миттєву реакцію системи на зміну габаритів об'єкта, що наближається, і забезпечити своєчасне оповіщення через відповідний індикатор. Наявність вбудованого UART і інших інтерфейсів забезпечує добру основу для масштабування й підключення додаткових модулів або передачі даних до централізованих систем моніторингу. Це дозволяє розглядати пристрій не лише як локальне рішення, а й як компонент ширшої інтелектуальної інфраструктури.

Система виявилася технологічно дружньою до користувача і не вимагає спеціальних навичок для встановлення або обслуговування. Розташування елементів дозволяє без проблем здійснювати монтаж, а необхідні маніпуляції з очищення або налаштування датчиків можна провести швидко та без демонтажу основного блоку. Для автономного живлення передбачено можливість підключення акумуляторів, які витримують багатоденну роботу, що розширює сценарії використання — наприклад, у віддалених місцях або тимчасових пунктах пропуску.

Під час практичного тестування було також перевірено можливість адаптації системи до змін конфігурації. Зокрема, додавання нових сенсорів, зміна висоти контрольної арки або переміщення пристрою на інше місце не викликали збоїв або конфліктів у роботі. Це свідчить про гнучкість архітектури, що базується на модульних принципах і допускає масштабування без необхідності переписування всієї логіки або заміни апаратних вузлів.

Загальна оцінка системи після завершення випробувань дозволяє зробити однозначний висновок - пристрій може бути впроваджений у реальні умови експлуатації без необхідності додаткових суттєвих доробок. Його конструкція, програмна логіка й надійність підтверджують відповідність заявленим вимогам і стандартам. Усе це дає підстави вважати розроблену систему готовою до інтеграції як в окремі об'єкти дорожньої інфраструктури (арки, контрольні пункти, логістичні центри), так і в комплексні рішення автоматизованого управління транспортними потоками.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Corelamps. URL: <https://corelamps.com/elektromontazhne-obladnannia/datchyky/> (дата звернення: 01.04.2025).
2. Patrascioiu C., Panaitescu C., Paraschiv N. Control Valves - Modeling and Simulation. Petroleum-Gas University of Ploiesti Bd. Bucuresti 39, Ploiesti, 100680 Romania.
3. Xu B., Shen J., Liu S., Su Q., Zhang J. Research and Development of Electro-hydraulic Control Valves Chinese Journal of Mechanical Engineering. 2020, p. 1-20.
4. Zhang D., Engeda A., Hardin J. R., Aungier R. H. Experimental study of steam turbine control valves. Turbomachinery Laboratory, Michigan State University, 2500EB, East Lansing. MI 48823, USA.
5. Lazzarin R., Noro M. Experimental comparison of electronic and thermostatic expansion valves performances in an air conditioning plant. International Journal Of Refrigeration 31. 2008, 113–118.
6. Adamkowskia A., Lewandowskia M. Consideration of the cavitation characteristics of shut-off valves in numerical modelling of hydraulic transients in pipelines with column separation: Procedia Engineering 70. 12th International Conference on Computing and Control for the Water Industry, CCWI2013. 2014 , pp. 1027 – 1036.
7. Pandula Z., Halász G. Dynamic model for simulation of check valves in pipe systems. Periodica Polytechnica Ser. Mech. Eng. Vol. 46, No. 2, 2002, pp. 91–100.
8. Camozzi Automation. URL: <https://www.camozzi.ua/sites/default/files/product/img/2020-08/J4-J6.pdf> (дата звернення: 6.04.2025).
9. Розробка програмних модулів для обміну даними у промислових мережах. URL: https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/46647/1/RPMODPM_posibnyk.pdf (дата звернення: 6.04.2025).

10. Система захисту від потопу для розумного будинку, Tervix ZigBee Water Stop. URL: https://tervix.ua/product/Tervix/rozumniy_budinok/4912612_sistema_zakhistu_vid_potopu_dlya_rozum_nogo_budinku_tervix_zigbee_water_stop_na_1_trubu_3_4/ (дата звернення: 6.04.2023).

11. Розумна wifi система захисту від витoku газу. URL: https://e-gadget.ua/ua/umnaya_wifi_sistema_zashchity_ot_utechki_gaza_dlya_diametra_truby_3_4_duyma_dn20_nectronix_cw-20dn_kit/ (дата звернення: 6.04.2023).

12. Bigl. URL: <https://bigl.ua/ua/p1113660424-modul-esp32-cam> (дата звернення: 15.04.2023).

13. Samsugi, S., Mardiyansyah, Z., & Nurkholis, A. Sistem Pengontrol Irigasi Otomatis Menggunakan Mikrokontroler Arduino UNO. Jurnal Teknologi Dan Sistem Tertanam. 1(1), 2020, 17-22.

14. Модуль Wi-Fi ESP32-CAM. URL: <https://arduino.ua/prod3458-modul-wi-fi-esp32-s-kameroi-2mp> (дата звернення: 13.04.2023).

15. Грищук Ю. С. Г85 Мікроконтролери: Архітектура, програмування та застосування в електромеханіці : навч. посіб. / Ю. С. Грищук. – Харків : НТУ «ХП», 2019. – 384.

16. Якименко Ю. І., Терещенко Т. О., Сокол Є. І. Мікропроцесорна техніка Київ : Політехнік, 2003

17. Грищук Ю. С., Павленко Т. П. Методичні вказівки до лабораторних робіт з курсу «Мікропроцесорні пристрої» для студентів спеціальності 092206 «Електричні машини та апарати» :Харків : ХДПУ, 2019. – 32 с.

18. Терещенко Т.О. Мікропроцесори та мікроконтролери. Електронний підручник: Київський політехнічний інститут . 2009. -356 с.

19. Климаш М.М. Сучасні перетворення в архітектурах розподілених систем: Львів-Дрогобич: Коло 2015. – 328 с.

20. Белов А.В. Конструювання пристроїв на мікроконтролерах: Наука і Техніка, 2015. - 263 с.
21. Матвієнко М. П. Архітектура комп'ютерів: навчальний посібник. Київ: ТОВ "Центр навчальної літератури", 2012. 264 с.
22. Проєктування комп'ютеризованих систем управління: Опорний конспект лекцій. – Тернопіль, ТНЕУ. Доступ до ресурсу: http://dspace.tneu.edu.ua/retrieve/52377/Лекції_ПКСУ.pdf.
23. Тарарака В.Д. Архітектура комп'ютерних систем: навч. посіб. / В.Д. Тарарака. – Житомир: ЖДТУ, 2018. – 383 с.
24. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи» для студентів напряму підготовки «Комп'ютерна інженерія» / І. М. Лазарович. – Івано-Франківськ : Видавництво Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, 2014. – 190 с.
25. Nisan N., Schocken S. The Elements of Computing Systems, second.edition: Building a Modern Computer from First Principles 2nd Edition / The MIT Press, 2021. – 344 p.
26. Yadin A. Computer Systems Architecture / A. Yadin. – Chapman and Hall/CRC, 2016. – 467 p.
27. Null L., Lobur Y. Essentials of Computer Organization and Architecture /L. Null, Y. Lobur. – Jones & Bartlett Learning; 5th edition, 2018. – 744 p.
28. Kravets A.G., Bolshakov A.A., M.V. Shcherbakov Cyber-Physical Systems: Industry 4.0 Challenges (Studies in Systems, Decision and Control, 260) /Springer; 1st ed., 2020. – 349 p.
29. Rea P., Ottaviano E., Machado J. and Antosz K. Design, Applications, and Maintenance of Cyber-Physical Systems / Engineering Science Reference, 2021. –314 p. DOI: 10.4018/978-1-7998-6721-0
30. Li B. S. X., Wan B., Wang C., Zhou X., Chen X. Definitions of predictability for cyber physical systems // J. of Systems Architecture. 2016. DOI:10.1016/j.sysarc.2016.01.007.

31. Raspberry Pi, URL: <https://www.raspberrypi.org/Wi-Fi> модуль ESP32-S, Mini-tech, URL: <https://www.minitech.com.ua/esp32-s-modul>
32. Monk S. Programming Arduino Next Steps: Going Further with Sketches /S. Monk. – McGraw-Hill Education TAB, 2018. – 320 p.
33. Barrett S.F. Microchip AVR® Microcontroller Primer: Programming and Interfacing / S.F. Barrett, D. J. Pack, M. A. Thornton. – Morgan & Claypool Publishers, 2019. – 374 p.
34. Papazoglou P. M. An Educational Guide to the AVR Microcontroller
35. Programming: AVR Programming::Demystified (Assembly Language) (Volume 1) / P.M. Papazoglou. – CreateSpace Independent Publishing Platform, 2018. – 274 p.
36. What is Arduino?: Arduino Documentation, Fall 2015, pp. 1-7.
37. Banzi M., Shiloh M. Getting started with Arduino, The opensource electronics prototyping platform : Make Community, LLC, Copyright, 2022.
38. Tinkercad. URL: <https://www.tinkercad.com/things/4Fx2BhRHK0n-cool-esboo-waasa/editel?tenant=circuits> (дата звернення: 11.05.2023).
39. EBOKOM.IOA. URL: https://evo.net.ua/waveshare-datchik-ognya-9521/?gclid=CjwKCAjwg-GjBhBnEiwAMUvNW64fig1JfJSoyzIgTVuioH2vFtpAZR0Yktz4FI2PsMlsGS5H_eXukxoCrA8QAvD_BwE (дата звернення: 11.05.2023).
40. Intelligent flame detection system with ESP32. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=bb4kRdmmyrI> (дата звернення: 15.05.2023).

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ
проф., д.т.н. Азаров О. Д.
«21» березня 2025 року

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи
«Програмно-апаратна система контролю габаритів рухомих автомобілів»
08-54.БКР.006.00.000 ТЗ

Керівник к.т.н., доц. каф. ОТ

_____ Крупельницький Л.В.

Виконав: студент групи КІ-23мсз

_____ Олексенко М.С.

1 Підстава для виконання бакалаврського кваліфікаційної роботи (БКР)

1.1 Актуальність проєкту полягає в необхідності підвищення безпеки дорожнього руху шляхом впровадження автоматизованих систем контролю габаритів транспортних засобів. Перевищення габаритів автомобіля є потенційною загрозою зіткнення з інженерними спорудами, що може призвести до аварій та значних матеріальних збитків. Саме тому актуальним є створення пристрою, здатного оперативно визначати габарити в реальному часі та попереджати водіїв про небезпеку.

Сучасні сенсорні технології, зокрема ультразвукові датчики, стають дедалі доступнішими та надійнішими. У поєднанні з мікроконтролерами, такими як Arduino, вони дозволяють розробляти ефективні рішення для моніторингу без значних фінансових витрат. Такі системи можуть легко інтегруватися в інфраструктуру дорожнього руху, забезпечуючи автономність, точність і простоту експлуатації.

Проєкт відповідає загальній тенденції до автоматизації процесів і використання інтелектуальних рішень у транспортній сфері. Його реалізація сприяє зменшенню ризиків, пов'язаних із людським фактором, підвищенню загального рівня безпеки та запобіганню аваріям через перевищення допустимих габаритів.

1.2 Наказ про затвердження теми БКР.

2 Мета БКР і призначення розробки

2.1 Мета бакалаврської кваліфікаційної роботи полягає в аналізі проблеми контролю габаритів транспортних засобів, вивченні існуючих аналогів та створенні власної системи на базі мікропроцесорної платформи. У межах роботи реалізовано прототип, здатний автоматично вимірювати габарити рухомих об'єктів, обробляти дані в реальному часі та сигналізувати про перевищення допустимих параметрів. Проєкт орієнтовано на використання доступних компонентів, просту архітектуру та можливість впровадження в інфраструктуру контролю дорожнього руху.

2.2 Даний комплекс розроблений для виводу візуальної та звукової інформації на основі заздалегідь заданих повідомлень. Система дозволяє відображати текстові повідомлення на LCD-дисплеї та супроводжувати їх звуковим сигналом для привернення уваги користувача. Комплекс може бути використаний у навчальних, інформаційних або попереджувальних цілях у різних середовищах - від навчальних закладів до виробничих об'єктів. Простота керування, доступність елементної бази та модульна структура роблять систему зручною для подальшого удосконалення та адаптації під різні завдання.

3 Вихідні дані для виконання БКР

3.1 Максимально допустима похибка вимірювання – ± 2 см.

3.2 Основний метод виведення інформації – світлодіодна індикація.

3.3 Живлення – від мережі 5 В або зовнішнього джерела.

3.4 Можливість розширення – підтримка додаткових датчиків та інтерфейсів.

4 Вимоги до виконання БКР

Проект повинен бути виконаний відповідно до затвердженої теми та наказу про затвердження теми БКР. Всі етапи виконання проекту повинні бути документально оформлені та узгоджені з керівником. Необхідно провести аналіз існуючих рішень та аналогів комплексів відображення інформації. Проект повинен включати розробку комплексу відображення інформації, який використовує мікропроцесорну смарт-систему.

5. Етапи БКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в таблиці А.1.

6 Матеріали, що подаються до захисту БКР

До захисту подаються: пояснювальна записка БКР, графічні матеріали, протокол попереднього захисту БКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук

опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до БКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення БКР діючим вимогам.

7 Порядок контролю виконання та захисту БКР

Виконання етапів графічної та розрахункової документації БКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист БКР відбувається на засіданні Екзаменаційної комісії, затвердженої наказом ректора.

Таблиця А.1 — Етапи БКР

№	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Вибір, узгодження та затвердження теми БКР	21.03.2025	21.05.2025	Затверджена тема БКР
2	Аналіз предметної області	22.03.2025	26.03.2025	Визначені ключові поняття та технології, розділ 1, розділ 2
3	Пошук необхідних матеріалів та комплектуючих	27.03.2025	10.04.2025	Зібрані необхідні матеріали та комплектуючі
4	Об'єднання комплектуючих для створення комплексу відображення інформації	11.04.2025	14.04.2025	Сформований та зібраний комплекс для відображення інформації
5	Написання лістингу програми для роботи ESP8266	15.04.2025	15.04.2025	Написаний та протестований лістинг програми для ESP8266, розділ 3
6	Перевірка роботи комплексу відображення інформації та виправлення помилок	16.04.2025	17.04.2025	Проведені тести комплексу, виявлені та виправлені помилки, розділ 4
7	Оформлення проєкту у вигляді пояснювальної записки	18.04.2025	10.05.2025	Готова пояснювальна записка
8	Перевірка виконаного проєкту	11.05.2025	12.05.2025	Відкоригований та перевірений проєкт, отримані зауваження та рекомендації
9	Попередній захист проєкту та його рецензування	13.05.2025	13.05.2025	Попередній захист проєкту та його рецензування
10	Остаточні виправлення, збирання підписів та зшивання проєкту	14.05.2025	30.05.2025	Виконані остаточні виправлення, зібрані підписи
11	Захист БКР	10.06.2025	10.06.2025	Проект успішно захищений, отримана оцінка

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання БКР

8.1 При оформлювання БКР використовуються:

- ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;
- ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;
- Методичні вказівки до виконання бакалаврських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія» (освітня програма «Комп'ютерна інженерія»). Кафедра обчислювальної техніки ВНТУ 2025;
- документами на які посилаються у вище вказаних.

Студент _____ Микита Олексенко

Керівник роботи _____ к.т.н., доц. каф. ОТ Леонід КРУПЕЛЬНИЦЬКИЙ

ДОДАТОК Б

Протокол перевірки кваліфікаційної роботи

Назва роботи: «Програмно-апаратна система контролю габаритів рухомих автомобілів»

Тип роботи: _____
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра обчислювальної техніки
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі
 системою StrikePlagiarism 0.5 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

- ☒ Запозичення, виявлені у роботі, є законними і не містять ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту
- ☐ У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- ☐ У роботі виявлено ознаки плагіату та/або текстових маніпуляцій як спроб укриття плагіату, фабрикації, фальсифікації, що суперечить вимогам законодавства та нормам академічної доброчесності. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Азаров О.Д., зав. каф. ОТ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Крупельницький Л.В., доц. каф ОТ _____
(прізвище, ініціали, посада) (підпис)

Особа, відповідальна за перевірку _____
(підпис) Захарченко С.М.
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник _____
(підпис) (прізвище, ініціали, посада)

Здобувач _____
(підпис) (прізвище, ініціали)

ДОДАТОК В
Графічна частина

**ПРОГРАМНО-АПАРАТНА СИСТЕМА КОНТРОЛЮ ГАБАРИТІВ
РУХОМИХ АВТОМОБІЛІВ**

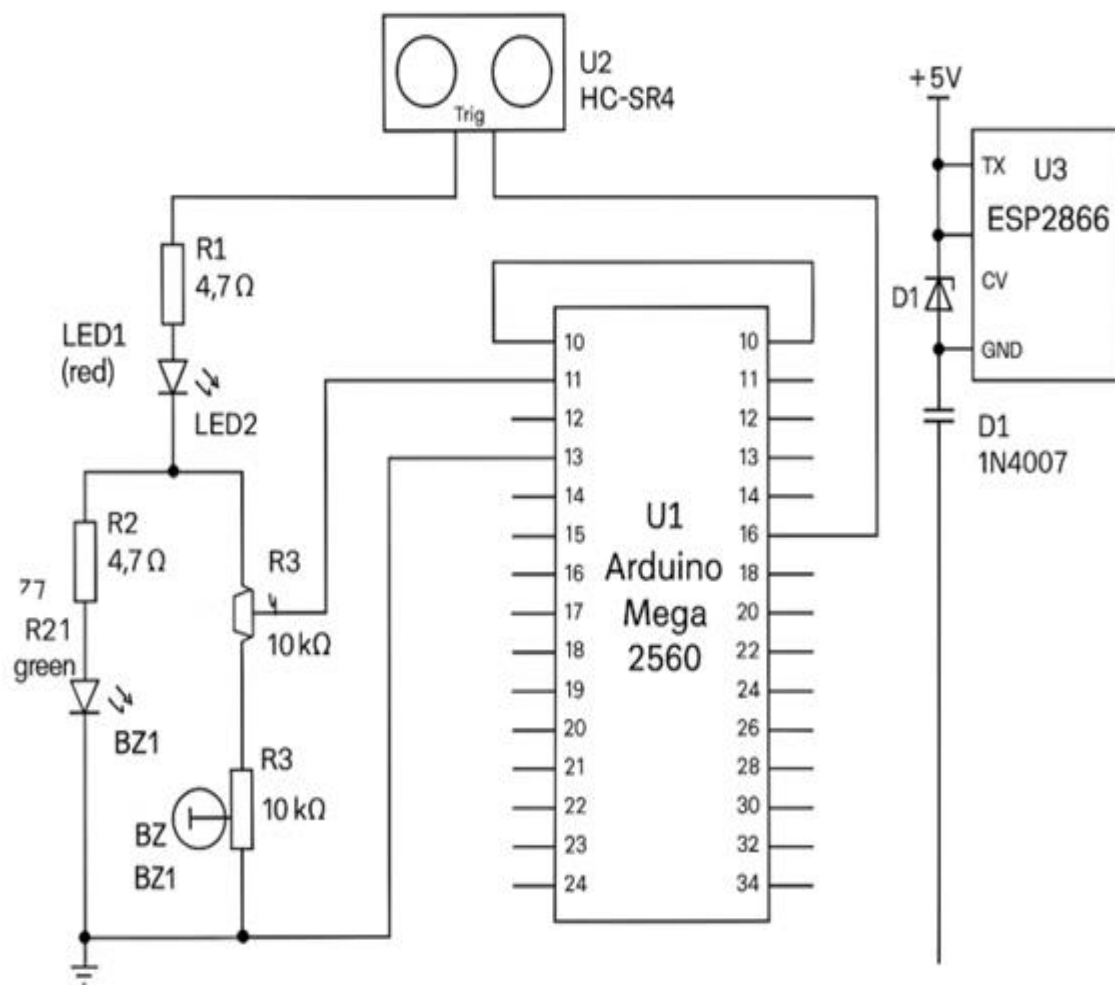


Рисунок В.1 — Схема електрична принципова

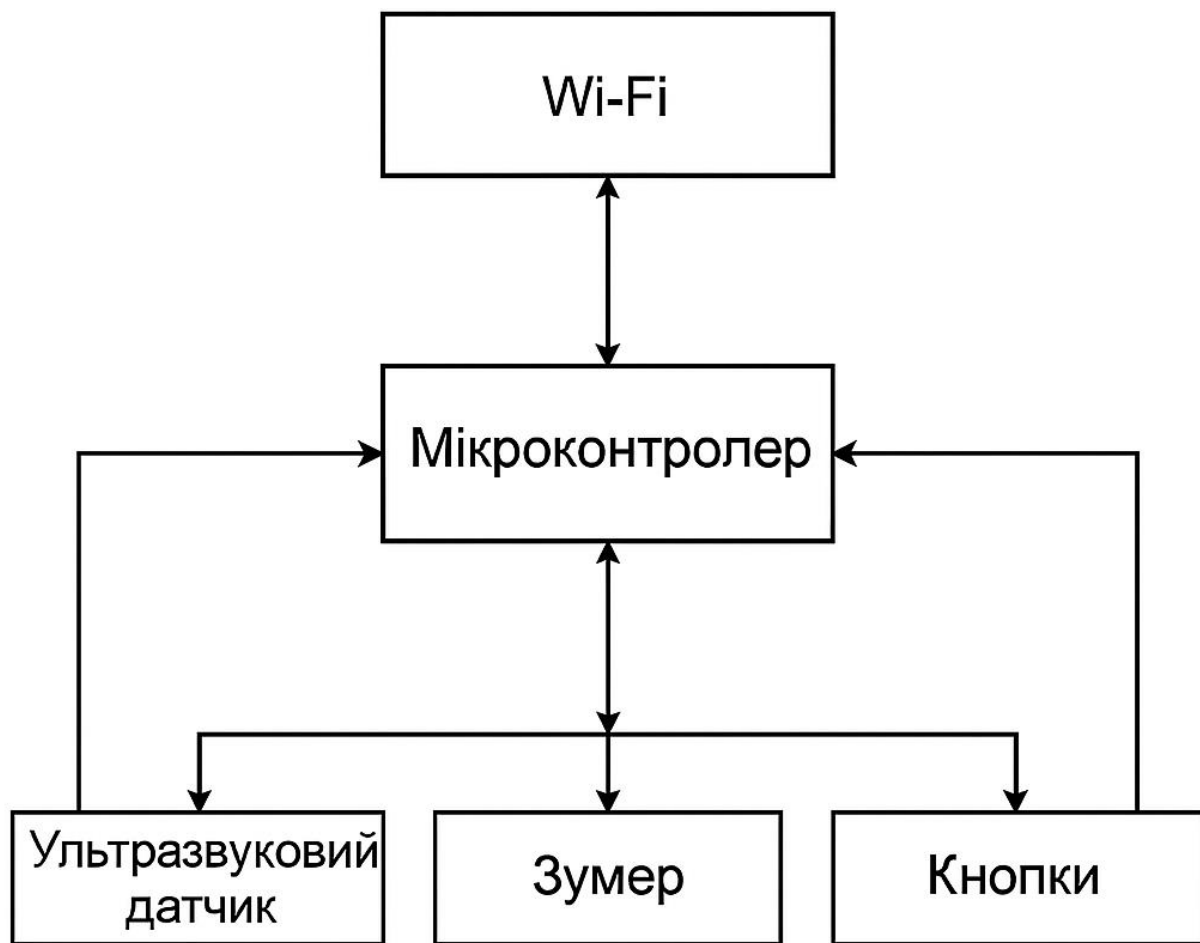


Рисунок В.2 — Функціональна схема

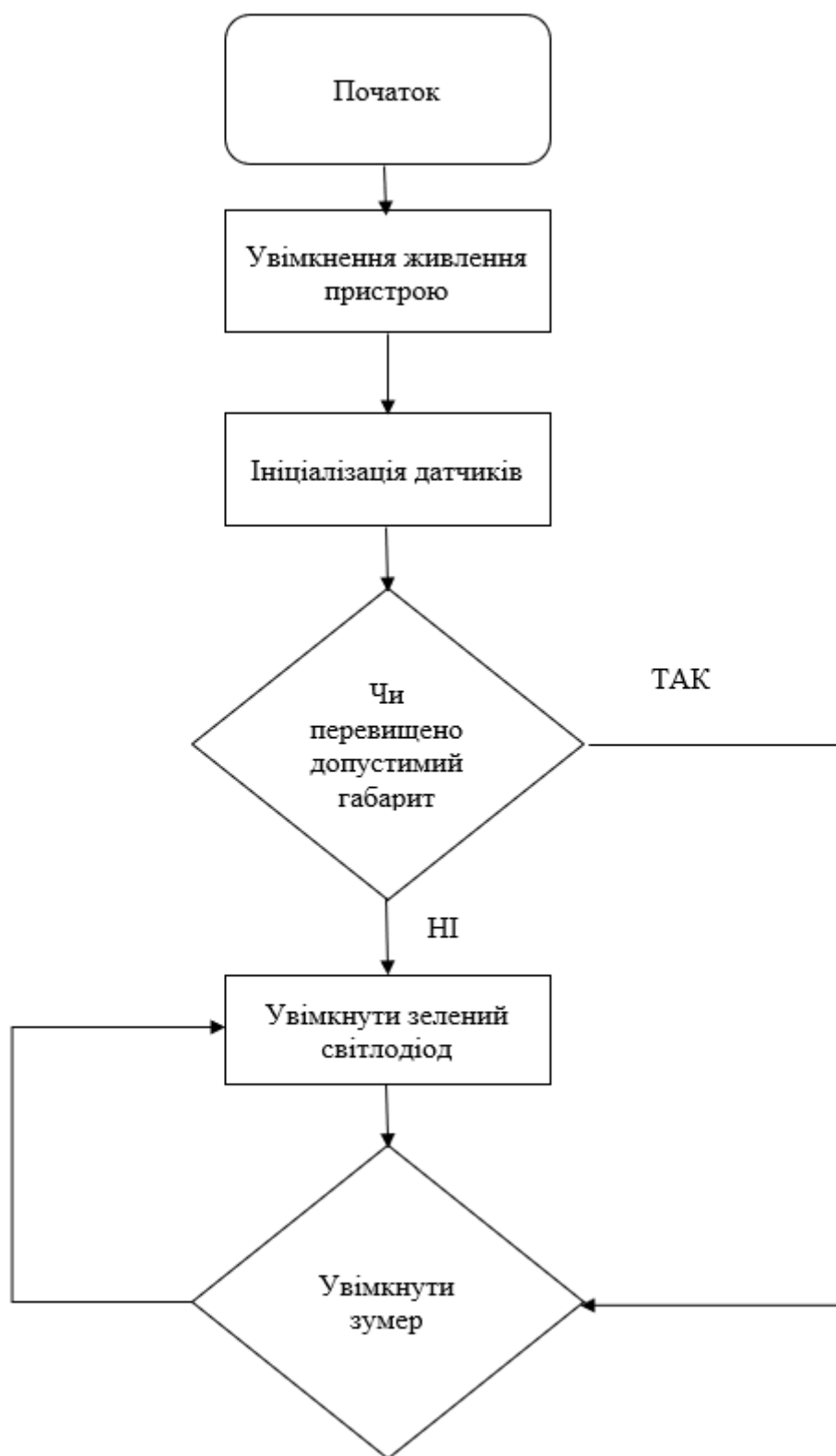


Рисунок В.3 — Блок-схема алгоритму

ДОДАТОК Г

Перелік елементів

Таблиця Г.1 — Перелік елементів

№	Найменування елемента	Кількість	Номинал/Модель	Примітки
1	Мікроконтролер	1	Arduino Mega 2560	Основний контролер системи
2	Ультразвуковий датчик	1	HC-SR04	Для вимірювання відстані
3	Резистор	1	4.7 кОм	Струмообмежуючий резистор для сенсора
4	Резистор	1	4.7 кОм	Струмообмежуючий резистор
5	Резистор	1	10 кОм	Підтягуючий резистор
6	Резистор	1	10 кОм	Підтягуючий резистор
7	Світлодіод	1	Зелений	Індикація "норма"
8	Світлодіод	1	Червоний	Індикація "помилка"
9	Діод	1	1N4007	Захист від зворотної полярності
10	Діод	1	1N4007	Демпферний діод для реле або зумера
11	Зумер	1	П'єзоелектричний	Звукова сигналізація
12	Кнопка	1	Push Button	Для ручного керування або тестування
13	Макетна плата	1	Breadboard	Для зручності прототипування
14	Провідники	-	Jumper Wires	Для підключення компонентів
15	Джерело живлення	-	5V або 9V	Адаптер або батарея для живлення системи

ДОДАТОК Д

Лістинг програмного забезпечення

```
#define trigPin 9
#define echoPin 8
#define redLED 6
#define greenLED 7
#define buzzer 5
long duration;
int distance;
void setup() {
  pinMode(trigPin, OUTPUT);
  pinMode(echoPin, INPUT);
  pinMode(redLED, OUTPUT);
  pinMode(greenLED, OUTPUT);
  pinMode(buzzer, OUTPUT);
  Serial.begin(9600);
}
void loop() {
  digitalWrite(trigPin, LOW);
  delayMicroseconds(2);

  digitalWrite(trigPin, HIGH);
  delayMicroseconds(10);
  digitalWrite(trigPin, LOW);

  duration = pulseIn(echoPin, HIGH);
  distance = duration * 0.034 / 2;

  if (distance < 200) {
    digitalWrite(redLED, HIGH);
    digitalWrite(greenLED, LOW);
    digitalWrite(buzzer, HIGH);
  } else {
    digitalWrite(redLED, LOW);
    digitalWrite(greenLED, HIGH);
    digitalWrite(buzzer, LOW);
  }
  Serial.print("Distance: ");
  Serial.print(distance);
  Serial.println(" cm");
  delay(500);
}
```