

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

Мікроконтролерна система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

Назва теми

Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)

Галузь знань 12 «Інформаційні технології»

Шифр, назва

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»

Шифр, назва

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

Назва

Шифр КвРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ

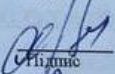
Виконав здобувач III курсу, група KI2c-23-1


Підпис

Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ
Ініціали, прізвище

Керівник

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Василь СТЕЦЮК
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер

Науковий ступінь, учене звання


Підпис

Сергій ЛИСЕНКО
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
завідувач кафедри КІС


Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ініціали, прізвище

«01» червня 2026 р.

дата

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Кафедра КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Рівень вищої освіти ПЕРШИЙ (БАКАЛАВРСЬКИЙ)

Галузь знань 12 ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ

Спеціальність 123 КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ

Освітня програма «КОМП'ЮТЕРНА ІНЖЕНЕРІЯ ТА ПРОГРАМУВАННЯ»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувачка кафедри КПС

 Ольга ПАВЛОВА

“ 10 ” 01 2026 р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Райтаровському Андрію Олеговичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Мікроконтролерна система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

Керівник проекту (роботи) Стецюк Василь Миколайович, ст. викладач

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 20.01.2026 р. № 7

2. Термін подання здобувачем роботи на кафедру 01.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Завдання на кваліфікаційну роботу

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Теоретичні аспекти позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів

Розроблення системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

Практична реалізація та перевірка системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

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

Загальна логіка роботи системи

Схема електрична принципова

Архітектура програмного забезпечення


6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

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

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітки
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2026	виконан
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2026	виконан
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2026	виконан
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів	01.04.2026	виконан
5	Робота над розділом 3 – проектування системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів	29.04.2026	виконан
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2026	виконан
7	Попередній захист ВКР	26.05.2026	виконан
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2026 року	

Здобувач 
Підпис

Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ
Імя, ПРІЗВИЩЕ

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Василь СТЕЦЮК
Імя, ПРІЗВИЩЕ

№ рядка	Формат	Позначення	Найменування	Кількість листів	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Пояснювальна записка	65		
			Графічні матеріали			
2						
3		КвРКІ. 301120.23.01.05 Е8	Загальна логіка роботи системи	1		
4		КвРКІ. 301120.23.01.05 Е3	Схема електрична принципова	1		
5		КвРКІ. 301120.23.01.05 Е8	Архітектура програмного забезпечення	1		

КвРКІ.301101.23.01.24 ВП								
Зм	Арж	№ докум	Підпис	Дата	Мікроконтролерна система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Райгоровський			4.06.26		У	1	1
Перевір.	Стецюк			4.06.26		ХНУ, КІ2с-23-1		
Н. конпр.	Лисенко			4.06.26				
Затв.	Павлова			4.06.26	Відомість проекту			

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Мікроконтролерна кіберфізична система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху».

Автор роботи: Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ.

Керівник роботи: Василь СТЕЦЮК.

Пояснювальна записка: 65 с., 14 рис., 1 табл., 3 дод., 70 джерел.

Графічна частина: 3 креслення.

БЕЗПЕКА РУХУ, ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ, СИСТЕМА, ЛАЗЕРНИЙ ДАЛЬНОМІР, МІКРОКОНТРОЛЕР ESP32, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, СИГНАЛІЗАЦІЯ.

Кваліфікаційна робота бакалавра присвячена розробленню мікроконтролерної системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху. Актуальність теми зумовлена потребою у створенні компактних, доступних і достатньо точних технічних засобів, здатних у реальному часі контролювати простір, визначати відстань до об'єктів і своєчасно формувати попереджувальні сигнали при небезпечному зближенні.

Сформовано загальну архітектуру рішення, розроблено структурну та функціональну схеми, реалізовано алгоритм збору, обробки та аналізу даних від лазерного дальноміра, а також логіку визначення небезпечного зближення. У роботі виконано налаштування режимів індикації, реалізовано програмну частину на базі ESP32 та проведено експериментальну перевірку працездатності системи.







Підпис здобувача

30.05.2026

Дата

ЗМІСТ

Вступ.....	2
1 Аналіз мікроконтролерних кіберфізичних систем позиціонування та виявлення об'єктів у задачах підвищення безпеки руху.....	4
1.1 Аналіз кіберфізичних систем у задачах контролю та безпеки руху.....	4
1.2 Огляд існуючих підходів до позиціонування та виявлення об'єктів.....	6
1.3 Аналіз застосування лазерних дальномірів у системах контролю відстані та виявлення перешкод.....	10
1.4 Обґрунтування використання мікроконтролерних платформ у кіберфізичних системах безпеки руху.....	12
1.5 Постановка задачі створення мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів.....	15
1.6 Висновки до першого розділу.....	16
2 Проектування мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів.....	17
2.1 Загальна архітектура мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів.....	17
2.2 Обґрунтування вибору апаратних і програмних засобів реалізації системи.....	22
2.3 Розроблення структурної та функціональної схеми системи.....	28
2.4 Організація збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів.....	32
2.5 Розроблення алгоритму позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів.....	36
2.6 Організація взаємодії системи з користувачем та формування попереджувальних сигналів.....	41
2.7 Висновки до другого розділу.....	45

КвРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ			
Зм. Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Виконав	Андрій РАЙГАРОВСЬКИЙ		4.06.26
Перевір.	Василь СТЕЦЮК		4.6.26
Н. контр.	Сергій ЛИСЕНКО		4.6.26
Затвер.	Ольга ПАВЛОВА		4.06
Мікроконтролерна кіберфізична система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху			
Пояснювальна записка			
Літера		Аркци	Аркциів
у		2	65
ХНУ КІ2с-23-1			

3 Реалізація та перевірка роботи мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів.....	47
3.1 Реалізація апаратної частини мікроконтролерної системи.....	47
3.2 Реалізація програмної частини системи на базі ESP32	50
3.3 Реалізація логіки позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів.....	53
3.4 Налаштування режимів індикації та взаємодії з користувачем	57
3.5 Перевірка працездатності системи в експериментальних умовах	63
3.6 Висновки до третього розділу.....	66
Висновки	67
Перелік джерел посилань	69
Додаток А Копія креслення «Схема електрична функціональна».....	77
Додаток Б Копія креслення «Схема електрична принципова»	78
Додаток В Копія креслення «Блок-схема алгоритму програмного забезпечення»	79

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку транспортних і промислових систем питання безпеки руху набуло особливої ваги, оскільки зростання інтенсивності потоків, ускладнення інфраструктури та підвищення швидкостей переміщення об'єктів призводять до збільшення кількості потенційно небезпечних ситуацій. У багатьох випадках вирішальним чинником стає не лише наявність засобів контролю, а й швидкість та точність отримання інформації про просторове розташування перешкод, відстань до них і динаміку зближення. За таких умов усе більшої актуальності набувають кіберфізичні системи, у яких поєднано фізичні вимірювальні пристрої та обчислювальні засоби для оперативної обробки даних і формування керуючих або попереджувальних сигналів.

У межах цієї кваліфікаційної роботи розглянуто підхід, за якого основою системи позиціонування та виявлення об'єктів обрано лазерні дальноміри у поєднанні з мікроконтролерною платформою. Така комбінація дозволяє отримувати точні значення відстаней у реальному часі, виконувати попередню обробку вимірювань безпосередньо на вбудованому обчислювальному модулі та забезпечувати швидку реакцію системи на появу небезпечних ситуацій. Використання лазерних дальномірів створює передумови для підвищення надійності контролю простору, оскільки ці сенсори характеризуються високою точністю та стабільністю показників, а мікроконтролерна архітектура дає можливість реалізувати компактне, енергоефективне та автономне рішення.

Актуальність обраної теми зумовлена потребою у створенні доступних і водночас ефективних засобів технічного контролю, здатних працювати без складної зовнішньої інфраструктури та забезпечувати безперервний моніторинг зони руху. У багатьох практичних ситуаціях саме затримка виявлення перешкоди або неточність оцінки відстані стає причиною аварійних подій, через що розроблення мікроконтролерної кіберфізичної системи, орієнтованої на

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

швидке вимірювання та аналіз просторових параметрів, виглядає виправданим і перспективним напрямом.

Важливою особливістю таких систем є можливість масштабування та адаптації під різні умови експлуатації. Залежно від конфігурації сенсорів і програмної логіки одна й та сама архітектура може застосовуватися для контролю обмежених зон, вузьких проїздів, складських проходів або ділянок інфраструктури з підвищеними вимогами до безпеки. Це дозволяє розглядати мікроконтролерні рішення не лише як окремі пристрої, а як елементи більш складних кіберфізичних комплексів, у яких обмін даними та узгоджена робота модулів підвищують загальну надійність контролю.

Метою цієї кваліфікаційної роботи визначено створення та обґрунтування структури мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів, що дозволяє підвищити рівень безпеки руху за рахунок своєчасного отримання та обробки інформації про навколишні об'єкти. Об'єктом кваліфікаційної роботи є процес забезпечення безпеки руху з використанням автоматизованих засобів вимірювання та контролю. Предметом кваліфікаційної роботи є апаратно-програмні засоби позиціонування та виявлення об'єктів, побудовані на базі мікроконтролерів і лазерних дальномірів.

У межах виконання цієї кваліфікаційної роботи проаналізовано сучасні підходи до побудови кіберфізичних систем безпеки, розглянуто особливості застосування лазерних дальномірів у задачах контролю відстані, обґрунтовано доцільність використання мікроконтролерних платформ та сформовано загальну архітектуру системи. Запропоноване рішення орієнтоване на практичну реалізацію й може використовуватися як основа для подальшого розвитку систем технічного контролю та попередження небезпечних ситуацій у процесі руху.

									Арк.
									3
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

1 АНАЛІЗ МІКРОКОНТРОЛЕРНИХ КІБЕРФІЗИЧНИХ СИСТЕМ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ У ЗАДАЧАХ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

1.1 Аналіз кіберфізичних систем у задачах контролю та безпеки руху

У межах цієї кваліфікаційної роботи кіберфізичні системи розглядаються як поєднання фізичних вимірювальних елементів, обчислювальних модулів і програмної логіки, що працюють у єдиному циклі сприйняття, обробки та формування реакції на події навколишнього середовища [1, 4, 7]. У задачах контролю та безпеки руху така організація набуває особливого значення, оскільки саме швидкість і достовірність обробки вимірювальної інформації визначають можливість своєчасного відвернення небезпечної ситуації [9, 12, 15]. Будь-яка затримка або неточність у визначенні положення перешкоди безпосередньо підвищує ризик зіткнення, через що вимоги до подібних систем є значно жорсткішими, ніж у звичайних моніторингових рішеннях [18, 21].

Кіберфізична система в задачах безпеки руху функціонує як замкнений контур, у межах якого фізичні сенсори забезпечують отримання первинних даних, мікроконтролер виконує їх обробку, а програмна частина формує рішення щодо подальших дій [2, 5, 10]. У цій роботі ключову роль у такому контурі відіграють лазерні сенсори, які використовуються для передачі інформації про дальність до об'єкта мікроконтролеру з метою відвернення зіткнення з ним [22, 24, 27]. Саме цей зв'язок між вимірюванням відстані та прийняттям рішення про небезпеку зближення визначає прикладний характер розглядуваної кіберфізичної системи [28, 30].

На відміну від систем, орієнтованих лише на фіксацію подій або накопичення статистичних даних, кіберфізичні системи безпеки руху мають працювати в режимі реального часу та забезпечувати безперервний аналіз просторової обстановки [6, 11, 16]. У такому режимі лазерні сенсори формують потік вимірювань відстані до об'єктів у зоні контролю, після чого

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

мікроконтролер виконує оцінювання отриманих значень, порівнює їх із заданими порогоми та визначає наявність потенційно небезпечного зближення [23, 25, 29]. Це дозволяє не лише виявити перешкоду, а й оцінити ступінь загрози, що є критично важливим для своєчасного формування попереджувального або керуючого сигналу [31, 33].

Важливою особливістю кіберфізичних систем у задачах безпеки руху є тісний зв'язок між фізичними процесами та обчислювальною логікою [3, 8, 13]. Фізичний рівень у вигляді сенсорів відображає реальний стан простору, тоді як кібернетичний рівень у вигляді мікроконтролерної обробки забезпечує інтерпретацію цих даних і перетворення їх на конкретні дії системи [14, 17, 20]. Унаслідок цього система не просто реєструє наявність об'єкта, а постійно уточнює відстань до нього та оцінює ризик зіткнення, що дозволяє говорити про активну участь кіберфізичної системи у процесі забезпечення безпеки руху [26, 32].

Застосування мікроконтролерних платформ у таких системах пояснюється необхідністю реалізації швидкого та детермінованого циклу обробки даних без використання складної зовнішньої інфраструктури [19, 34, 36]. Мікроконтролер у цьому випадку виконує роль центрального елемента, який приймає дані від лазерних сенсорів, виконує їх попередню обробку, фільтрацію та аналіз, а також формує сигнали індикації або керування для відвернення небезпечного зближення [35, 37, 39]. Це дозволяє реалізувати компактну та автономну систему, орієнтовану саме на задачі оперативного контролю відстані та підвищення безпеки руху [40, 42].

У підсумку кіберфізичні системи, побудовані на основі лазерних сенсорів і мікроконтролерів, розглядаються як ефективний інструмент для реалізації безперервного контролю простору та своєчасного виявлення загроз зіткнення [41, 43, 45]. Такий підхід забезпечує перехід від пасивного спостереження до активного запобігання небезпечним ситуаціям, що й визначає доцільність використання кіберфізичних рішень у сучасних системах безпеки руху [46, 48].

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		5

1.2 Огляд існуючих підходів до позиціонування та виявлення об'єктів

У сучасній практиці реалізації задач контролю та безпеки руху можна знайти кілька готових рішень, які використовують різні принципи позиціонування та виявлення об'єктів. Серед таких рішень виділяються як індустриальні продукти, так і відкриті рішення на основі мікроконтролерних платформ.

Одним із прикладів готового рішення є система паркувальної допомоги на базі ультразвукових датчиків, яка встановлюється в легкові автомобілі. Такі модулі, як HC-SR04, використовуються разом із мікроконтролерами типу Arduino або STM32, де кожен сенсор дає час проходження ультразвукової хвилі до об'єкта та назад. Вимірювання перераховується в відстань, після чого програмна логіка визначає рівень наближення.

Ще одним прикладом конкретного готового рішення є застосування 2D-скануючих лазерних датчиків, наприклад Нокіуо URG-04LX. Який подано на рисунку 1.1 або SICK LMS100, що використовуються в мобільних роботах для побудови карти навколишнього простору та уникнення перешкод у режимі реального часу.



Рисунок 1.1 - Нокіуо URG-04LX [68]

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Ці пристрої здійснюють кругове сканування лазерним імпульсом, формують хмару точок і передають її до обчислювального модуля. На базі таких даних реалізуються алгоритми побудови траєкторії руху та уникнення зіткнень. Дані рішення застосовуються як у промислових мобільних роботах, так і в автономних платформах охорони периметра. Вони демонструють високу точність і надійність, але зазвичай потребують потужніших обчислювальних ресурсів і складнішої інтеграції, ніж прості мікросенсорні системи.

У сфері мікроконтролерних рішень на ринку доступні лазерні дальноміри, що працюють за принципом TOF-вимірювання, наприклад модуль VL53L1X (STMicroelectronics) або більш потужні дальні датчики, як Garmin LIDAR-Lite v3, що зображено на рисунку 1.2.



Рисунок 1.2 - Garmin LIDAR-Lite v3 [69]

У перших діапазон вимірювання складає близько 4-10 метрів залежно від умов, у других - до 40-60 метрів. У відкритих проєктах вони широко застосовуються разом з платформами Arduino, ESP32 або Raspberry Pi для побудови автономних систем вимірювання відстані. Такі рішення показали гарну інтеграцію: лазерні дані з модуля TOF безпосередньо надходять до мікроконтролера, де програмна частина аналізує їх, фільтрує та визначає пороги

небезпечного наближення. Практичний приклад - система контролю зони стоянки, де кілька таких модулів встановлені по периметру та передають мікроконтролеру актуальні значення відстані до об'єкта. При перевищенні заданих меж система активує візуальне чи звукове сповіщення.

Комерційні рішення також включають інтелектуальні RADAR-модулі, такі як Infineon XENSIV™ 24 GHz RC-Sensor або Texas Instruments AWR1642, які здатні визначати відстань і швидкість об'єкта одночасно, подано на рисунку 1.3.

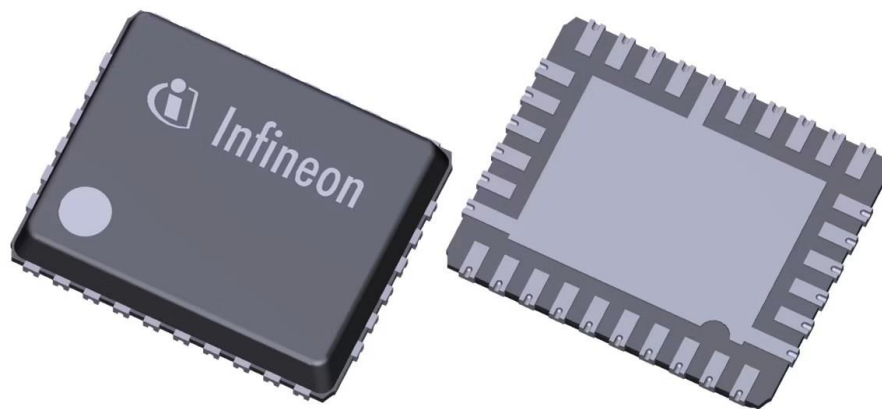


Рисунок 1.3 - Infineon XENSIV™ 24 GHz RC-Sensor [70]

Ці системи широко застосовуються в сучасних системах допомоги водієві (ADAS) для підтримки дистанції, розпізнавання руху поруч і оцінювання ризику зіткнення. У таких модулях радіохвильові сигнали випромінюються, відбиваються від об'єкта і повертаються до приймача, після чого обробка на борту визначає ключові параметри. Ці рішення показують високу стабільність у складних умовах (погана видимість, пил, туман), але їх інтеграція, як правило, вимагає більш складної обчислювальної архітектури та вищих фінансових затрат.

Для задач автоматичного контролю перешкод у вузьких приміщеннях або при русі транспорту назад застосовуються портативні сенсорні комплекси з комбінованими підходами. Наприклад, у деяких системах використовується

поєднання кількох лазерних TOF-датчиків та ультразвукових сенсорів для страхування від непередбачених артефактів вимірювання або падіння сигналу. У такому конкретному рішенні дані від лазерних сенсорів використовуються як основний канал для вимірювання відстані, а ультразвук - як додатковий, що дозволяє перевіряти отримані значення та покращує надійність у складних умовах. Це рішення може застосовуватися у складських роботах, автоматичних транспортерах, що переміщують вантажі между стелажми, або у вузьких проїздах складів і паркінгів.

Ще один практичний приклад готового рішення - система контролю перешкод для велосипедних чи мотоциклетних платформ, що працює на одноплатних комп'ютерах (Raspberry Pi / ESP32) у поєднанні з лазерними TOF-датчиками і IMU-датчиками (інерційними вимірювальними блоками). Така система формує тривимірну оцінку руху об'єкта та простору навколо, поєднуючи дистанцію з лазерних сенсорів та інформацію про прискорення/кутові швидкості для розширеного контекстного аналізу ситуацій. Це дозволяє не лише визначати наявність об'єкта, а й оцінювати, чи рухається він назустріч, зі сталою швидкістю або віддаляється.

Узагальнення готових рішень показує, що практичний досвід підтверджує доцільність використання лазерних дальномірів у поєднанні з мікроконтролерними платформами для задач позиціонування та виявлення об'єктів. Конкретні комерційні та DIY-системи демонструють, що такі підходи забезпечують компроміс між точністю, швидкістю та витратами, дозволяючи створювати автономні та стабільні комплекси, що здатні безпосередньо передавати інформацію про відстань до мікроконтролера для своєчасного формування реакції з метою відвернення зіткнення. Такий аналіз конкретних прикладів створює чітке підґрунтя для подальшого обґрунтування вибору лазерної сенсорної бази в межах цієї кваліфікаційної роботи.

									Арк.
									9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

1.3 Аналіз застосування лазерних дальномірів у системах контролю відстані та виявлення перешкод

Лазерні дальноміри в сучасних системах контролю простору та безпеки руху розглядаються як один із найбільш ефективних засобів отримання кількісної інформації про відстань до об'єктів у режимі реального часу [22, 24, 27]. Принцип їх роботи ґрунтується на вимірюванні часу проходження лазерного імпульсу до поверхні об'єкта та його повернення або на аналізі фазових характеристик відбитого сигналу, що дозволяє безпосередньо визначати просторове положення перешкоди з високою роздільною здатністю [25, 28, 31]. У практичних реалізаціях такі сенсори забезпечують вимірювання на відстанях від кількох сантиметрів до десятків метрів, а в окремих промислових і навігаційних системах - і на значно більших дистанціях, що робить їх універсальним інструментом для різних задач контролю руху [29, 32, 35].

Однією з ключових характеристик лазерних дальномірів є точність вимірювання [26, 33]. Для сучасних TOF-сенсорів, що застосовуються у вбудованих системах, типові значення похибки лежать у межах від кількох міліметрів до кількох сантиметрів залежно від моделі, дальності та умов експлуатації [34, 37, 39]. Така точність суттєво перевищує можливості більшості ультразвукових датчиків і дозволяє не лише виявляти сам факт наявності перешкоди, а й надійно оцінювати ступінь небезпечного зближення [23, 30, 36]. У задачах безпеки руху це має принципове значення, оскільки навіть невелика різниця у виміряній відстані може впливати на момент спрацювання системи попередження або керування [40, 42].

Важливим фактором є також стабільність показників у часі та повторюваність вимірювань [41, 43]. Лазерні дальноміри, на відміну від акустичних сенсорів, значно менше залежать від коливань температури повітря або акустичних завад, що забезпечує більш передбачувану поведінку системи в реальних умовах експлуатації [44, 46]. Проте на результати вимірювань можуть

впливати оптичні властивості поверхні об'єкта, кут падіння променя, а також наявність пилу, диму чи туману в робочій зоні [47, 49, 51]. У таких випадках можливе зростання похибки або поява поодиноких некоректних значень, що вимагає використання програмних методів фільтрації та перевірки достовірності даних на рівні мікроконтролерної обробки [52, 54].

Швидкодія лазерних дальномірів є ще однією характеристикою, яка безпосередньо визначає придатність таких сенсорів для задач безпеки руху [45, 48]. Сучасні модулі здатні виконувати десятки і навіть сотні вимірювань за секунду, формуючи практично безперервний потік даних про зміну відстані до об'єкта [50, 53, 55]. Це дозволяє не лише фіксувати статичні перешкоди, а й аналізувати динаміку зближення, оцінюючи швидкість зміни відстані та прогножуючи момент досягнення критичної межі [56, 58]. У поєднанні з мікроконтролерною обробкою така можливість створює умови для реалізації систем, що реагують не постфактум, а з випередженням, що є особливо важливим у ситуаціях із підвищеними вимогами до безпеки [59, 61].

Окремої уваги потребує питання інтеграції лазерних дальномірів у мікроконтролерні кіберфізичні системи [60, 62]. Більшість сучасних сенсорів цього типу мають цифрові інтерфейси обміну даними, що спрощує їх підключення та уніфікує програмну частину [63, 65]. Отримані значення відстані можуть безпосередньо передаватися в обчислювальний модуль, де виконуються масштабування, усереднення, перевірка граничних умов і формування логіки реагування [52, 57, 64]. Такий підхід дозволяє будувати компактні та енергоефективні системи, у яких весь цикл від вимірювання до прийняття рішення виконується локально без залучення зовнішніх обчислювальних ресурсів [66, 67].

У практичних системах контролю та виявлення перешкод лазерні дальноміри часто використовуються як основний канал отримання інформації про відстань, тоді як інші сенсори виконують допоміжну роль [24, 35, 41]. Це пояснюється тим, що лазерне вимірювання забезпечує пряме та кількісне

визначення просторових параметрів, яке легко формалізується в програмній логіці системи [28, 36, 44]. На основі цих даних можуть реалізовуватися різні стратегії реагування, починаючи від простого порогового спрацювання при досягненні критичної відстані й закінчуючи більш складними алгоритмами оцінювання ризику зіткнення з урахуванням швидкості зміни вимірних значень [56, 58, 61].

У підсумку застосування лазерних дальномірів у системах контролю відстані та виявлення перешкод дозволяє поєднати високу точність вимірювань, достатню швидкодію та відносну простоту інтеграції в мікроконтролерні платформи [22, 33, 62]. Це створює технічні передумови для побудови надійних кіберфізичних систем, орієнтованих на своєчасне виявлення небезпечних зближень і відвернення зіткнень, що повністю відповідає завданням, поставленим у межах цієї кваліфікаційної роботи [59, 66, 67].

1.4 Обґрунтування використання мікроконтролерних платформ у кіберфізичних системах безпеки руху

У задачах забезпечення безпеки руху ключовою вимогою до технічних систем є можливість швидкої, стабільної та передбачуваної обробки інформації від сенсорів із мінімальними затримками [9, 12, 15]. Саме тому в межах кіберфізичних систем, орієнтованих на відвернення зіткнень, доцільним є використання мікроконтролерних платформ, які поєднують у собі обчислювальне ядро, пам'ять і набір периферійних інтерфейсів в одному компактному пристрої [34, 36, 40]. Така архітектура дозволяє реалізувати замкнений цикл керування, у межах якого дані від лазерних дальномірів приймаються, обробляються та перетворюються на керуючі або попереджувальні сигнали без залучення зовнішніх обчислювальних ресурсів [35, 37, 39].

Однією з визначальних переваг мікроконтролерів є детермінований характер виконання програм [19, 34]. На відміну від універсальних обчислювальних систем, де значну роль відіграють операційні системи та багатозадачність, мікроконтролерні платформи дозволяють точно контролювати часову структуру роботи програми [36, 42]. Це означає, що опитування лазерних сенсорів, фільтрація даних, перевірка порогових умов і формування сигналів реагування виконуються з наперед відомою та стабільною періодичністю [45, 48]. У контексті безпеки руху така передбачуваність є критично важливою, оскільки вона дозволяє гарантувати, що система відреагує на небезпечне зближення в межах заданого часу [21, 33].

Важливим аргументом на користь мікроконтролерних платформ є також їхня енергоефективність [41, 43]. Сучасні мікроконтролери орієнтовані на роботу в умовах обмеженого енергоспоживання та підтримують різні режими зниженого споживання, що дозволяє використовувати їх у автономних або мобільних системах [44, 46]. У задачах контролю руху це створює можливість розгортання сенсорних модулів у місцях, де відсутнє постійне живлення, або у складі мобільних пристроїв, які повинні працювати тривалий час без підзарядки [47, 49]. При цьому енергоефективність не досягається за рахунок суттєвого зниження продуктивності, оскільки обчислювальних можливостей мікроконтролерів достатньо для виконання операцій обробки вимірювальних даних у реальному часі [50, 53].

З технічної точки зору мікроконтролерні платформи мають розвинений набір апаратних інтерфейсів, що є важливим для побудови кіберфізичних систем [60, 62]. Підключення лазерних дальномірів, інерційних датчиків, модулів індикації та виконавчих пристроїв здійснюється безпосередньо через стандартні цифрові канали обміну даними, що спрощує структуру апаратної частини та підвищує надійність всієї системи [63, 65]. У такій конфігурації мікроконтролер виступає як центральний вузол, який не лише збирає дані, а й синхронізує роботу

різних підсистем, забезпечуючи узгодженість інформаційних потоків і коректність прийняття рішень [52, 57, 64].

Не менш важливим є програмний аспект використання мікроконтролерів у системах безпеки руху [14, 17, 20]. Алгоритми обробки даних від лазерних дальномірів можуть бути реалізовані у вигляді послідовних або циклічних процедур, що спрощує контроль за їх виконанням і полегшує налагодження системи [35, 37]. Крім того, програмна логіка може включати механізми перевірки достовірності вимірювань, усереднення або відкидання аномальних значень, а також аналіз тенденції зміни відстані з метою прогнозування небезпечного зближення [52, 54, 58]. Усі ці операції добре узгоджуються з архітектурою мікроконтролерів і не потребують залучення складних обчислювальних платформ [36, 40].

З практичної точки зору використання мікроконтролерних платформ дозволяє досягти оптимального співвідношення між вартістю системи та її функціональними можливостями [66, 67]. Такі рішення є значно доступнішими за складні вбудовані комп'ютерні системи, але при цьому забезпечують достатній рівень продуктивності для виконання задач контролю відстані та виявлення перешкод [34, 39, 50]. Це робить мікроконтролери привабливою основою не лише для експериментальних зразків, а й для реальних прикладних систем, орієнтованих на масове використання в задачах підвищення безпеки руху [59, 66].

У підсумку вибір мікроконтролерної платформи як обчислювальної основи кіберфізичної системи безпеки руху є технічно обґрунтованим і виправданим з інженерної точки зору [34, 36, 41]. Поєднання детермінованого виконання програм, енергоефективності, зручних засобів взаємодії з сенсорами та достатньої обчислювальної потужності створює умови для побудови компактних, автономних і надійних систем, здатних у реальному часі аналізувати дані від лазерних дальномірів і формувати своєчасну реакцію з метою відвернення небезпечних ситуацій [35, 45, 59, 66].

1.5 Постановка задачі створення мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів

Попередній аналіз сучасних підходів до позиціонування та виявлення перешкод, а також особливостей використання лазерних дальномірів і мікроконтролерних платформ показав, що найбільш доцільним є створення компактної кіберфізичної системи, у якій процеси вимірювання, обробки даних і формування реакції об'єднані в єдиний замкнений цикл реального часу [1, 4, 22, 24].

Окремою складовою постановки задачі є визначення вимог до часових характеристик роботи системи [21, 33]. З огляду на те, що розроблюване рішення орієнтоване на відвернення зіткнень, затримка між моментом зміни просторової ситуації та моментом формування реакції повинна бути мінімальною та стабільною [9, 12, 15].

Важливим аспектом є також забезпечення надійності та стійкості роботи системи в умовах можливих завад, нестабільних відбиттів лазерного променя та короткочасних збоїв у роботі сенсорів [41, 43, 47]. У межах постановки задачі передбачається реалізація програмних механізмів контролю достовірності даних, що включають виявлення різких стрибків значень, ігнорування одиничних аномальних вимірювань та використання згладжувальних алгоритмів [52, 54, 58]. Це дозволяє підвищити довіру до прийнятих рішень і зменшити ймовірність хибних спрацювань або, навпаки, пропуску небезпечної ситуації [59, 61].

З інженерної точки зору задача також включає обмеження, пов'язані з енергоспоживанням, габаритами та вартістю апаратної частини [41, 43, 66]. Розроблювана система має базуватися на доступній мікроконтролерній платформі та використовувати сенсори, які можуть бути інтегровані без значного ускладнення конструкції [34, 36, 40]. Це дозволяє орієнтуватися не лише на

створення експериментального зразка, а й на потенційну можливість практичного застосування системи в реальних умовах [59, 66, 67].

Узагальнюючи наведене, задача створення мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів полягає у розробленні апаратно-програмного комплексу, який забезпечує вимірювання відстані до об'єктів за допомогою лазерних дальномірів, детерміновану обробку отриманих даних у реальному часі, аналіз динаміки зближення та формування своєчасної реакції з метою відвернення зіткнення [22, 24, 35, 45, 59].

1.6 Висновки до першого розділу

У першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи проаналізовано мікроконтролерні кіберфізичні системи позиціонування та виявлення об'єктів у задачах підвищення безпеки руху. Розглянуто особливості кіберфізичного підходу, за якого фізичне вимірювання простору поєднується з локальною обробкою даних і формуванням реакції в режимі, наближеному до реального часу. У процесі аналізу показано, що для систем такого типу визначальними є не лише точність вимірювання, а й стабільність зчитування, швидкість обробки, передбачуваність часу реакції та здатність відрізнити реальне небезпечне зближення від випадкових відхилень сигналу.

Також розглянуто існуючі підходи до позиціонування та виявлення об'єктів, включно з ультразвуковими, лазерними та комбінованими рішеннями. На цьому тлі обґрунтовано доцільність використання саме лазерних дальномірів, оскільки вони забезпечують пряме отримання числового значення відстані, достатню точність і зручну інтеграцію з мікроконтролерними платформами. Окремо показано, що мікроконтролери є придатною основою для побудови компактних систем безпеки руху завдяки детермінованому характеру роботи, енергоефективності та простоті підключення периферійних модулів.

2 ПРОЄКТУВАННЯ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

2.1 Загальна архітектура мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів

Загальну архітектуру мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів сформовано з урахуванням основної практичної мети, яка полягає у своєчасному визначенні просторового положення перешкоди, оцінюванні ступеня небезпечного зближення та формуванні реакції, спрямованої на підвищення безпеки руху. Архітектура такої системи не зводиться лише до підключення окремого сенсора до мікроконтролера, оскільки для стабільної роботи в реальних умовах необхідно забезпечити узгоджену взаємодію кількох функціональних рівнів: рівня сприйняття простору, рівня обробки даних, рівня прийняття рішень і рівня інформування або керуючого впливу. Саме поєднання цих рівнів утворює цілісну кіберфізичну систему, у якій фізичні процеси вимірювання безпосередньо пов'язані з цифровою обробкою та реакцією на зміну обстановки.

Побудову системи доцільно розглядати як замкнений контур, у межах якого лазерні дальноміри безперервно зчитують інформацію про відстань до об'єктів у контрольованій зоні, мікроконтролер приймає ці дані та виконує їх попередню обробку, після чого програмна логіка визначає стан простору та формує відповідний вихідний сигнал. У такій архітектурі центральне місце посідає не окремий елемент, а саме взаємозв'язок між усіма вузлами. Сенсорний модуль без мікроконтролерної інтерпретації не здатний забезпечити корисну реакцію, а обчислювальний вузол без стабільного надходження вимірювальної інформації не може коректно оцінити ситуацію. Через це загальну архітектуру системи побудовано за принципом послідовного перетворення даних: від фізичного вимірювання відстані до логічного висновку про рівень безпеки та подальшої дії системи.

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Першим архітектурним рівнем виступає сенсорна підсистема. Саме вона відповідає за безпосередній контакт системи з навколишнім середовищем і формує первинні дані про наявність об'єктів у зоні контролю. У цій бакалаврській кваліфікаційній роботі основою сенсорної підсистеми прийнято лазерні дальноміри, оскільки вони забезпечують пряме вимірювання відстані, високу повторюваність показників і достатню швидкодію для задач безпеки руху. Залежно від просторової конфігурації системи сенсорна підсистема може містити один або кілька вимірювальних каналів. Одноканальна побудова є простішою з конструктивної точки зору, однак багатосенсорна конфігурація дозволяє контролювати ширшу зону, зменшити ймовірність пропуску перешкоди та підвищити надійність оцінювання просторової обстановки. Унаслідок цього архітектура системи від самого початку орієнтується на можливість масштабування, щоб у разі потреби до неї могли бути додані додаткові сенсори без принципової зміни логіки роботи.

Другим рівнем архітектури визначено мікроконтролерний обчислювальний вузол, який виконує роль центрального елемента всієї системи. Саме на ньому зосереджено збирання вимірювальної інформації, синхронізацію опитування сенсорів, попередню фільтрацію даних, аналіз стану простору та формування сигналів реагування. Вибір мікроконтролерної архітектури для такого завдання пояснюється тим, що вона дає змогу реалізувати детермінований цикл роботи без залучення складної обчислювальної інфраструктури. Це особливо важливо для систем безпеки руху, де цінність рішення визначається не стільки складністю алгоритму, скільки стабільністю часу реакції та передбачуваністю поведінки. Мікроконтролер у межах цієї архітектури виконує не лише функцію обчислення, а й функцію координації, оскільки саме він забезпечує узгоджену роботу сенсорної, сигнальної та допоміжної підсистем.

У структурі мікроконтролерного вузла логічно виділено кілька внутрішніх функціональних блоків. Перший блок відповідає за приймання даних від лазерних дальномірів через цифрові інтерфейси обміну. Другий блок реалізує

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

обробку вимірювань, що включає перевірку допустимості отриманих значень, відкидання аномальних показників, усереднення та згладжування. Третій блок виконує аналіз поточного стану простору, тобто порівнює поточні відстані з заданими порогами, оцінює зміну цих відстаней у часі та визначає, чи формується ситуація небезпечного зближення. Четвертий блок забезпечує генерацію вихідної реакції системи, наприклад світлового, звукового або комбінованого попередження. Така внутрішня побудова дозволяє зробити архітектуру зрозумілою, послідовною та придатною для подальшого програмного й апаратного розширення. Загальна архітектура мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів поданно на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Загальна архітектура мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів

Окреме місце в загальній архітектурі займає підсистема прийняття рішень. Вона не є окремим фізичним модулем, однак з точки зору логіки роботи системи виступає самостійним функціональним рівнем. Її призначення полягає в тому, щоб на основі оброблених значень відстані визначити поточний режим роботи системи. Для цього передбачено розмежування щонайменше кількох станів: нормального стану, за якого об'єкт перебуває поза небезпечною зоною; стану попередження, коли зафіксовано наближення до контрольного порогу; та критичного стану, коли відстань до об'єкта свідчить про високий ризик зіткнення. Якщо система доповнюється аналізом швидкості зміни відстані, підсистема прийняття рішень отримує змогу не лише реагувати на поточне положення об'єкта, а й прогнозувати загрозу за тенденцією зближення. Саме це надає архітектурі не пасивного, а активного характеру.

Наступним архітектурним рівнем є підсистема взаємодії з користувачем або зовнішнім технічним середовищем. У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи цей рівень доцільно розглядати як механізм відображення результатів роботи системи у формі, придатній для швидкого сприйняття. Для таких задач найдоцільнішими є світлова індикація, звукове сповіщення або їх поєднання. Якщо система виявляє об'єкт на безпечній відстані, вихідний рівень залишається у штатному режимі. При наближенні до межі небезпеки формується попереджувальний сигнал, а при досягненні критичного стану активується більш інтенсивне сповіщення. За потреби ця архітектура може бути доповнена дисплейним модулем, журналюванням подій або передачею інформації до зовнішньої системи вищого рівня, однак базова конфігурація вже забезпечує реалізацію основної функції - своєчасного повідомлення про загрозу.

Важливою складовою загальної архітектури є підсистема живлення та забезпечення стабільності роботи. Для мікроконтролерної кіберфізичної системи безпеки руху надійність живлення має особливе значення, оскільки навіть короточасний збій може призвести до пропуску небезпечної події або до некоректного спрацювання. Через це архітектура повинна передбачати

узгодження робочих напруг між мікроконтролером, лазерними сенсорами та вихідними модулями, а також базові заходи захисту від просадок напруги, шумів живлення і короточасних перешкод. У практичному розумінні це означає, що підсистема живлення не розглядається як допоміжний елемент, а входить до загальної функціональної структури системи нарівні з сенсорною та обчислювальною частинами.

З точки зору кіберфізичного підходу важливо підкреслити, що запропонована архітектура передбачає безперервний обмін між фізичним і цифровим рівнями. Фізичне середовище постійно впливає на показники сенсорів, ці показники оцифровуються та інтерпретуються мікроконтролером, після чого цифрова частина системи формує вплив у вигляді попередження або керуючої реакції. Далі цей вплив опосередковано змінює поведінку людини або технічного об'єкта, що знову впливає на стан фізичного середовища. Саме така циклічність і робить систему кіберфізичною, а не просто сенсорною чи сигнальною. Архітектура в такому випадку охоплює не лише набір вузлів, а й логіку безперервного функціонального замикання між вимірюванням і реакцією.

Не менш важливою рисою загальної архітектури є її модульність. Кожна підсистема виконує чітко визначену функцію, а зв'язки між модулями побудовано так, щоб спростити модернізацію й масштабування. Якщо виникає потреба збільшити кількість контрольованих напрямків, до системи можуть бути додані нові лазерні дальноміри. Якщо виникає потреба у складнішому відображенні інформації, сигнальну підсистему можна доповнити дисплеєм або бездротовим каналом передавання. Якщо в подальшому з'явиться необхідність підвищити точність позиціонування, програмний блок аналізу може бути розширений методами більш глибокої обробки даних. Це дозволяє розглядати архітектуру не як жорстко фіксовану схему, а як основу, придатну до розвитку без порушення базової логіки роботи.

У підсумку загальну архітектуру мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів сформовано як багаторівневу

структуру, що охоплює сенсорну підсистему на основі лазерних дальномірів, мікроконтролерний вузол обробки даних, підсистему прийняття рішень, засоби індикації та підсистему живлення. Така побудова забезпечує безперервне отримання вимірювальної інформації, її детерміновану обробку в реальному часі та формування своєчасної реакції на небезпечне зближення. Саме ця архітектура надалі визначає логіку вибору компонентів, розроблення структурної та функціональної схем, а також побудову алгоритмів роботи системи в наступних підрозділах.

2.2 Обґрунтування вибору апаратних і програмних засобів реалізації системи

Розроблювана мікроконтролерна кіберфізична система повинна забезпечувати безперервне отримання даних про відстань до об'єктів, виконувати їх обробку в реальному часі, виявляти небезпечне зближення та формувати зрозумілу реакцію для запобігання зіткненню. Через це обрані компоненти повинні поєднувати достатню швидкодію, конструктивну простоту, доступність, зручність інтеграції та придатність до макетної й практичної реалізації. Вибір не може ґрунтуватися лише на максимальних технічних характеристиках окремого модуля, оскільки для цієї системи більш важливим є узгоджена робота всіх елементів у межах єдиного функціонального контуру.

Першочергова увага приділяється вибору сенсорної бази, оскільки саме вона формує первинну інформацію про просторовий стан контрольованої зони. Для цієї системи найбільш доцільним визнано використання лазернихToF-дальномірів, тобто модулів, що вимірюють відстань за часом проходження світлового імпульсу до об'єкта і назад. Такий вибір пояснюється тим, що сенсори цього типу забезпечують пряме цифрове значення відстані, не потребують складного аналогового тракту обробки та добре узгоджуються з мікроконтролерними платформами. Для бакалаврської кваліфікаційної роботи

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

доцільно орієнтуватися на модулі сімейства VL53L1X або близькі за функціональними можливостями ToF-сенсори, оскільки вони підтримують цифровий обмін даними, мають компактні розміри, невисоке енергоспоживання та достатню точність для контролю ближньої зони. Саме контроль ближньої та середньої дистанції в межах кількох метрів є найбільш важливим для задачі своєчасного виявлення небезпечного зближення.

Вибір на користь лазерного ToF-модуля пояснюється не лише його точністю, а й характером вихідних даних. На відміну від камерних рішень, де необхідно аналізувати зображення, або від ультразвукових модулів, де результат сильніше залежить від форми та акустичних властивостей поверхні, лазерний сенсор одразу формує числову оцінку відстані, придатну до подальшої програмної інтерпретації. Це суттєво зменшує складність програмної частини та дозволяє реалізувати логіку роботи системи на доступній мікроконтролерній платформі без переходу до повноцінних одноплатних комп'ютерів. Окрім цього, компактні ToF-модулі зручно розміщуються на макеті або в корпусі, що важливо з конструктивної точки зору.

Під час обґрунтування вибору сенсора враховано і ті обмеження, які характерні для лазерних модулів. Такі дальноміри можуть чутливо реагувати на дуже темні поверхні, великі кути падіння променя, сильну засвітку або наявність частинок пилу в повітрі. Проте ці недоліки не перекреслюють їх придатності для системи, а лише визначають вимоги до програмної обробки даних і до фізичного розміщення модуля. Для бакалаврської кваліфікаційної роботи це навіть є перевагою з інженерної точки зору, оскільки дозволяє не просто підключити готовий сенсор, а сформувавши повноцінний апаратно-програмний підхід, де достовірність результату забезпечується як властивостями самого модуля, так і алгоритмами фільтрації та перевірки вимірювань.

Як центральну обчислювальну платформу доцільно обрати ESP32, зокрема одну з поширених плат розробки сімейства ESP32 DevKit. Такий вибір пояснюється одразу кількома причинами. По-перше, ESP32 має достатню

обчислювальну продуктивність для циклічного опитування кількох сенсорів, виконання фільтрації, аналізу динаміки зміни відстані та формування сигналів реагування без помітних затримок. По-друге, ця платформа містить достатній набір периферійних інтерфейсів, зокрема I2C, UART, SPI, цифрові входи та виходи, що дозволяє без складних додаткових засобів підключати лазерні сенсори, модулі індикації та допоміжні вузли. По-третє, ESP32 є доступною, недорогою та добре документованою платформою, що суттєво спрощує розроблення і налагодження системи в умовах виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи. Схему взаємозв'язку обраних апаратних і програмних засобів реалізації системи зображено на рисунку 2.2.

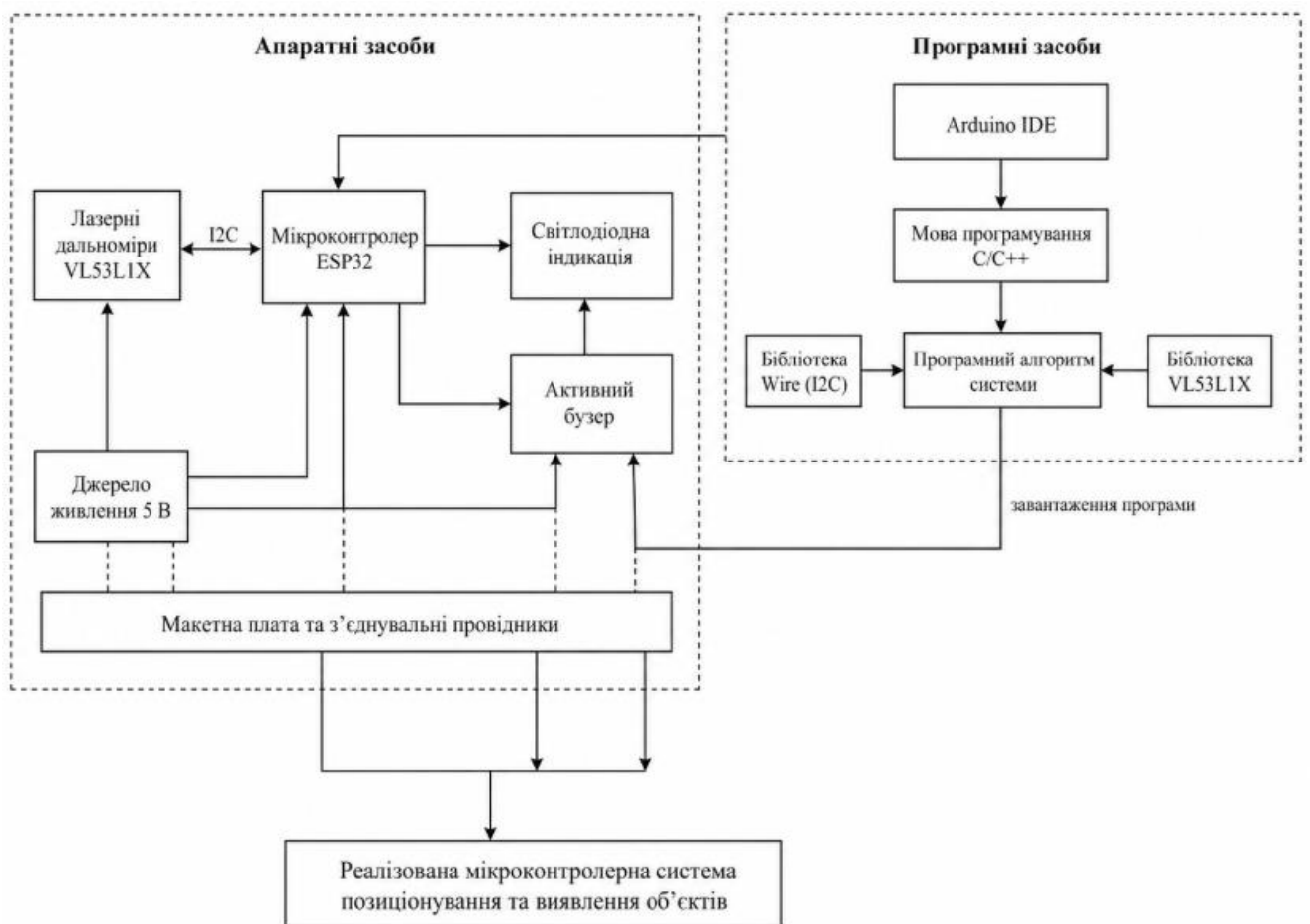


Рисунок 2.2 – Схема взаємозв'язку обраних апаратних і програмних засобів реалізації системи

Ще однією важливою перевагою ESP32 є її енергоефективність у поєднанні з достатнім запасом обчислювальних ресурсів. Для системи безпеки руху це має практичне значення, оскільки пристрій може працювати як від лабораторного джерела, так і від автономного живлення. У разі потреби така платформа дозволяє додати бездротове передавання даних, журналювання подій або віддалене спостереження без повної зміни архітектури. Навіть якщо в поточній реалізації ці можливості не використовуються як основні, сам факт їх наявності підвищує гнучкість обраного рішення та відкриває простір для подальшого розширення функціоналу. Це особливо цінно в межах бакалаврської кваліфікаційної роботи, де базова система повинна бути реальною та працездатною, але водночас перспективною з точки зору подальшого розвитку.

Окремого обґрунтування потребує вибір допоміжних апаратних засобів. Для формування попереджувальної реакції доцільно використати світлодіодну індикацію та звуковий випромінювач, наприклад активний буюер. Світлова індикація забезпечує швидке візуальне сприйняття стану системи, а звуковий сигнал дозволяє привернути увагу навіть тоді, коли оператор або користувач не спостерігає безпосередньо за пристроєм. Поєднання цих двох каналів реагування є простим, але водночас ефективним рішенням для системи виявлення небезпечного зближення. Якщо поточна відстань до об'єкта перебуває в межах безпечної зони, система працює у штатному режимі. При переході в зону попередження світлова індикація змінює свій стан, а в критичній ситуації активується також звуковий сигнал. Такий підхід не перевантажує систему складними інтерфейсами, але забезпечує однозначну та зрозумілу реакцію.

За потреби архітектура може бути доповнена невеликим дисплеєм, наприклад OLED-модулем, для відображення поточних значень відстані, режиму роботи або службової інформації. Проте для базової конфігурації бакалаврської кваліфікаційної роботи дисплей не є обов'язковим елементом, оскільки основна задача полягає саме у виявленні небезпечного зближення та сигналізації про нього, а не в побудові складного інтерфейсу користувача. Відмова від

									Арк.
									25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

надлишкових елементів дозволяє спростити апаратну частину, зменшити кількість можливих джерел збоїв та зосередитися на головній функціональності системи.

Не менш важливою є підсистема живлення. Для роботи ESP32 та більшості лазерних ToF-модулів необхідне стабільне живлення з невеликими відхиленнями напруги, оскільки саме якість живлення суттєво впливає на коректність обміну даними й загальну стабільність системи. Через це доцільно використовувати окремо продумане джерело живлення з відповідним стабілізуючим вузлом. Для макетної реалізації достатньо живлення від USB або лабораторного джерела, однак при переході до більш автономної конфігурації доцільним є використання акумуляторного джерела з понижувальним або стабілізуючим перетворювачем. Такий підхід дозволяє підтримувати однакові умови роботи як для мікроконтролера, так і для сенсорної та сигнальної частин. Саме тому вибір джерела живлення розглядається не як допоміжне питання, а як повноцінний елемент загальної реалізації системи.

Через це програмну частину доцільно побудувати так, щоб бібліотека забезпечувала базовий обмін із сенсором, а ключові рішення щодо аналізу даних і формування сигналів приймалися вже власними алгоритмами системи. Обрані апаратні та програмні засоби реалізації системи та їх призначення подано в таблиці 2.1.

Окремо варто обґрунтувати, чому для цієї роботи не обираються складніші програмні та апаратні платформи, наприклад Raspberry Pi або повноцінні комп'ютерні модулі. Хоча вони мають вищу обчислювальну потужність і ширші можливості щодо візуалізації чи мережевої взаємодії, для поставленої задачі така потужність є надмірною. Система, що визначає відстань, аналізує зміну цієї відстані та формує сигнал безпеки, не потребує обробки великих масивів даних або використання складних операційних систем. Навпаки, перехід до подібних платформ ускладнив би структуру рішення, підвищив би енергоспоживання, збільшив би габарити та міг би негативно вплинути на

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

передбачуваність часу реакції. Для бакалаврської кваліфікаційної роботи значно більш доцільним є вибір компактної мікроконтролерної основи, яка краще відповідає поставленій функціональній задачі.

Таблиця 2.1 - Обрані апаратні та програмні засоби реалізації системи та їх призначення

Найменування засобу	Тип засобу	Призначення в системі
ESP32 DevKit	мікроконтролерна платформа	Виконує зчитування даних із лазерних дальномірів, їх обробку, аналіз небезпечного зближення та керування сигнальними модулями
VL53L1X	лазерний ToF-дальномір	Вимірює відстань до об'єкта в контрольованій зоні
Світлодіоди	засіб світлової індикації	Відображають поточний стан системи та рівень небезпеки зближення
Активний бузер	засіб звукового оповіщення	Формує звуковий сигнал у разі виявлення небезпечного зближення
Макетна плата та з'єднувальні провідники	монтажні елементи	Забезпечують збирання та налагодження прототипу системи
C/C++	мова програмування	Реалізує алгоритми зчитування, обробки, аналізу даних і формування сигналів
Wire	програмна бібліотека	Забезпечує обмін даними між ESP32 та лазерним дальноміром по інтерфейсу I2C
Бібліотека для VL53L1X	програмна бібліотека	Використовується для ініціалізації сенсора, запуску вимірювань та отримання значень відстані

Отже, сукупність технічних і практичних міркувань дозволяє обґрунтувати вибір апаратних і програмних засобів реалізації системи таким чином: як сенсорну основу доцільно використати лазерні ToF-дальноміри, як обчислювальне ядро - мікроконтролерну платформу ESP32, як засоби реагування - світлову та звукову індикацію, як основу програмної реалізації - середовище Arduino IDE та код мовою C/C++ з модульною організацією алгоритму. Саме така конфігурація забезпечує потрібний баланс між функціональністю, стабільністю, доступністю, простотою налагодження та можливістю подальшого розвитку системи. Унаслідок цього обраний набір засобів виглядає найбільш доцільним для реалізації мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів у межах бакалаврської кваліфікаційної роботи.

2.3 Розроблення структурної та функціональної схеми системи

Загальна архітектура системи задає її концептуальну побудову, то структурна схема вже конкретизує, з яких саме вузлів складається розроблюване рішення і яким чином ці вузли поєднуються між собою в межах єдиного технічного контуру. Функціональна схема, у свою чергу, показує не стільки фізичне поєднання компонентів, скільки послідовність виконання основних дій, що перетворюють виміряну відстань до об'єкта на зрозумілий сигнал небезпеки або попередження.

Під час розроблення структурної схеми вихідною логікою прийнято принцип поетапного проходження інформації від фізичного середовища до виконавчої реакції системи. На першому етапі формується зона контролю, у межах якої можуть з'являтися об'єкти, що становлять потенційну небезпеку для руху. У цій зоні розміщуються лазерні дальноміри, орієнтовані на вимірювання відстані до перешкод у заданому напрямку або в кількох напрямках одночасно. Далі сигнали від сенсорів надходять до мікроконтролерного вузла, де

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

виконується приймання даних, їх перевірка, обробка та формування висновку щодо поточного стану простору. Після цього результат передається до підсистеми індикації та сигналізації, яка вже безпосередньо взаємодіє з користувачем або оператором. Окремо в структурі системи передбачено вузол живлення, який забезпечує стабільну роботу всіх функціональних частин і виступає базовим елементом загальної надійності.

Структурну схему системи доцільно розглядати як сукупність кількох основних апаратних блоків. Першим блоком визначено сенсорний модуль, до складу якого входять один або кілька лазерних дальномірів. Саме цей блок відповідає за перетворення реальної просторової ситуації на цифрові значення відстані. Другим блоком сформовано мікроконтролерний обчислювальний вузол на базі ESP32, який виступає центральним координувальним елементом. Третім блоком виступає модуль сигнального оповіщення, де реалізовано світлову та звукову індикацію. Четвертим блоком передбачено підсистему живлення, яка формує необхідні рівні напруги та підтримує стабільність функціонування. Якщо система в подальшому розширюється, до цієї структури можуть бути додані допоміжні блоки відображення інформації, журналювання або передавання даних, однак базова схема вже забезпечує реалізацію головної прикладної задачі.

У структурній схемі важливо показати, що цей блок не працює самостійно, а активується виключно за результатом рішення, сформованого мікроконтролерним вузлом. Це підкреслює, що вся система діє як єдиний цілісний механізм, а не як набір окремо підключених модулів.

Підсистема живлення в розробленій структурній схемі також набуває повноцінного значення, хоча в багатьох описах її помилково зводять до другорядного елемента. Для цієї системи стабільність живлення безпосередньо впливає на точність обміну даними між дальномірами та мікроконтролером, коректність формування сигналів і загальну відмовостійкість. Саме тому у структурній схемі доцільно показати окремий блок живлення, від якого живляться сенсорна, обчислювальна та сигнальна частини. Така побудова

									Арк.
									29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

підкреслює, що система функціонує не лише як інформаційний, а й як енергетично зв'язаний комплекс, де нестабільність одного вузла може вплинути на поведінку всього рішення в цілому. Функціональну схему роботи подано на рисунку 2.3.

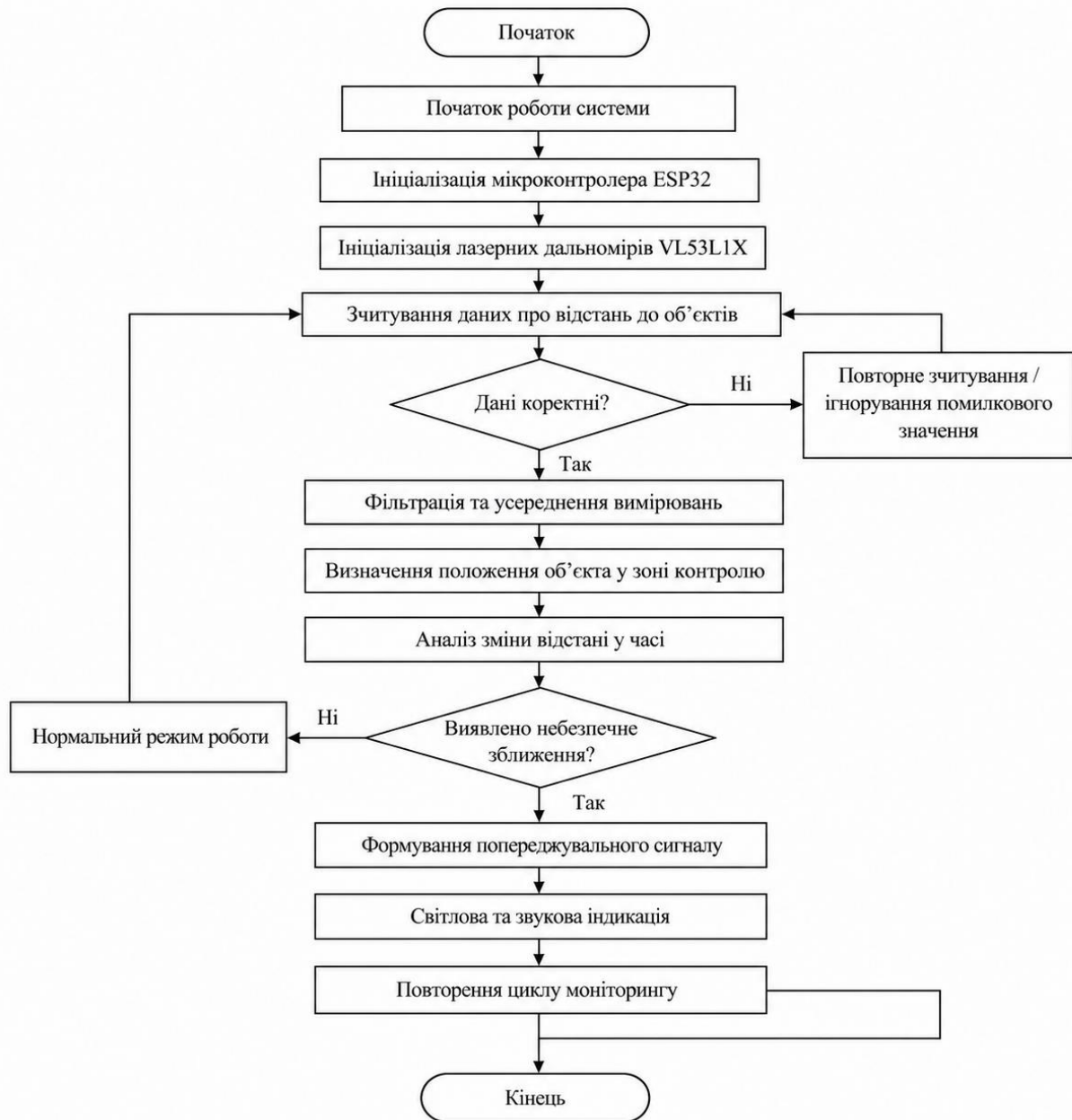


Рисунок 2.3 – Функціональна схема роботи мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів

Якщо структурна схема відображає склад і зв'язки елементів, то функціональна схема формує уявлення про послідовність виконання внутрішніх процесів системи. У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи функціональну схему доцільно будувати за логікою поетапного проходження інформації. На першій функціональній стадії здійснюється вимірювання відстані до об'єкта лазерним дальноміром. На другій стадії ці дані надходять до мікроконтролера та проходять перевірку на коректність. На третій стадії виконується фільтрація та згладжування значень, щоб прибрати випадкові відхилення. На четвертій стадії реалізується аналіз порогових умов і зміни відстані в часі. На п'ятій стадії формується рішення про поточний стан системи, після чого активується відповідний режим індикації або сигналізації. Така функціональна побудова показує, що реакція системи є не прямим наслідком одного вимірювання, а результатом обробленого та інтерпретованого потоку даних.

Функціональна схема системи має включати також внутрішнє розмежування режимів роботи. У нормальному режимі дальноміри безперервно виконують вимірювання, а мікроконтролер циклічно приймає та аналізує ці дані без формування тривожного сигналу. Якщо виміряне значення наближається до попереджувальної межі, система переходить у режим попередження. У цьому режимі змінюється стан світлової індикації, а в окремих варіантах може активуватися короткий звуковий сигнал. Якщо ж відстань до об'єкта досягає критичного порогу або швидкість зближення свідчить про високий ризик зіткнення, функціональна схема передбачає перехід у критичний режим. У такому режимі система формує більш інтенсивний сигнал небезпеки. Наявність таких станів є важливою не лише для програмної реалізації, а й для загального логічного оформлення функціональної схеми, оскільки саме вони демонструють, як система інтерпретує зміну просторової ситуації.

У підсумку розроблення структурної та функціональної схем системи дозволило сформувати цілісне уявлення про будову мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів, визначити головні

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

модулі, зафіксувати їх взаємозв'язки та описати послідовність проходження інформації від моменту вимірювання відстані до формування попереджувальної реакції. Це створює чітку основу для подальшого опису алгоритмів зчитування, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів, а також для переходу до програмно-апаратної реалізації всієї системи.

2.4 Організація збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів

Збір даних у розробленій системі організовано за циклічним принципом, за якого мікроконтролер у безперервному режимі опитує лазерні дальноміри через цифровий інтерфейс обміну та з фіксованою періодичністю отримує нові значення відстані. Такий підхід обрано не випадково, оскільки для задач безпеки руху принципове значення має не разове визначення дистанції, а саме постійне оновлення інформації про простір. Унаслідок цього система не обмежується одиничним вимірюванням, а підтримує безперервний потік даних, який відображає поточний стан контрольованої зони в реальному часі. Для цього в програмній частині сформовано регулярний цикл опитування, де кожне вимірювання виконується через визначений інтервал часу. Така структура дозволяє підтримувати однакову частоту оновлення даних, а це, своєю чергою, спрощує подальший аналіз зміни відстані та визначення характеру зближення об'єкта.

Під час організації збору даних важливо врахувати, що сам по собі факт наявності цифрового значення відстані ще не гарантує його придатності до подальшого використання. Лазерні дальноміри, навіть за достатньо високої точності, можуть у окремих випадках формувати нестабільні або сумнівні результати. На це впливають оптичні властивості поверхні об'єкта, кут падіння променя, стороння засвітка, пил у повітрі, вібрації конструкції або тимчасові особливості самого процесу зчитування. Саме тому після кожного отриманого значення в системі реалізовано етап первинної перевірки, під час якого

оцінюється, чи потрапляє вимірювання до допустимого робочого діапазону та чи не має воно ознак очевидної аномальності. Якщо сенсор повертає значення, що фізично не відповідає очікуваній зоні контролю, або формує службовий результат, який свідчить про помилку вимірювання, таке значення не використовується для негайного формування рішення, а відкидається або передається до блоку додаткової перевірки.

Після етапу первинного збору даних і відсікання явно некоректних вимірювань у системі реалізовано блок попередньої обробки. Його головне призначення полягає в тому, щоб зменшити вплив поодиноких випадкових відхилень і сформувати більш стійку послідовність значень, придатну для подальшого аналізу. Для цього в логіці системи передбачено згладжування потоку вимірювань. Найпростішим і водночас достатньо ефективним способом для такої задачі є усереднення кількох послідовних значень або використання ковзного вікна. За такого підходу кожне нове вимірювання не розглядається ізольовано, а порівнюється з попередніми та включається до короткої локальної історії вимірювань. Це дозволяє зменшити чутливість до одиничних стрибків, які можуть з'являтися через випадкові зовнішні фактори, і сформувати більш стабільну оцінку поточної відстані.

Окрему роль у цьому процесі відіграє виявлення аномальних значень. Якщо чергове вимірювання занадто різко відрізняється від попередніх і така зміна не виглядає фізично обґрунтованою, система трактує його як потенційно помилкове. Наприклад, якщо об'єкт перебував на умовно стабільній дистанції, а наступне значення миттєво демонструє неприродний стрибок без жодної логічної причини, це не повинно автоматично переводити систему в інший стан. Саме тому в логіці обробки передбачено механізм порівняння нового значення з локальним діапазоном попередніх результатів. Якщо відхилення перевищує допустиму межу, значення не використовується як основа для негайного реагування, а або ігнорується, або очікує підтвердження наступними циклами

опитування. Такий підхід підвищує загальну стійкість системи та зменшує ймовірність хибних спрацювань.

Після згладжування та валідації даних формується етап власне аналізу відстані. На цьому рівні система вже працює не з окремими сирими вимірюваннями, а з очищеним цифровим рядом, який відображає реальніший стан простору. Аналіз починається з визначення поточного значення контрольної відстані. Саме це значення порівнюється з наперед визначеними порогами, які задають межі безпечної, попереджувальної та критичної зон. Якщо відстань залишається в межах допустимого інтервалу, система підтримує нормальний режим роботи. Якщо об'єкт наближається до межі, яка визначена як потенційно небезпечна, активується режим попередження. Така організація аналізу дозволяє формувати реакцію не одномоментно й не хаотично, а на основі чітко визначених критеріїв. Схему організації збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів зображено на рисунку 2.4.

Водночас для задач підвищення безпеки руху недостатньо оцінювати лише поточну відстань. Не менш важливим є аналіз того, як саме ця відстань змінюється в часі. Саме тому в системі передбачено блок динамічного аналізу, який оцінює тенденцію зміни вимірювань між сусідніми циклами опитування. Якщо відстань до об'єкта поступово зменшується, система фіксує факт зближення. Якщо ж зменшення відбувається швидко, це свідчить про підвищений ризик. У такому разі рішення не повинно базуватися лише на поточному значенні дистанції, оскільки навіть при ще формально допустимій відстані інтенсивна динаміка наближення вже може вказувати на небезпечний розвиток ситуації. Саме цей момент і надає системі попереджувального, а не лише реактивного характеру.

Для реалізації такого підходу в логіці аналізу використовується порівняння кількох останніх підтверджених значень відстані. На основі цих значень оцінюється, чи є зміна сталою, випадковою або прискореною. Якщо вимірювання показують стійку тенденцію до зменшення дистанції протягом

кількох циклів поспіль, система інтерпретує це як реальне зближення, а не як випадкове коливання.

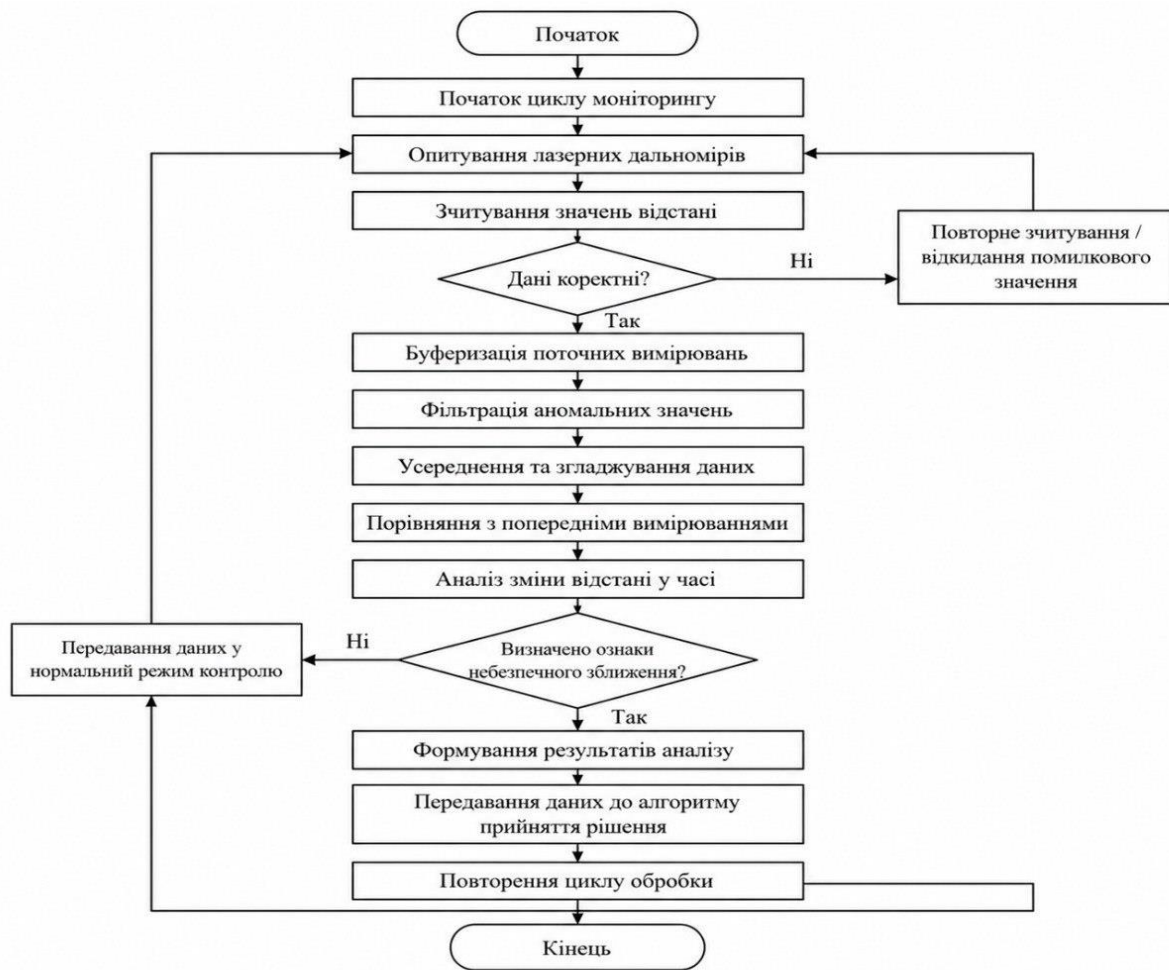


Рисунок 2.4 – Схема організації збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів

Додатково може визначатися приблизна швидкість зміни відстані, тобто умовна інтенсивність наближення. Навіть без складних математичних моделей цього вже достатньо для побудови ефективної логіки виявлення небезпечної ситуації. У практичному сенсі це означає, що система починає реагувати не лише на “скільки метрів залишилось”, а й на “наскільки швидко зменшується ця відстань”.

Ще одним важливим елементом організації обробки даних є збереження послідовності станів. Це потрібно для того, щоб система не перемикалась надто різко між режимами через невеликі коливання вимірювань поблизу порогових

меж. Якщо цього не врахувати, при значеннях, що коливаються близько до межі попередження, індикація може почати хаотично змінюватися, а звуковий сигнал - вмикатися й вимикатися надто часто. Для уникнення такого ефекту доцільно передбачити певну інерційність логіки або невеликий гістерезис між порогами входу й виходу зі стану. У такому разі система змінює стан лише тоді, коли новий режим підтверджено не одним випадковим вимірюванням, а достатньо стійкою серією даних. Це покращує зручність сприйняття її роботи та підвищує довіру до сформованих попереджень.

З практичної точки зору організація збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів фактично визначає якість усієї системи. Навіть за використання точного сенсора помилки в часовій організації, відсутність фільтрації або надто спрощена логіка порівняння можуть призвести до нестабільної роботи. І навпаки, грамотно побудований блок обробки дозволяє отримати високий рівень надійності навіть у тих умовах, де окремі вимірювання мають природні коливання. Саме тому у структурі розроблюваної системи цей підрозділ займає центральне місце: тут формується не лише алгоритм читання даних, а й реальний механізм переходу від сенсорної інформації до практичного рішення про безпеку.

2.5 Розроблення алгоритму позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів

Під час розроблення алгоритму вихідною передумовою прийнято те, що система повинна працювати безперервно, циклічно й передбачувано. Це означає, що її робота не поділяється на окремі незалежні епізоди, а реалізується як повторюваний замкнений цикл, у межах якого на кожній ітерації виконуються однакові логічні кроки. Спочатку зчитуються значення від усіх активних лазерних дальномірів, далі перевіряється коректність отриманих вимірювань, після цього обчислюється узгоджене представлення поточного просторового

									Арк.
									36
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

стану, потім виконується аналіз динаміки зміни відстані та, зрештою, формується рішення щодо рівня небезпеки. Саме така циклічна організація дозволяє забезпечити властивість безперервного супроводу об'єкта в зоні контролю та мінімізувати затримку між реальною зміною ситуації і реакцією системи.

Алгоритм позиціонування в межах цієї бакалаврської кваліфікаційної роботи побудовано з урахуванням того, що положення об'єкта визначається не у вигляді повної просторової моделі з великою кількістю координат, а у вигляді прикладної оцінки його місця розташування відносно зони контролю, яку формують лазерні дальноміри. Якщо система використовує один сенсор, позиціонування зводиться до визначення відстані до об'єкта вздовж контрольної осі вимірювання. Якщо ж використовується кілька сенсорів, позиціонування відбувається за секторальним принципом: кожен дальномір відповідає за окремий напрямок або ділянку простору, а присутність об'єкта фіксується в тому секторі, де отримано відповідне підтвержене зменшення дистанції. За наявності кількох одночасно активних вимірювальних каналів алгоритм дозволяє уточнювати положення об'єкта шляхом порівняння значень відстані в суміжних секторах. Це не ускладнює систему до рівня повноцінної навігаційної моделі, але забезпечує достатню точність локалізації для задач підвищення безпеки руху.

Стартовим етапом алгоритму є ініціалізація всіх логічних і часових параметрів системи. На цьому етапі після ввімкнення мікроконтролер налаштовує інтерфейси зв'язку з лазерними дальномірами, активує виходи, що відповідають за світлову та звукову індикацію, а також формує початкові значення змінних, які використовуються для зберігання поточних і попередніх вимірювань. Одночасно задаються основні робочі пороги, що поділяють простір на безпечну, попереджувальну та критичну зони. У цій же частині алгоритму формується буфер короткої історії вимірювань, оскільки подальша оцінка зближення потребує не одного випадкового значення, а послідовності кількох

останніх спостережень. Саме з цього моменту алгоритм переходить у безперервний робочий цикл.

Перший крок кожного циклу полягає у зчитуванні поточних значень відстані з лазерних дальномірів. Якщо в системі використовується кілька сенсорів, опитування виконується послідовно або з часовим розведенням, щоб уникнути конфліктів на шині обміну та забезпечити чітку синхронізацію. Для кожного каналу формується поточне значення відстані did_{idi} , де індекс iii відповідає конкретному сектору контролю. Отримані результати не переходять одразу до етапу формування тривоги, оскільки спочатку мають бути перевірені на коректність. Такий підхід потрібен для того, щоб система не реагувала на одиничні збої, тимчасові помилки зв'язку або випадкові артефакти вимірювання.

Після зчитування значень алгоритм виконує перевірку допустимості кожного вимірювання. На цьому етапі відсікаються значення, що виходять за фізично можливі межі роботи обраного сенсора, а також результати, які відзначені як помилкові самим модулем дальноміра. Якщо окреме вимірювання виявляється некоректним, алгоритм не використовує його як основу для прийняття рішення. Замість цього воно або повністю ігнорується, або замінюється попереднім підтвердженим значенням на короткий час, якщо кількість таких збоїв не перевищує задану межу. Якщо ж сенсор починає повертати помилкові дані протягом кількох циклів поспіль, алгоритм фіксує нестабільний стан вимірювального каналу. Це дозволяє відокремити справжню зміну просторової ситуації від технічної нестабільності сенсора.

На наступному етапі алгоритму виконується згладжування потоку даних. Для цього кожне нове підтвержене значення додається до локального буфера останніх вимірювань, а поточна оцінка відстані формується не як одне миттєве значення, а як результат усереднення або медіанного відбору в межах невеликого вікна. Такий підхід особливо важливий у тих випадках, коли на поверхню об'єкта падає промінь під складним кутом або коли в просторі присутні фактори, що можуть короткочасно викликати шумові відхилення. Завдяки цьому система не

стає надто чутливою до одиничних стрибків і зберігає стабільність оцінки навіть у неідеальних умовах. Алгоритм позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів подано на рисунку 2.5. На практиці саме цей етап дозволяє зробити подальше виявлення небезпечного зближення не лише швидким, а й достовірним.

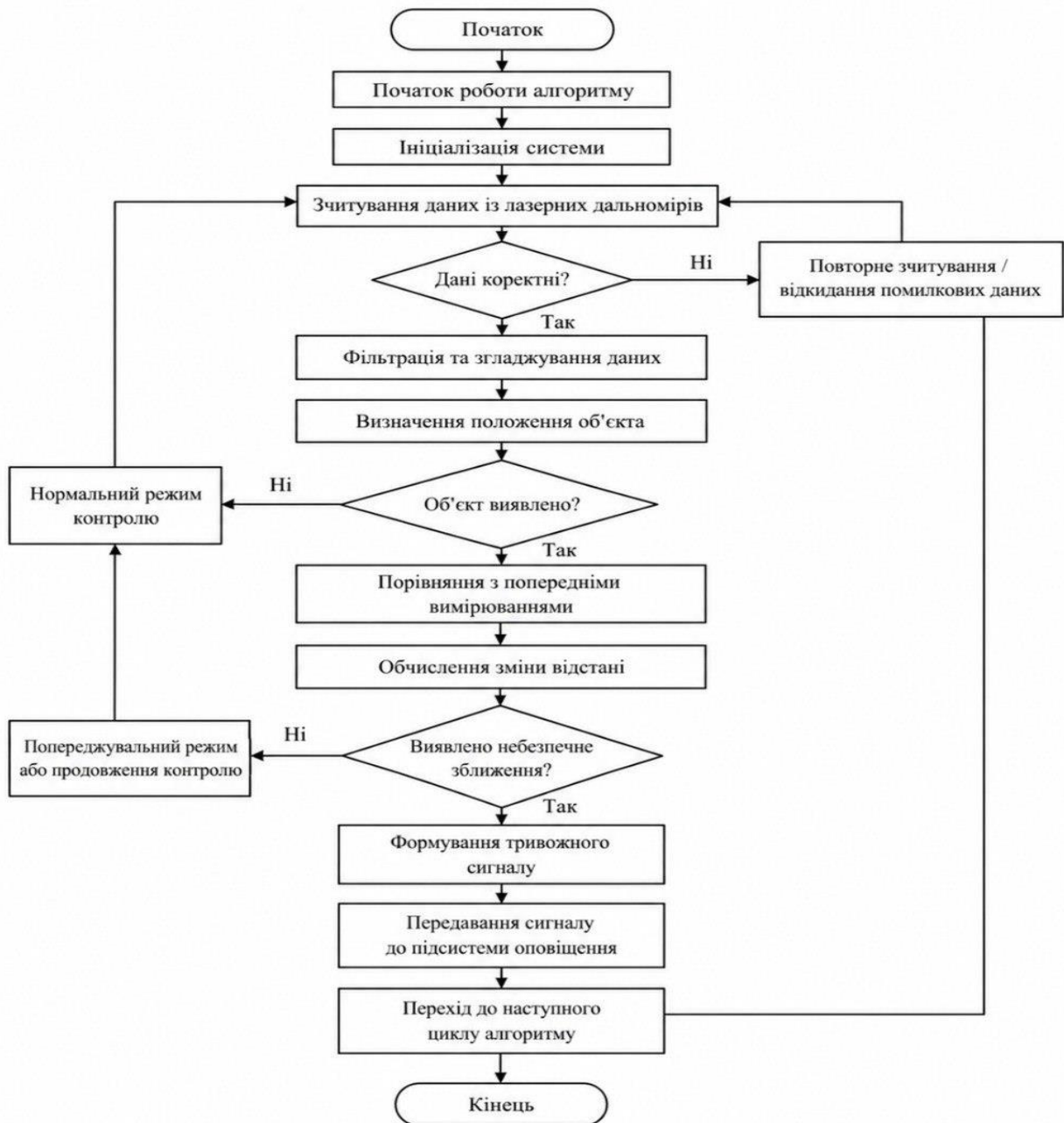


Рисунок 2.5 – Блок-схема алгоритму позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів

Після попередньої обробки алгоритм переходить до етапу позиціонування об'єкта відносно зони контролю. Якщо використовується один дальномір, алгоритм формує скалярну оцінку положення у вигляді поточної дистанції до об'єкта вздовж осі спостереження. Якщо ж система містить кілька сенсорів, положення визначається за тим, у якому секторі отримано мінімальну підтвержену відстань або одночасно виявлено зменшення дистанції в суміжних напрямках. У такому випадку можна вважати, що об'єкт знаходиться в тому секторі, де загроза є найбільш вираженою, а при двох активних каналах - у проміжній зоні між ними. Це рішення цілком відповідає прикладному характеру системи, адже головною задачею є не побудова повної карти простору, а визначення того, де саме формується потенційна загроза та наскільки швидко вона зростає.

Ключовим етапом алгоритму є оцінка небезпечного зближення. Для цього недостатньо лише порівняти поточну відстань із фіксованим порогом. Потрібно також визначити, як ця відстань змінюється в часі. Саме тому в алгоритмі передбачено обчислення різниці між поточним і попереднім згладженим значенням відстані.

На основі поточної відстані та ознак її зміни алгоритм формує три основні режими роботи системи. Перший режим відповідає безпечному стану, коли об'єкт або відсутній у зоні контролю, або перебуває на відстані, що суттєво перевищує попереджувальний поріг. Другий режим відповідає попереджувальному стану, коли дистанція зменшується до значення, близького до граничного, або коли аналіз динаміки показує стале наближення, хоча абсолютна відстань ще не є критично малою. Третій режим відповідає критичному стану, коли об'єкт досягнув небезпечної зони або швидкість зближення свідчить про високу ймовірність швидкого входу до неї. Така трирівнева схема не перевантажує алгоритм зайвими деталями, але дозволяє чітко розмежувати ступені загрози й сформуванати відповідну реакцію.

Щоб запобігти хаотичному перемиканню між станами при коливаннях вимірювань поблизу граничних значень, в алгоритмі доцільно передбачити гістерезис. Це означає, що перехід, наприклад, із безпечного режиму до попереджувального здійснюється при одному значенні порога, а повернення назад - при дещо іншому, більш віддаленому значенні. Завдяки цьому система не перемикається надто часто у разі незначних коливань відстані, а зберігає стабільну логіку поведінки. У практичному сенсі така інерційність покращує сприйняття роботи пристрою та зменшує ймовірність дратівливих хибних реакцій у граничних режимах.

З погляду практичного застосування розроблений алгоритм вирішує одразу кілька взаємопов'язаних задач. По-перше, він забезпечує стабільне зчитування та інтерпретацію даних від лазерних дальномірів. По-друге, він дозволяє визначати поточне положення об'єкта в межах контрольованої зони. По-третє, він формує оцінку небезпечного зближення не лише за абсолютною відстанню, а й за динамікою її зміни. По-четверте, він перетворює отриману оцінку на чітку практичну реакцію системи. Саме така сукупність функцій і робить алгоритм повноцінною основою всієї мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів.

2.6 Організація взаємодії системи з користувачем та формування попереджувальних сигналів

Навіть за наявності достатньо точних лазерних дальномірів, стабільної мікроконтролерної обробки та коректно реалізованого алгоритму виявлення небезпечного зближення система не може вважатися повноцінною, якщо її результат не подається у формі, зрозумілій для швидкого сприйняття. Саме тому підсистему взаємодії з користувачем сформовано не як другорядне доповнення до сенсорної частини, а як завершальну ланку загального контуру безпеки, у

межах якої внутрішній технічний стан системи перетворюється на наочний попереджувальний сигнал.

Основна логіка організації взаємодії полягає в тому, що користувач не повинен аналізувати сирі числові значення відстані або самостійно інтерпретувати зміну просторової ситуації. Такі дії суперечили б самій ідеї кіберфізичної системи, оскільки в цьому випадку значна частина навантаження знову переносилася б на людину, а не на автоматизований засіб контролю. Через це взаємодію побудовано за принципом інтерпретованого подання результату: система самостійно оцінює відстань, характер її зміни, рівень небезпеки та вже у спрощеній формі повідомляє про це через індикацію або попереджувальний сигнал. Такий підхід дозволяє скоротити час сприйняття інформації та зробити реакцію на небезпечне зближення більш оперативною.

Під час розроблення цього рівня враховано, що в задачах безпеки руху особливого значення набувають швидкість сприйняття сигналу, однозначність його трактування та мінімальна ймовірність неправильного розуміння поточного стану системи. З цієї причини взаємодію з користувачем доцільно будувати на простих і зрозумілих сигнальних засобах, які не потребують додаткового навчання або складного інтерфейсу. У запропонованому рішенні таку функцію виконують світлова індикація та звукове попередження. Саме поєднання цих двох каналів подання інформації дозволяє сформувати більш надійну систему оповіщення, ніж використання лише одного з них. Візуальний канал забезпечує постійне відображення поточного стану, тоді як звуковий дозволяє негайно привернути увагу в критичній ситуації.

Світлова індикація у структурі взаємодії виконує роль базового інформаційного каналу. Її організацію побудовано так, щоб за допомогою різних станів світлодіодів або режимів їх роботи відображати поточний рівень небезпеки в контрольованій зоні. Якщо система перебуває у нормальному стані, коли об'єкт відсутній або знаходиться на безпечній відстані, світлова індикація відображає штатний режим роботи. Це може бути постійне світіння одного

									Арк.
									42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

індикатора або короткий стабільний сигнал, який підтверджує працездатність системи.

Коли об'єкт наближається до попереджувальної межі, система переходить у другий режим взаємодії, який має сигналізувати про підвищення ризику, але ще не повідомляти про критичну ситуацію. На цьому етапі доцільно змінювати характер світлового сигналу, наприклад використовувати інше джерело світла або інший режим його роботи, зокрема миготіння з помірною частотою. Такий підхід дозволяє зробити зміну стану помітною, але не надто різкою. Користувач у такому випадку сприймає інформацію як попередження про те, що об'єкт увійшов до зони підвищеної уваги, однак ситуація ще не досягнула максимальної небезпеки. Саме цей режим є важливим для формування випереджувальної реакції, оскільки дає змогу відреагувати ще до досягнення критичної дистанції.

У разі переходу об'єкта до небезпечної або критичної зони система активує третій режим взаємодії, який повинен максимально чітко та швидко сигналізувати про загрозу зіткнення. У цьому режимі світлова індикація набуває найбільш вираженого характеру, а разом із нею активується звуковий канал оповіщення. Саме звуковий сигнал у такій ситуації відіграє ключову роль, оскільки він здатний привернути увагу навіть тоді, коли користувач не дивиться безпосередньо на пристрій.

На рисунку 2.6 показано як користувач взаємодіє з мікроконтролерною кіберфізичною системою позиціонування та виявлення об'єктів

У практичному сенсі це особливо важливо, адже небезпечне зближення може виникати раптово, а візуальне сприйняття не завжди є гарантованим. Через це звукове попередження в алгоритмі системи не використовується постійно, а резервується саме для тих станів, де потрібна негайна реакція.

Формування попереджувальних сигналів у системі організовано за принципом відповідності рівню небезпеки. Це означає, що інтенсивність, частота або комбінація сигналів безпосередньо залежать від того, який стан визначено алгоритмом аналізу простору. Якщо загроза відсутня, сигнали мають

фоновий або нейтральний характер. Якщо зафіксовано стале зближення без входу до критичної межі, сигналізація стає помітнішою, але ще зберігає попереджувальний характер. Якщо ж об'єкт знаходиться на критичній дистанції або динаміка наближення свідчить про високий ризик швидкого зіткнення, інтенсивність оповіщення зростає. Завдяки цьому користувач отримує не просто факт спрацювання системи, а якісне уявлення про ступінь небезпеки.

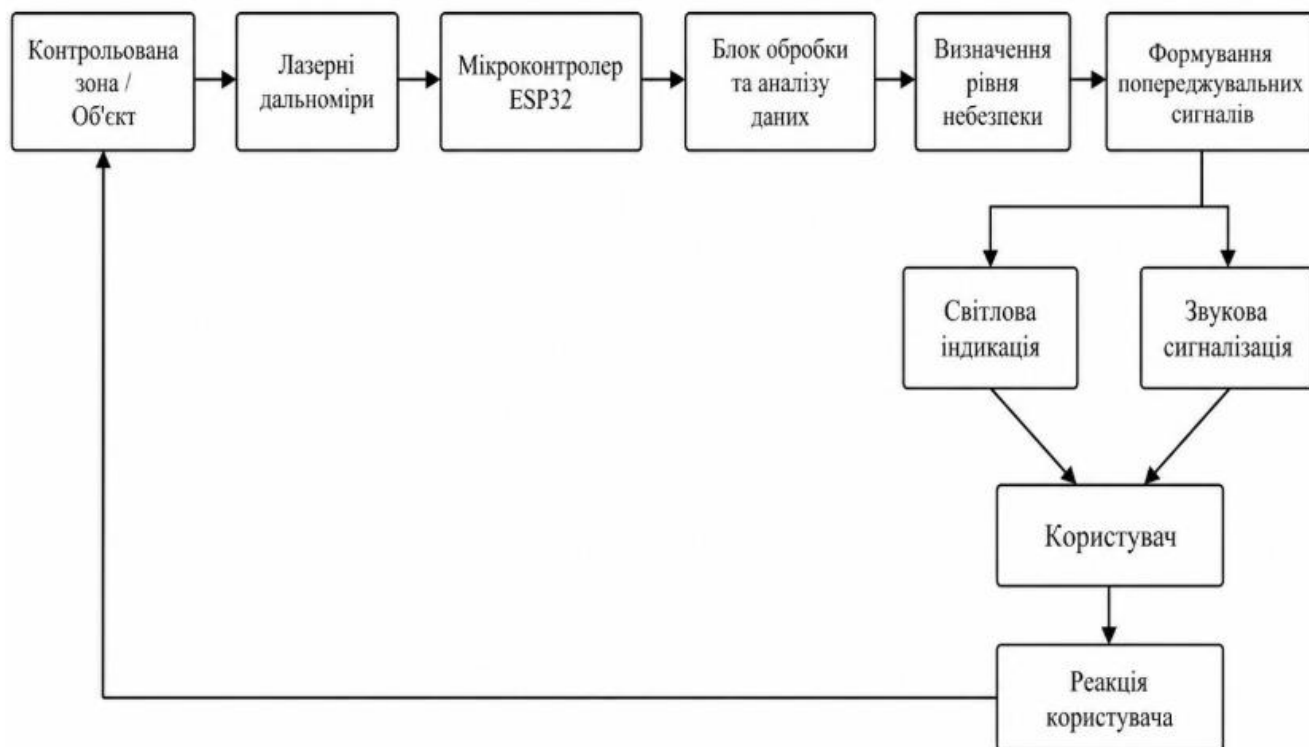


Рисунок 2.6 – Схема взаємодії користувача з мікроконтролерною кіберфізичною системою позиціонування та виявлення об'єктів

Окрему увагу під час організації взаємодії приділено запобіганню надлишковій або надто частій зміні сигналів. Якщо система буде різко перемикає індикацію при кожному незначному коливанні виміряної відстані, це зменшить зручність користування та може викликати недовіру до її роботи. Саме тому логіку формування попереджувальних сигналів узгоджено з механізмами згладжування, гістерезису та підтвердження стану, які закладено в алгоритм аналізу даних. Унаслідок цього сигналізація змінюється не при

випадковому одиничному відхиленні, а лише тоді, коли новий режим підтверджено серією вимірювань або коли система справді фіксує сталу зміну просторової ситуації. Це робить поведінку пристрою більш спокійною, логічною та передбачуваною.

З технічної точки зору формування попереджувальних сигналів організовано через вихідні лінії мікроконтролера, які керують світлодіодами та звуковим випромінювачем. Такий підхід є достатньо простим для реалізації, однак саме він добре відповідає поставленій задачі. Мікроконтролер, аналізуючи результати вимірювання та стан алгоритму, переводить відповідні виходи у потрібний режим роботи, після чого фізичні виконавчі елементи формують сигнал для користувача. У межах цієї логіки вся підсистема взаємодії залишається повністю підконтрольною програмному алгоритму й не потребує складних окремих контролерів або спеціалізованих модулів керування. Це спрощує апаратну частину та підтримує загальну компактність системи.

2.7 Висновки до другого розділу

У другому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи виконано проектування мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів. Сформовано загальну архітектуру системи, у якій виділено сенсорну підсистему, мікроконтролерний обчислювальний вузол, підсистему прийняття рішень, засоби індикації та підсистему живлення. Така побудова дозволила розглядати систему не як набір окремих компонентів, а як цілісний функціональний контур, у межах якого відбувається послідовний перехід від вимірювання відстані до сигналу про небезпеку.

У цьому ж розділі обґрунтовано вибір апаратних і програмних засобів реалізації. Як основні компоненти визначено мікроконтролерну платформу ESP32 DevKit, лазерний ToF-дальномір VL53L1X, засоби світлової та звукової

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

сигналізації, а також програмне середовище Arduino IDE з реалізацією алгоритму мовою C/C++. Розроблено структурну та функціональну схеми системи, описано організацію збору, обробки й аналізу даних від лазерного дальноміра, а також сформовано алгоритм позиціонування та виявлення небезпечного зближення. Окрему увагу приділено логіці взаємодії з користувачем через сигнальні режими, пов'язані з рівнем безпеки. У підсумку в другому розділі отримано завершену проектну основу, яка стала базою для подальшої практичної реалізації системи.

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

3 РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ПЕРЕВІРКА РОБОТИ МІКРОКОНТРОЛЕРНОЇ КІБЕРФІЗИЧНОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ ТА ВИЯВЛЕННЯ ОБ'ЄКТІВ

3.1 Реалізація апаратної частини мікроконтролерної системи

Основою апаратної частини обрано мікроконтролерну платформу ESP32 DevKit, яка виконує роль центрального вузла керування. Її застосування в цій системі виявилось виправданим завдяки достатній обчислювальній продуктивності, наявності цифрових інтерфейсів обміну, зручності програмування та простоті фізичного підключення зовнішніх модулів. У практичній реалізації саме мікроконтролер приймає дані від лазерного дальноміра, виконує їх первинну обробку, визначає логічний стан системи та керує засобами світлового і звукового сповіщення. Такий підхід дозволив зосередити всі ключові керуючі функції в одному апаратному вузлі та уникнути ускладнення структури додатковими проміжними контролерами.

Як сенсорний елемент у складі апаратної частини використано лазернийToF-дальномір VL53L1X, який забезпечує вимірювання відстані до об'єкта в контрольованій зоні. Вибір саме цього модуля дав змогу реалізувати пряму цифрову передачу значень відстані до мікроконтролера без необхідності застосування складного аналогового тракту. У фізичній реалізації сенсор підключено до обчислювального модуля через цифровий інтерфейс I2C, що спростило схему з'єднання та дозволило організувати стабільний обмін даними з мінімальною кількістю провідників. Такий варіант підключення особливо зручний для макетної системи, оскільки дає можливість зберігати компактність конструкції та водночас підтримувати достатню надійність каналу передавання даних.

Важливим етапом реалізації апаратної частини стало формування підсистеми живлення. Для макетного прототипу використано живлення від джерела 5 В, що є зручним і поширеним варіантом для лабораторних та

експериментальних умов. Електроживлення мікроконтролера організовано через штатний вхід плати ESP32, після чого необхідні рівні напруги для внутрішньої логіки та периферійних з'єднань підтримуються апаратними засобами самої плати або відповідними елементами модуля. Така організація дала змогу забезпечити стабільну роботу центрального вузла та знизити ймовірність збоїв, пов'язаних із нестабільністю живлення. Для сенсорного модуля та вихідних елементів також забезпечено узгодження умов живлення відповідно до їх технічних параметрів, що є принципово важливим для коректного функціонування всієї системи.

На рисунку 3.1 показано структуру апаратної реалізації мікроконтролерної системи позиціонування та виявлення об'єктів, у якій відображено взаємозв'язок мікроконтролерної плати, лазерного дальноміра, засобів індикації та підсистеми живлення.

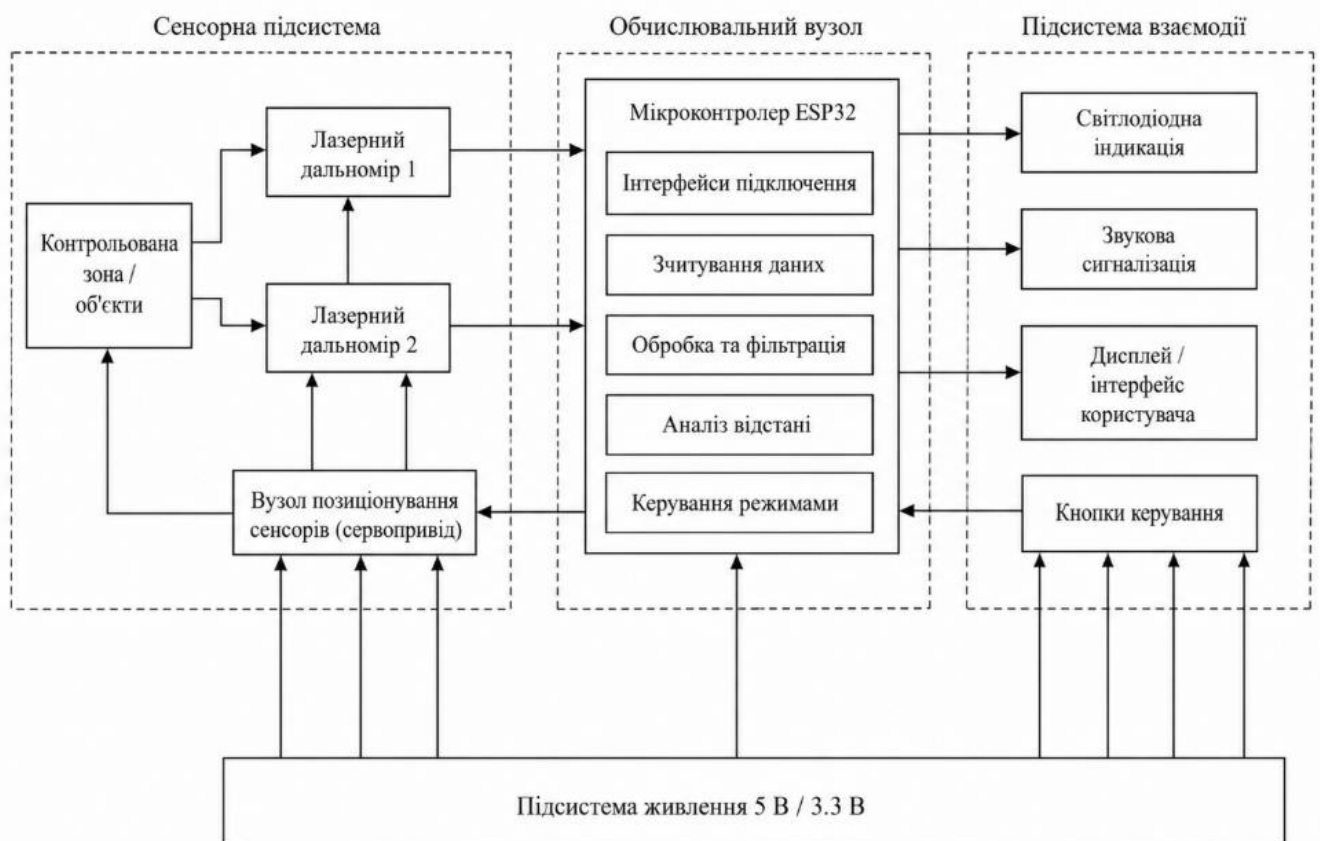


Рисунок 3.1 – Структура апаратної реалізації мікроконтролерної системи позиціонування та виявлення об'єктів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Фізичне складання прототипу виконано на макетній платі із застосуванням з'єднувальних провідників, що дало змогу швидко реалізувати електричні з'єднання між усіма основними модулями та забезпечити зручність подальшого налагодження. Такий спосіб збирання є доцільним на етапі бакалаврської кваліфікаційної роботи, оскільки дозволяє вносити зміни до конфігурації системи без виготовлення окремої друкованої плати. У результаті було спрощено процес перевірки різних варіантів підключення, тестування сигнальних режимів і контролю коректності обміну даними між вузлами. Одночасно макетна реалізація дозволила швидко локалізувати технічні неточності та уточнити остаточну схему підключення компонентів.

Окрему увагу приділено організації провідникових з'єднань між модулями. Для систем такого типу якість монтажу має суттєве значення, оскільки навіть при коректному виборі компонентів надмірно довгі, ненадійні або хаотично розташовані з'єднання можуть призводити до нестабільної роботи, спотворення сигналів або тимчасових втрат зв'язку з сенсором. Саме тому під час складання прототипу було збережено логічну послідовність розміщення елементів: мікроконтролер як центральний вузол, поряд із ним - сенсорний модуль, а вихідні елементи сигналізації розташовано так, щоб спростити виведення сигнальних ліній та зменшити перехресне накладання провідників. Така організація апаратної частини покращує не лише зовнішню впорядкованість макета, а й практичну стабільність його роботи.

Реалізована апаратна конфігурація дозволила сформувати цілісний прототип, придатний до подальшого програмного налагодження та експериментальної перевірки. Центральний мікроконтролерний вузол, лазерний дальномір, світлова індикація, бузер і підсистема живлення в сукупності утворили завершений технічний контур, у межах якого можуть бути реалізовані всі ключові функції системи: зчитування відстані, аналіз просторової ситуації, визначення рівня небезпеки та подання сигналу користувачеві. Це означає, що

апаратна частина не обмежується демонстраційним набором модулів, а фактично виступає реальною основою для побудови працездатної кіберфізичної системи підвищення безпеки руху.

3.2 Реалізація програмної частини системи на базі ESP32

Під час реалізації програмної частини головну увагу зосереджено на забезпеченні безперервного циклу роботи системи, у межах якого виконується ініціалізація периферії, регулярне зчитування відстані, перевірка коректності вимірювань, їх фільтрація, аналіз поточного стану контрольованої зони та керування сигнальними елементами. Така структура програми дала змогу зробити логіку системи прозорою та передбачуваною. Уся програмна частина побудована так, щоб кожен окремий етап обробки даних мав чітко визначене місце в загальному циклі функціонування. Це дозволило уникнути хаотичного виконання дій та забезпечило стабільність реакції системи на зміну просторової ситуації.

Після приймання та перевірки значення в програмі реалізовано блок фільтрації та згладжування вимірювань. У межах цього блоку поточне значення включається до короткої послідовності останніх вимірювань, після чого формується більш стійка оцінка відстані. Такий підхід дозволяє зменшити вплив випадкових стрибків і зберегти стабільність аналізу навіть у тих випадках, коли відбуваються короточасні оптичні спотворення або незначні коливання сигналу. Реалізовану схему обробки було зорієнтовано не на математичну складність, а на практичну ефективність, достатню для коректного функціонування системи на мікроконтролері. У результаті програмна частина зберегла простоту, але водночас стала достатньо надійною для подальшого виявлення небезпечної динаміки зміни відстані.

Наступним важливим етапом програмної реалізації став блок аналізу положення об'єкта та зміни відстані в часі. У цій системі програма не

									Арк.
									50
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

обмежується лише перевіркою одного поточного значення відстані. Після згладжування даних виконується порівняння поточного результату з попередніми вимірюваннями, на основі чого визначається тенденція зміни просторового положення об'єкта. Якщо відстань зменшується протягом кількох послідовних циклів, це інтерпретується як реальне зближення, а не як випадкове коливання. Якщо ж зміна має нестабільний або випадковий характер, програма продовжує спостереження без негайного переходу до режиму сигналізації. Саме така логіка дозволила реалізувати більш надійний механізм виявлення небезпечного зближення, ніж просте порівняння з фіксованим порогом.

На основі результатів аналізу програмна частина переводить систему в один із кількох режимів роботи. У нормальному режимі сигнальні виходи залишаються в пасивному або штатному стані, а програма продовжує циклічне опитування сенсора. Якщо виміряна відстань або характер її зміни свідчать про підвищення ризику, активується попереджувальний режим. У критичному режимі, коли об'єкт наближається до небезпечної межі або швидкість зближення виявляється надто високою, програма формує тривожний вихідний сигнал. Реалізація саме такої багаторежимної логіки дала змогу зробити систему більш гнучкою, оскільки вона реагує не лише на факт присутності об'єкта, а й на ступінь реальної загрози.

Окрему увагу приділено програмному керуванню світловою та звуковою індикацією. У межах програмної частини для кожного режиму роботи системи задано відповідний стан вихідних ліній мікроконтролера. Світлодіоди використовуються для постійного візуального відображення стану системи, тоді як бузер активується у випадках, коли потрібне більш помітне попередження. Керування цими елементами реалізовано без надмірного ускладнення, однак із чітким розмежуванням логіки: нормальний режим, попереджувальний режим і тривожний режим мають різні програмні сценарії активації сигнальних каналів. Це дозволило досягти узгодженої поведінки системи та зробити взаємодію з користувачем зрозумілою.

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

На рисунку 3.2 показано структуру програмної реалізації системи на базі ESP32, у якій відображено взаємозв'язок модулів ініціалізації, зчитування даних, перевірки вимірювань, обробки, аналізу та керування засобами сигналізації.

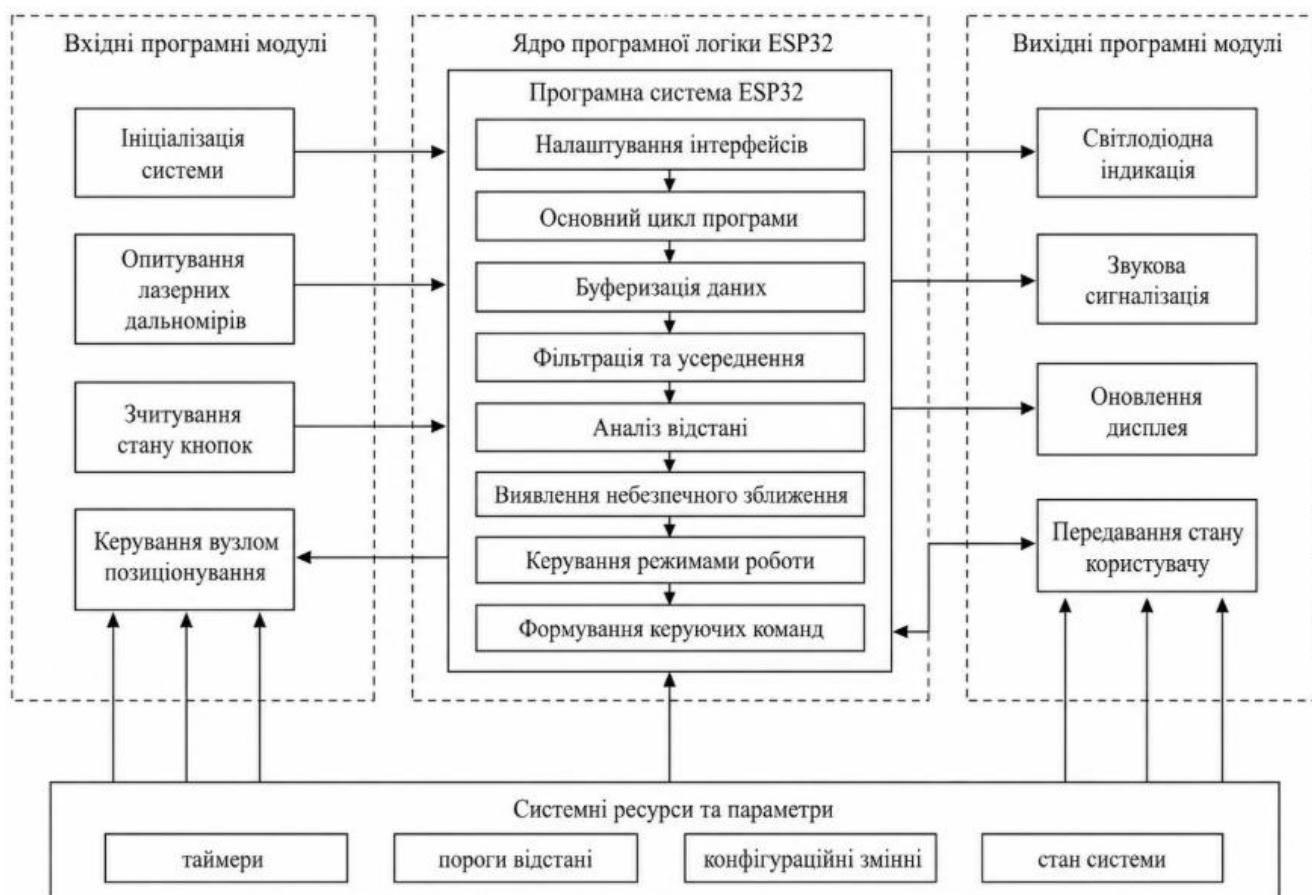


Рисунок 3.2 – Структура програмної реалізації мікроконтролерної системи на базі ESP32

Важливою особливістю програмної реалізації стало використання неблокувальної логіки виконання. Замість довгих затримок, які могли б порушити стабільність циклу опитування, програму побудовано так, щоб основні операції виконувалися послідовно й регулярно без надмірного простою. Це виявилось особливо важливим для задачі контролю зближення, оскільки будь-яка невинуватена пауза в роботі програми може призвести до зниження точності оцінювання швидкості наближення об'єкта. Завдяки такій організації

вдалося зберегти рівномірність зчитування та передбачуваність реакції системи в динамічних умовах.

У процесі програмної реалізації також передбачено базові механізми самоконтролю. Якщо сенсор протягом кількох циклів поспіль не повертає коректних даних, програма фіксує цей стан як ознаку нестабільної роботи вимірювального каналу. У такому випадку система не підміняє технічну помилку сигналом про зовнішню загрозу, а зберігає окрему логіку реагування. Це підвищує надійність роботи всієї програмної частини та дозволяє відрізнити реальне небезпечне зближення від внутрішніх технічних проблем системи. Така організація є важливою ознакою того, що програмна частина реалізована не як демонстраційний код, а як повноцінний функціональний механізм.

З погляду структури коду програмну частину доцільно поділено на кілька логічних фрагментів: ініціалізацію системи, функції зчитування, модулі перевірки коректності, блок згладжування, блок аналізу зміни відстані та модуль формування сигналів. Таке розділення дало змогу спростити налагодження та зробити програму більш зрозумілою для подальшого супроводу. Кожен блок виконує окрему функцію, а разом вони утворюють цілісну послідовність дій, підпорядковану одній головній задачі - виявленню небезпечного зближення об'єкта та формуванню відповідної реакції.

3.3 Реалізація логіки позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів

Під час реалізації логіки позиціонування прийнято, що для розроблюваного прототипу головне значення має не побудова повної геометричної моделі простору, а визначення положення об'єкта відносно контрольної осі спостереження, яку формує лазерний дальномір. У такому варіанті позиціонування реалізовано як оцінювання поточної дистанції до об'єкта в межах робочої зони. Для практичної реалізації в системі встановлено

									Арк.
									53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

робочий діапазон аналізу від 0,10 м до 2,00 м. Значення, що виходять за ці межі, не використовуються для формування логічного висновку про поточний стан простору, оскільки в межах прототипу саме цей інтервал виявився найбільш інформативним для задачі виявлення небезпечного наближення.

У реалізованій системі положення об'єкта описано через поділ простору на три функціональні зони. Безпечна зона визначена для відстаней, що перевищують 1,20 м. У цьому режимі система виконує звичайний моніторинг без активного попередження, оскільки об'єкт перебуває на достатньому віддаленні від контрольної точки. Попереджувальна зона встановлена в межах від 0,60 м до 1,20 м. Потрапляння об'єкта до цього інтервалу означає, що ситуація потребує підвищеної уваги, однак ще не є критичною. Критична зона визначена для відстаней, менших за 0,60 м. Саме при досягненні цього порога або при швидкому входженні в нього система переходить до тривожного режиму. Такий поділ виявився достатньо простим для реалізації на мікроконтролері та водночас цілком придатним для демонстрації прикладної логіки роботи системи.

Реалізована логіка позиціонування ґрунтується на послідовному аналізі числового значення відстані, що надходить від лазерного дальноміра після проходження етапів перевірки коректності та згладжування. Для стабільної роботи системи цикл зчитування даних організовано з інтервалом 100 мс, тобто приблизно 10 разів за секунду. Така частота опитування виявилась достатньою для того, щоб одночасно зберігати плавність спостереження і не перевантажувати мікроконтролер зайвими обчисленнями. Кожне нове вимірювання не розглядається ізольовано, а включається до буфера останніх значень. Для згладжування сигналу використано вікно з 5 послідовних вимірювань, на основі яких формується усереднене значення поточної відстані. Унаслідок цього випадкові стрибки на рівні кількох сантиметрів не спричиняють негайної зміни логічного стану системи.

Окремо реалізовано механізм виявлення самого факту зближення. Для цього в програмній логіці поточне значення відстані постійно порівнюється з

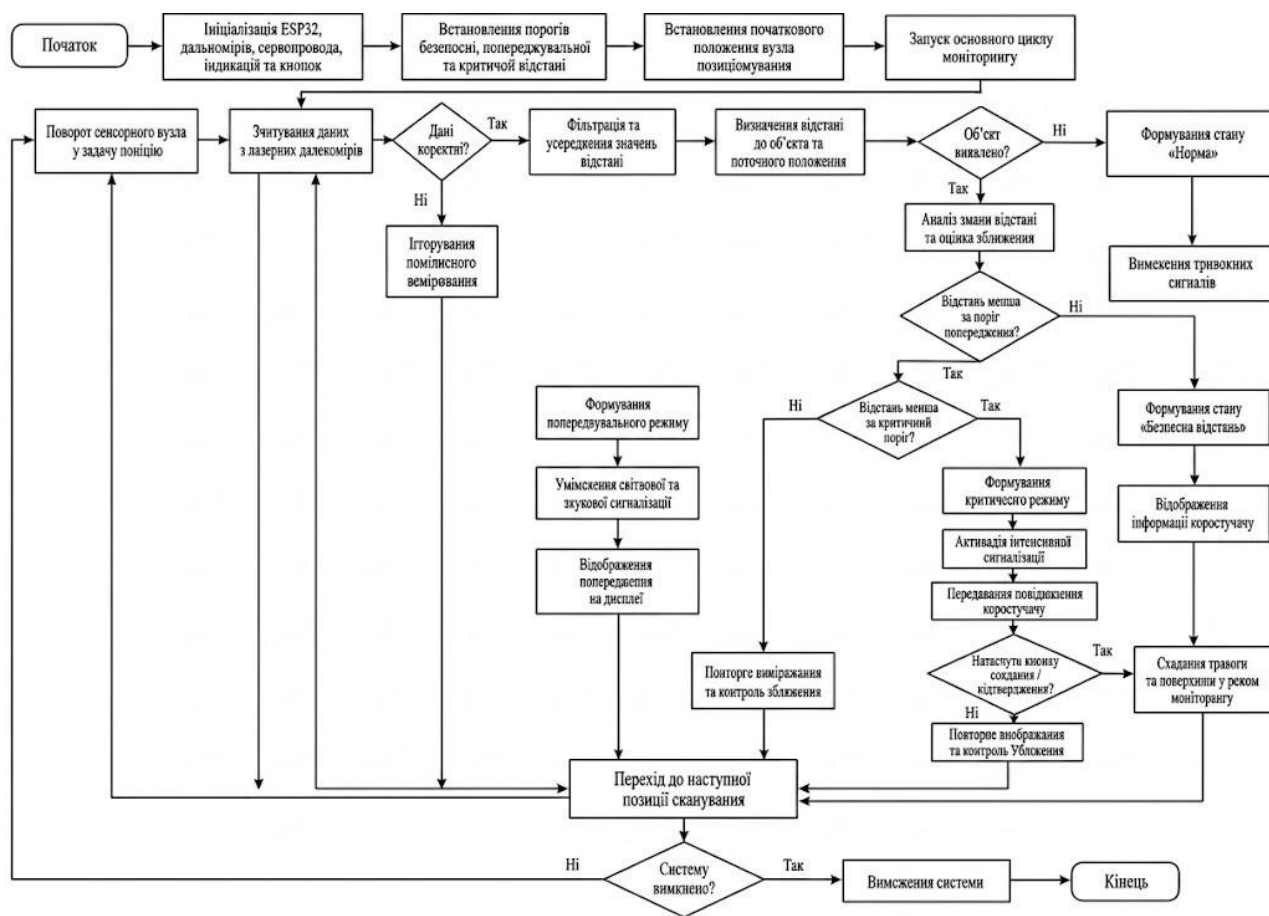
попереднім підтвердженим значенням. Якщо нова відстань виявляється меншою, це означає, що об'єкт наближається до контрольної точки. Якщо така зміна спостерігається впродовж кількох послідовних циклів, зближення вважається реальним і підтвердженим. Якщо ж зменшення відстані має випадковий або нестійкий характер, система не формує негайного висновку про небезпеку, а продовжує накопичення даних. У реалізованій системі для підтвердження факту наближення прийнято, що зменшення дистанції має спостерігатися щонайменше впродовж трьох послідовних циклів, тобто приблизно протягом 0,3 с. Це рішення дало змогу зменшити вплив випадкових коливань сигналу та не переводити систему в режим попередження без достатніх підстав.

У практичній реалізації було виділено три основні режими функціонування. У нормальному режимі, коли відстань перевищує 1,20 м, система лише продовжує циклічне спостереження, а індикація залишається у штатному стані. У попереджувальному режимі, коли об'єкт входить у межі від 0,60 м до 1,20 м або коли швидкість наближення виявляється підвищеною, активується світлове попередження. У критичному режимі, коли відстань стає меншою за 0,60 м або коли об'єкт дуже швидко входить у цю зону, активується і світлова, і звукова сигналізація одночасно. Саме цей поділ на режими дав змогу пов'язати алгоритмічну логіку із сигнальною частиною системи та зробити реакцію не двійковою, а градуйованою.

Ще одним важливим елементом реалізації стало відокремлення ситуації «об'єкт присутній» від ситуації «об'єкт небезпечно наближається». Це розмежування має принципове значення, оскільки сам факт появи об'єкта в зоні контролю ще не означає необхідності негайного тривожного сигналу. Наприклад, якщо об'єкт стабільно знаходиться на відстані 0,95 м і зміна дистанції протягом 0,5–1,0 с не перевищує 0,02–0,03 м, система зберігає попереджувальний, але не критичний режим. Якщо ж відстань за ті самі 0,5 с зменшується з 1,00 м до 0,72 м, така динаміка вже інтерпретується як суттєве

зближення і вимагає переходу до більш жорсткого режиму реагування. У результаті система не перевантажує користувача зайвими тривожними повідомленнями й не знижує цінність сигналізації частими необґрунтованими спрацюваннями.

На рисунку 3.3 показано блок-схему реалізованої логіки позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів, у якій відображено послідовність переходу від зчитування даних до визначення режиму роботи системи та формування відповідної реакції.



Рисунк 3.3 – Блок-схема реалізації логіки позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів

У реалізованій логіці також враховано повернення системи до безпечного режиму після зникнення загрози. Якщо об'єкт починає віддалятися або виходить

за межі контрольованої зони, система не скасовує попередження миттєво. Для цього застосовано короткий період підтвердження нормалізації стану тривалістю 3–5 циклів опитування, тобто приблизно 0,3–0,5 с. Лише якщо в цей час вимірювання стабільно показують безпечну дистанцію та відсутність ознак повторного зближення, внутрішній стан системи повертається до нормального режиму. Такий підхід запобіг передчасному скиданню сигналу при короткочасних флуктуаціях і зробив поведінку системи більш природною та стабільною.

З програмної точки зору реалізацію цієї логіки доцільно подано як окремий модуль усередині загальної структури коду. Один фрагмент відповідає за формування очищеного значення дистанції, другий - за визначення поточного положення об'єкта, третій - за аналіз зміни відстані, а четвертий - за віднесення ситуації до відповідного режиму. Таке розділення виявилось зручним як для налагодження, так і для тестування, оскільки кожен частину можна перевіряти окремо, не порушуючи цілісності всієї системи. Одночасно це забезпечило гнучкість подальшого вдосконалення: у разі потреби можна уточнювати пороги, змінювати правила підтвердження стану або ускладнювати критерії аналізу без повного переписування програми.

3.4 Налаштування режимів індикації та взаємодії з користувачем

Апаратна частина забезпечує вимірювання відстані, а програмна логіка виконує аналіз просторової ситуації та виявляє небезпечне зближення, то саме підсистема індикації робить результат роботи системи зрозумілим і практично корисним. Без цього навіть коректно реалізований алгоритм залишався б внутрішнім процесом мікроконтролера, який не перетворюється на швидке та однозначне попередження для користувача. Через це організацію взаємодії побудовано так, щоб людина отримувала не набір числових значень чи

службових повідомлень, а просту й зрозумілу реакцію, яка прямо відповідає рівню небезпеки в контрольованій зоні.

Під час налаштування цієї частини системи вихідною вимогою прийнято мінімізацію часу сприйняття сигналу. У задачах підвищення безпеки руху користувач не повинен витратити час на додатковий аналіз інформації, співставлення показників або інтерпретацію складних повідомлень. Через це в системі реалізовано два взаємодоповнювальні канали інформування - світловий і звуковий. Світлова індикація забезпечує постійне відображення поточного стану системи, а звуковий сигнал використовується у тих випадках, коли ситуація набуває підвищеної або критичної небезпеки. Таке поєднання виявилось найбільш вдалим для прототипу, оскільки воно не ускладнює апаратну частину, але водночас дозволяє сформувати чітку багаторівневу реакцію.

Світлову індикацію в системі налаштовано як основний безперервний канал взаємодії з користувачем. Для її реалізації використано окремі стани світлодіодного модуля, які відповідають внутрішнім режимам роботи системи. Нормальний режим, за якого об'єкт відсутній або знаходиться поза межами небезпечної зони, відображається стабільним світінням індикатора штатного стану. У межах практичної реалізації цей режим пов'язано з відстанями понад 1,20 м, коли об'єкт не створює ризику для контрольованого руху. Такий варіант індикації є важливим не лише як позначення безпеки, а й як підтвердження того, що система ввімкнена, працює стабільно і виконує безперервний моніторинг середовища.

Для попереджувального режиму, який активується при переході об'єкта в інтервал від 0,60 м до 1,20 м, або при виявленні вираженого наближення до критичної межі, налаштовано змінений характер світлового сигналу. У цій системі попередження реалізовано не як випадкову коротку індикацію, а як окремий впізнаваний стан, що відрізняється від нормального режиму. Найбільш доцільним для такого рівня виявилось переривчасте світіння з помірною

									Арк.
									58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

частотою, наприклад близько 2 разів за секунду. За такого налаштування індикатор не просто залишається ввімкненим, а передає користувачеві інформацію про те, що об'єкт уже знаходиться в зоні підвищеної уваги. Саме ця частота виявилась достатньою для помітного візуального сприйняття, але не створює відчуття аварійності там, де ситуація ще не є критичною.

Критичний режим налаштовано для випадків, коли об'єкт наближається на відстань менше 0,60 м або коли динаміка зменшення дистанції вказує на високу ймовірність швидкого входження в цю зону. У цьому режимі світлова індикація переводиться у більш інтенсивний стан. Для прототипу доцільним виявилось швидке миготіння з частотою приблизно 4–5 разів за секунду, яке вже сприймається як сигнал небезпеки, а не як звичайне попередження. Важливо, що перехід у цей стан не виконується на основі одного випадкового значення відстані. Перед активацією критичної індикації система перевіряє підтвердження небезпечного режиму в кількох послідовних циклах, завдяки чому зменшується ймовірність хибного спрацювання через одиничний шум або нестабільне вимірювання.

Звуковий канал взаємодії налаштовано як додатковий, але більш жорсткий інструмент привернення уваги. На відміну від світлової індикації, яка супроводжує систему постійно, буюер активується лише в режимах, де звичайного візуального повідомлення вже недостатньо. Для попереджувального стану доцільним виявилось використання коротких переривчастих звукових імпульсів, тривалістю близько 100–150 мс з інтервалом приблизно 500 мс. Такий режим не перевантажує користувача безперервним шумом, але чітко повідомляє, що просторовий стан змінився й потребує уваги. Для критичного режиму звукову індикацію налаштовано інтенсивніше: тривалість імпульсів збільшується до 200–300 мс, а пауза між ними зменшується до 200–250 мс. Унаслідок цього сигнал набуває більш тривожного характеру й сприймається як вимога до негайної реакції.

Під час налаштування взаємодії з користувачем важливою виявилась не лише структура сигналів, а й узгодження їх із часовими параметрами роботи системи. Оскільки цикл опитування дальноміра в програмній частині організовано з інтервалом 100 мс, індикація також повинна була працювати синхронно з логікою оновлення внутрішнього стану. Це означає, що сигнальні режими не можуть перемикатися довільно або занадто часто. Якщо система змінювала б вихідний стан після кожного одиничного вимірювання, поведінка індикаторів виглядала б нестабільною та хаотичною. Саме тому підсистему індикації пов'язано не з миттєвим значенням дистанції, а з підтвердженим режимом роботи, який формується після перевірки кількох послідовних циклів. Такий підхід зробив сигнали більш стабільними та легшими для сприйняття.

Окрему роль у налаштуванні режимів взаємодії відіграє гістерезис між станами системи. Якщо об'єкт знаходиться поблизу межі між безпечним і попереджувальним режимами або між попереджувальним і критичним режимами, навіть незначні коливання вимірюваної відстані можуть призвести до частих перемикань індикації. Для запобігання цьому повернення до безпечного режиму налаштовано не при тій самій межі, на якій відбувається вхід у попередження, а після додаткового запасу. Наприклад, якщо перехід у попереджувальний режим відбувається нижче 1,20 м, повернення до штатного режиму виконується лише після перевищення 1,30 м. Аналогічно, якщо критичний стан активується при дистанції менше 0,60 м, повернення до попереджувального режиму відбувається після збільшення відстані понад 0,70 м. Унаслідок цього сигнали не «дрижать» на межі порогів, а змінюються плавніше й логічніше.

На практиці така схема взаємодії означає, що користувач сприймає роботу системи як послідовну й зрозумілу. Якщо простір перед сенсором вільний, індикація демонструє штатний режим. Якщо об'єкт з'являється в контрольованій зоні, але ще не є критично близьким, система переходить до помітного попередження. Якщо ж об'єкт наближається настільки, що подальший рух

									Арк.
									60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

становить реальну загрозу, світловий і звуковий канали одночасно формують сигнал, який неможливо не помітити. Саме така логіка відповідає практичній задачі системи, адже вона не просто повідомляє про присутність об'єкта, а підштовхує користувача до своєчасної зміни поведінки.

Важливим елементом взаємодії є також початковий режим запуску системи. Після подачі живлення користувач повинен отримати підтвердження того, що мікроконтролер завершив ініціалізацію, сенсор готовий до опитування, а сигнальні виходи працездатні. Через це в програмі реалізовано коротку стартову індикацію тривалістю близько 1 с, під час якої світловий і звуковий канали по черзі активуються в тестовому режимі. Такий підхід дозволив відразу перевірити працездатність сигнальних елементів і зробити запуск системи зрозумілим для користувача. Після завершення цього етапу система автоматично переходить у штатний режим моніторингу.

Ще одним важливим налаштуванням стало відокремлення сигналів небезпечного зближення від службових станів системи. Якщо лазерний дальномір протягом кількох послідовних циклів не повертає коректних значень або з'являється нестабільність зв'язку, система не повинна використовувати той самий сигнал, що і для критичного наближення об'єкта. Для цього передбачено окремий службовий режим, у якому світлова індикація працює в іншому шаблоні, наприклад короткими одиночними спалахами з довгою паузою. Така поведінка дає змогу відрізнити технічну проблему системи від реальної загрози в контрольованій зоні. У результаті користувач не вводиться в оману, а отримує більш точне уявлення про характер ситуації.

На рисунку 3.4 показано схему реалізованих режимів індикації та взаємодії користувача з мікроконтролерною кіберфізичною системою, у якій відображено зв'язок між рівнем безпеки, типом сигналу та реакцією користувача.

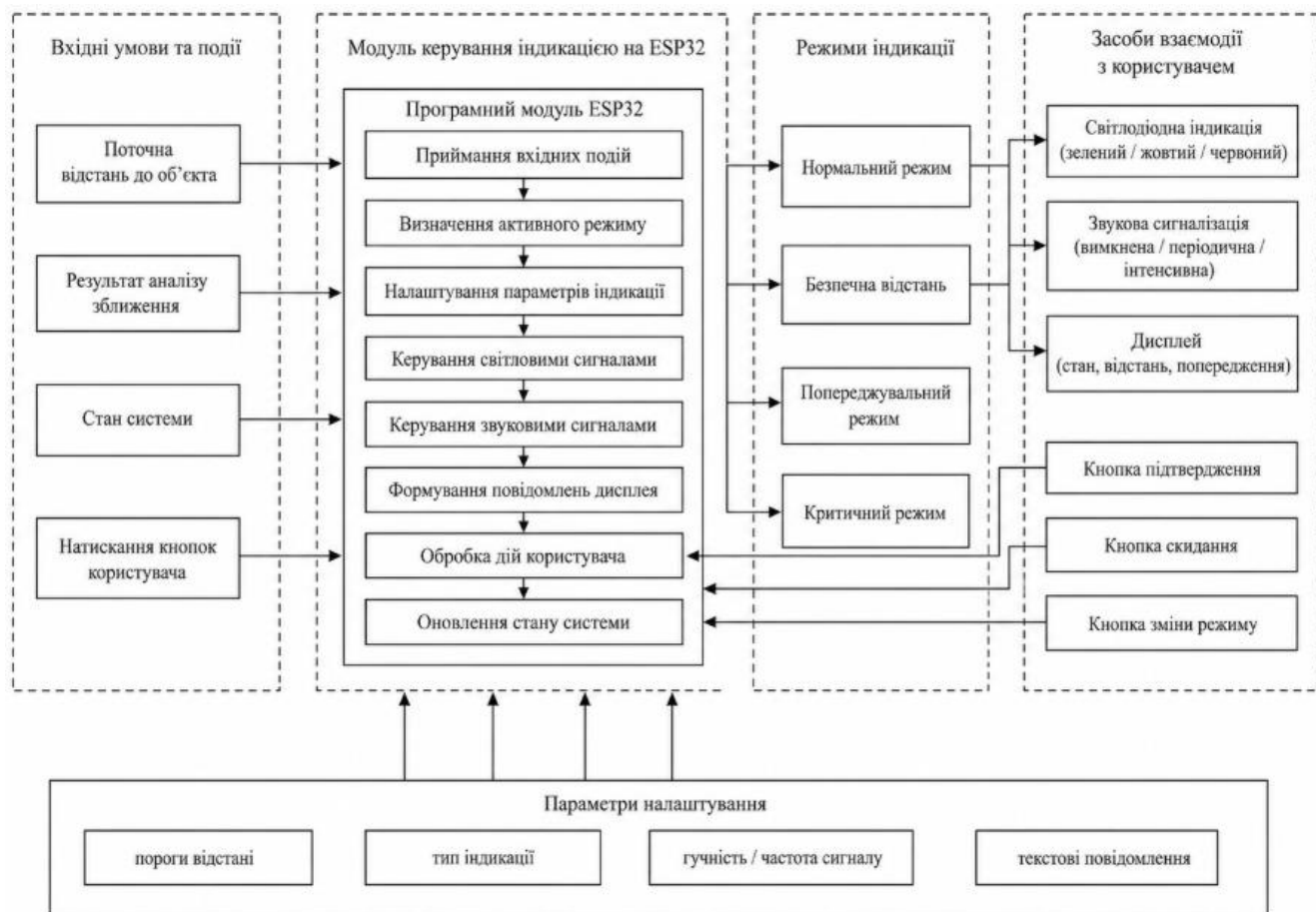


Рисунок 3.4 – Схема налаштування режимів індикації та взаємодії з користувачем

Під час налаштування взаємодії враховано і те, що користувачеві не завжди потрібно знати абсолютне значення відстані в сантиметрах. Для задачі цього прототипу значно важливішим є швидке отримання інформації про режим безпеки. Саме тому в базовій конфігурації відмовлено від складного дисплейного інтерфейсу та цифрового виведення показників. Такий підхід дозволив зосередитися на головній функції системи - попередженні про небезпеку. Водночас архітектура залишає можливість подальшого розширення, якщо виникне потреба додати дисплей або передавання даних до зовнішнього пристрою. Для поточної реалізації, однак, це не є необхідним, оскільки прості та швидко сприймані сигнали виявилися достатніми.

З програмної точки зору налаштування індикації реалізовано як окремий модуль, який отримує від алгоритму вже готовий внутрішній стан системи та

перетворює його на відповідний шаблон керування вихідними лініями мікроконтролера. Один шаблон відповідає нормальному режиму, другий - попереджувальному, третій - критичному, а четвертий - службовому. Таке розділення дозволило зробити код більш зрозумілим і спростити його подальше налагодження. Одночасно воно забезпечило гнучкість: у разі потреби можна змінювати частоту миготіння, тривалість звукових імпульсів або умови перемикання між станами без перебудови всього алгоритму виявлення небезпечного зближення.

У практичному розумінні налаштування режимів індикації та взаємодії з користувачем завершило формування системи як прикладного технічного засобу. До цього моменту вона вже вміла вимірювати відстань і аналізувати її зміну, однак саме після введення зрозумілих режимів сигналізації система почала повноцінно виконувати свою головну функцію - попереджати про небезпечне наближення у формі, придатній для швидкого сприйняття та негайної реакції. Це означає, що підсистема взаємодії не є допоміжним доповненням, а виступає повноцінною частиною всієї кіберфізичної структури.

3.5 Перевірка працездатності системи в експериментальних умовах

Експериментальну перевірку організовано на макетному зразку, до складу якого увійшли мікроконтролерна плата ESP32 DevKit, лазерний ToF-дальномір VL53L1X, світлодіодна індикація, активний бузер та стабілізоване джерело живлення 5 В. Як контрольований об'єкт використано перешкоду з плоскою поверхнею, яку послідовно розміщено на різних відстанях від сенсора. Перевірку виконано в межах робочого діапазону від 0,20 м до 2,00 м, що відповідає обраній логіці функціонування прототипу. Випробування проведено в умовах закритого приміщення без інтенсивних зовнішніх оптичних завад, щоб на першому етапі оцінити базову працездатність системи в контрольованому середовищі.

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

На першому етапі перевірено правильність зчитування відстані в статичних умовах. Для цього об'єкт послідовно встановлено на відстанях 2,00 м, 1,50 м, 1,20 м, 1,00 м, 0,80 м, 0,60 м, 0,40 м та 0,20 м. На кожній із цих позицій зафіксовано серію з 10 послідовних вимірювань, після чого оцінено характер коливань результату. У межах дистанцій від 0,20 м до 1,20 м система показала найбільш стабільну роботу, а розкид значень переважно не перевищував 1–3 см.

На другому етапі перевірено коректність переходу між режимами роботи. Відповідно до налаштованої логіки безпечний режим відповідав дистанціям понад 1,20 м, попереджувальний режим - інтервалу від 0,60 м до 1,20 м, а критичний - значенням менше 0,60 м.

Під час окремої серії перевірок оцінено поведінку системи при віддаленні об'єкта після входження в небезпечну зону. Для цього об'єкт спочатку наближався до рівня 0,40–0,50 м, після чого поступово переміщувався назад. Система не скасовувала тривожний стан миттєво, а вимагала короткого підтвердження безпечнішого режиму.

Також перевірено поведінку системи в умовах короточасної нестабільності зчитування. У таких ситуаціях штучно створювались умови, коли окремі вимірювання ставали недостовірними або випадали з послідовності. У цих випадках система не переходила одразу до хибного аварійного стану, а або ігнорувала одиничне некоректне значення, або використовувала попередньо підтверджену інформацію до появи нового коректного вимірювання. На практиці це означало, що при одиничному збої сигналізація не активувалася безпідставно. Саме такий результат підтвердив, що програмна частина системи не просто зчитує дані, а й виконує базовий контроль їх достовірності.

На рисунку 3.5 показано узагальнену схему перевірки працездатності системи в експериментальних умовах, у якій відображено зміни режимів роботи залежно від відстані до об'єкта та характеру його наближення.

Під час перевірки взаємодії з користувачем окремо оцінено сприйняття сигналів у різних режимах. Штатний режим індикації виявився достатнім для

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		64

підтвердження готовності системи до роботи, але не відволікав увагу. Попереджувальний режим із миготінням близько 2 разів за секунду сприймався помітно, але без надмірної тривожності. Критичний режим із частотою миготіння близько 4–5 разів за секунду та звуковими імпульсами тривалістю 200–300 мс чітко сприймався як небезпечний стан, що потребує швидкої реакції.

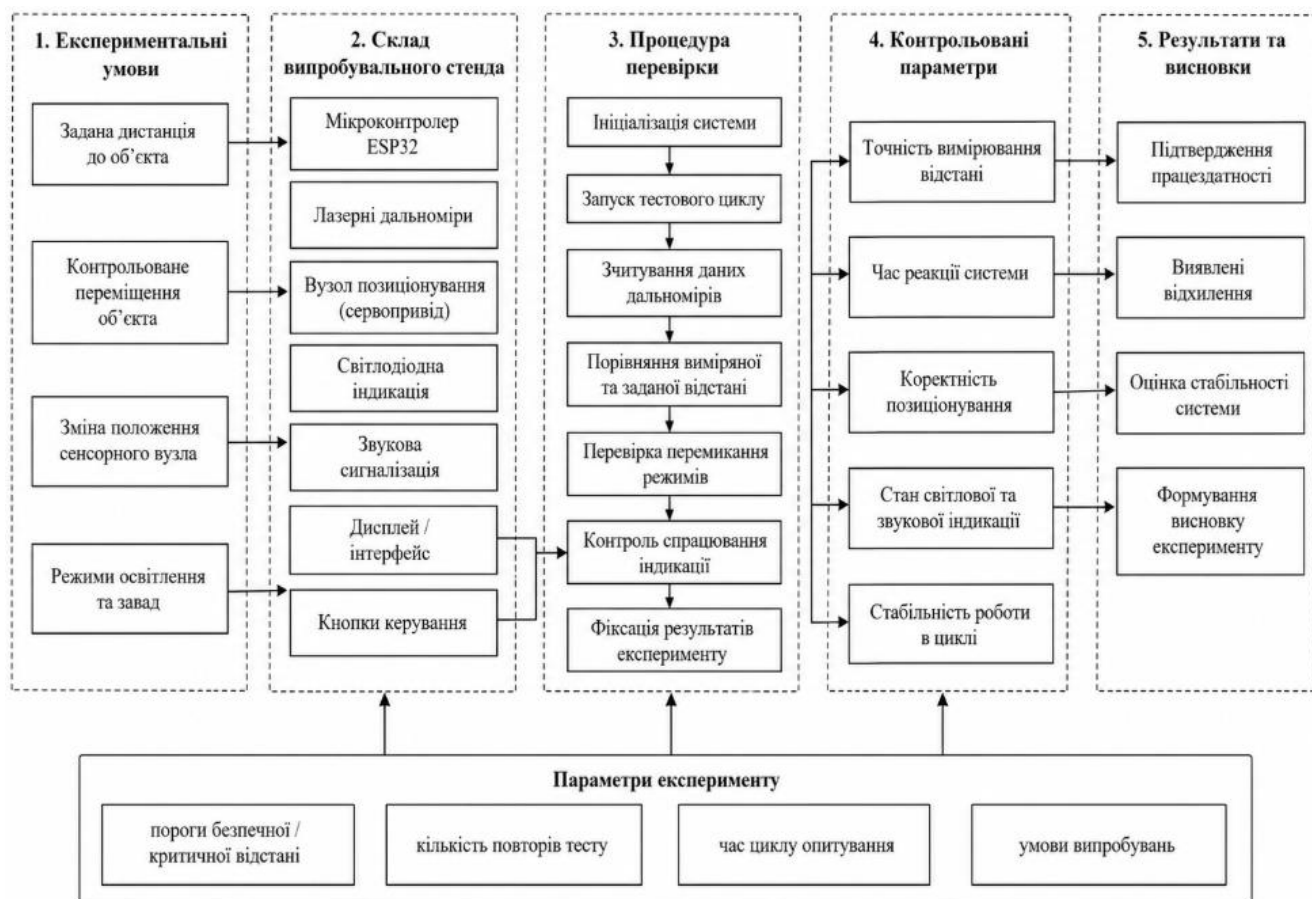


Рисунок 3.5 – Схема перевірки працездатності мікроконтролерної системи в експериментальних умовах

Узагальнення результатів перевірки дало змогу встановити, що розроблена система працездатно функціонує в межах обраного робочого діапазону, коректно виконує зчитування та обробку даних, стабільно переходить між нормальним, попереджувальним і критичним режимами та забезпечує зрозумілу сигнальну реакцію. При більших відстанях похибка дещо зростала, однак це не впливало

критично на працездатність прототипу, оскільки логіка системи орієнтована насамперед на ближню зону контролю.

3.6 Висновки до третього розділу

У третьому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи реалізовано апаратну та програмну частини мікроконтролерної системи позиціонування та виявлення об'єктів. Апаратну частину побудовано на основі плати ESP32 DevKit, лазерного дальноміра VL53L1X, світлодіодної індикації, активного бузера, джерела живлення 5 В і макетної плати зі з'єднувальними провідниками. Програмну частину реалізовано у вигляді циклічного алгоритму, що охоплює ініціалізацію системи, регулярне зчитування значень відстані, перевірку коректності даних, згладжування вимірювань, аналіз зміни дистанції та керування вихідними сигналами. У межах реалізованої логіки використано конкретні порогові значення для безпечного, попереджувального та критичного режимів, що дозволило надати роботі системи практичної визначеності.

Під час експериментальної перевірки підтверджено працездатність розробленого прототипу в межах обраного робочого діапазону. Система коректно визначала зміну відстані до об'єкта, стабільно переходила між режимами роботи, формувала світлове попередження при входженні до зони підвищеної уваги та активувала звуковий сигнал у критичному стані. Реалізовані механізми фільтрації, гістерезису та підтвердження переходів між режимами дозволили зменшити кількість хибних спрацювань і зробити поведінку системи більш стійкою. У підсумку третій розділ підтвердив, що запропоноване рішення є не лише теоретично обґрунтованим, а й практично реалізованим, а створений прототип може бути використаний як основа для подальшого розвитку систем підвищення безпеки руху.

ВИСНОВКИ

У межах бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто актуальну задачу підвищення безпеки руху на основі використання мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів. Актуальність обраної теми визначено зростанням потреби у компактних, доступних і водночас достатньо точних технічних засобах, здатних у реальному часі контролювати простір, своєчасно виявляти небезпечне зближення та формувати зрозумілу попереджувальну реакцію. У роботі показано, що для розв'язання подібної задачі доцільно поєднувати лазерні дальноміри як джерело вимірювальної інформації та мікроконтролерну платформу як засіб локальної обробки даних і керування сигнальними модулями.

У першому розділі виконано аналіз мікроконтролерних кіберфізичних систем позиціонування та виявлення об'єктів у задачах підвищення безпеки руху. Розглянуто особливості кіберфізичних систем у контексті контролю простору, проаналізовано існуючі підходи до виявлення об'єктів, охарактеризовано застосування лазерних дальномірів у системах контролю відстані та обґрунтовано доцільність використання мікроконтролерних платформ у подібних рішеннях.

У другому розділі виконано проектування мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів. Сформовано загальну архітектуру рішення, у якій виділено сенсорну, обчислювальну, сигнальну та допоміжну підсистеми. Обґрунтовано вибір апаратних і програмних засобів реалізації, зокрема мікроконтролерної платформи ESP32 DevKit, лазерного ToF-дальноміра VL53L1X, світлодіодної індикації, активного бузера та середовища Arduino IDE. Розроблено структурну й функціональну схеми системи, описано організацію збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів, а також реалізовано алгоритм позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів. Окрему увагу приділено організації

									Арк.
									67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

взаємодії з користувачем і формуванню попереджувальних сигналів залежно від рівня небезпеки.

У третьому розділі показано практичну реалізацію апаратної та програмної частин системи. Апаратну частину реалізовано на основі макетного зразка, до складу якого включено ESP32, лазерний дальномір, сигнальні елементи та підсистему живлення. Програмну частину побудовано у вигляді циклічного алгоритму, що забезпечує ініціалізацію системи, періодичне зчитування даних, перевірку коректності вимірювань, їх згладжування, аналіз відстані та керування режимами сигналізації. Реалізована логіка позиціонування дозволила виділити безпечну, попереджувальну та критичну зони, а також врахувати не лише поточне значення відстані, а й динаміку його зміни. Це дозволило надати системі не лише реактивного, а й випереджувального характеру.

У підсумку поставлену мету бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнуто. Розроблено та обґрунтовано мікроконтролерну кіберфізичну систему позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерного дальноміра, яка забезпечує вимірювання відстані, аналіз просторової ситуації, виявлення небезпечного зближення та формування своєчасної попереджувальної реакції. Практична цінність отриманого результату полягає в тому, що запропоноване рішення є відносно простим у реалізації, не потребує складної зовнішньої інфраструктури, може бути масштабоване та адаптоване до різних умов застосування.

Перспективність подальшого розвитку розробленої системи пов'язана з розширенням кількості вимірювальних каналів, підвищенням точності локалізації об'єкта, додаванням віддаленого передавання даних і журналювання подій, а також із можливістю адаптації алгоритму до складніших сценаріїв руху. Водночас уже на поточному етапі показано, що навіть у базовій конфігурації мікроконтролерне рішення на основі лазерних дальномірів здатне виконувати головну прикладну функцію - своєчасно виявляти небезпечне наближення об'єкта та підвищувати безпеку контрольованого руху.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Ліеламурс Е., ін. A Distributed Time-of-Flight Sensor System for Surround-View Perception in Vehicles. *Electronics*. 2025. Vol. 14, No. 7. Article 1375. URL: <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/7/1375> (дата звернення: 23.02.2026).
2. Кьоніг Т., ін. Influence of Blind Spot Assistance Systems in Heavy Commercial Vehicles in Urban Environments. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 5. Article 1517. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/5/1517> (дата звернення: 23.02.2026).
3. Сін В., ін. Security Control of Cyber-Physical Systems under Cyber Attacks: A Review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 12. Article 3815. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/12/3815> (дата звернення: 23.02.2026).
4. Хе Ц., ін. A Review of Cyber-Physical Security for Intelligent Connected Vehicles. *Defence Technology*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000934525001828> (дата звернення: 23.02.2026).
5. Фен С., ін. A Review of Research on Vehicle Detection in Adverse Weather Environments. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2095756425001552> (дата звернення: 23.02.2026).
6. Шан Ю., ін. Design and Test of Obstacle Detection and Harvester Pre-Collision System Using 2D LiDAR. *Agronomy*. 2023. Vol. 13, No. 2. Article 388. URL: <https://www.mdpi.com/2073-4395/13/2/388> (дата звернення: 23.02.2026).
7. Лян Ц., ін. Autonomous aerial obstacle avoidance using LiDAR sensor and VFH algorithm. *PLOS ONE*. 2023. URL: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC10306222/> (дата звернення: 23.02.2026).
8. Чжан М., ін. Obstacle measurement and avoidance path planning based on LiDAR scanning angle correction. *Measurement*. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0263224125023164> (дата звернення: 23.02.2026).

9. Ся В., ін. Dynamic Obstacle Perception Technology for UAVs Based on LiDAR: A Review. *Drones*. 2025. Vol. 9, No. 8. Article 540. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/9/8/540> (дата звернення: 23.02.2026).

10. Панг Ф., ін. A Fast Obstacle Detection Algorithm Based on 3D LiDAR Point Cloud Fusion for UGV Safety. *Drones*. 2024. Vol. 8, No. 11. Article 676. URL: <https://www.mdpi.com/2504-446X/8/11/676> (дата звернення: 23.02.2026).

11. Чен П., ін. A Review of Research on SLAM Technology Based on LiDAR and Vision Fusion. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 5. Article 1447. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/5/1447> (дата звернення: 23.02.2026).

12. Цянь С., ін. Small Object Tracking in LiDAR Point Clouds. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 12. Article 3633. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/12/3633> (дата звернення: 23.02.2026).

13. Хаас Л., ін. LiDAR Sensor Parameter Augmentation and Data-Driven Analysis in Real Point Clouds. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 10. Article 3114. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/10/3114> (дата звернення: 23.02.2026).

14. Лі В., ін. Focus on Elastic LiDAR for Solid Target Scanning. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 22. Article 7268. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/22/7268> (дата звернення: 23.02.2026).

15. Цянь Юе С., ін. LiDAR-based SLAM for robotic mapping: state of the art and future trends. *arXiv*. 2023. arXiv:2311.00276. URL: <https://arxiv.org/pdf/2311.00276> (дата звернення: 23.02.2026).

16. Дорваш М., ін. Enhanced Unscented Kalman Filter-Based SLAM in Dynamic Environments. *arXiv*. 2023. arXiv:2312.12204. URL: <https://arxiv.org/pdf/2312.12204> (дата звернення: 23.02.2026).

17. Цзян Х., ін. GPS-Denied LiDAR-Based SLAM-A Survey. *IET Cyber-Systems and Robotics*. 2025. DOI: 10.1049/csy2.70031. URL: <https://ietresearch.onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1049/csy2.70031> (дата звернення: 23.02.2026).

18. Гао Х., ін. A Lightweight Low-cost 3D LiDAR SLAM Handheld Device. *ISPRS Archives*. 2025. URL: <https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLVIII-G-2025/497/2025/> (дата звернення: 23.02.2026).

19. Трибала П., ін. Comparison of Low-Cost Handheld LiDAR Mobile Mapping Systems with Survey-Grade Reference Point Clouds. 2023. URL: <https://files01.core.ac.uk/download/pdf/586373376.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

20. Xing W., ін. Security Control of Cyber-Physical Systems under Cyber Attacks: A Review. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 12. Article 3815. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/12/3815> (дата звернення: 23.02.2026).

21. Gimpelj J., ін. Assessing Geometry Perception of Direct Time-of-Flight Sensors in a Robot Workspace. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 14. Article 4385. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/14/4385> (дата звернення: 23.02.2026).

22. Herrera L., ін. Discrete Unilateral Constrained Extended Kalman Filter in Embedded Systems. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 15. Article 4636. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/15/4636> (дата звернення: 23.02.2026).

23. Zhang Y., ін. A Review of Intelligent Railway Infrastructure Monitoring. *Sensors*. 2026. Vol. 26, No. 4. Article 1131. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/26/4/1131> (дата звернення: 23.02.2026).

24. König T., ін. Influence of Blind Spot Assistance Systems in Heavy Commercial Vehicles in Urban Environments. *Sensors*. 2024. Vol. 24, No. 5. Article 1517. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/24/5/1517> (дата звернення: 23.02.2026).

25. STMicroelectronics. Datasheet: VL53L1X Time-of-Flight ranging sensor. 2024. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l1x.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

26. STMicroelectronics. Datasheet: VL53L5CX Time-of-Flight 8×8 multizone ranging sensor. 2021. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/vl53l5cx.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

27. STMicroelectronics. VL53L5CX product page (multizone ToF). 2021. URL: <https://www.st.com/en/imaging-and-photonics-solutions/vl53l5cx.html> (дата звернення: 23.02.2026).

28. SICK AG. Data sheet: LMS100-10000 (LMS1xx) 2D LiDAR sensor. 2025. URL: https://www.sick.com/media/pdf/1/41/841/dataSheet_LMS100-10000_1041113_en.pdf (дата звернення: 23.02.2026).

29. Infineon Technologies AG. BGT60TR13C 60 GHz radar sensor - General Product Specification. 2021. URL: <https://docs.rs-online.com/24d2/A700000009052552.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

30. Infineon Technologies AG. Ceiling-mounted occupancy detection using XENSIV™ DEMO BGT60TR13C - Application Note AN141319. 2024. URL: <https://www.infineon.cn/assets/row/public/documents/24/42/infineon-an141319-ceiling-mounted-occupancy-detection-using-xensiv-demo-bgt60tr13c-60-ghz-radar-applicationnotes-en.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

31. Infineon Technologies AG. DEMO-BGT60TR13C evaluation board page (documents list). 2024. URL: <https://www.infineon.com/evaluation-board/DEMO-BGT60TR13C> (дата звернення: 23.02.2026).

32. Texas Instruments. AWR1843 Single-Chip 77 to 79GHz FMCW Radar Sensor (datasheet). 2026. URL: <https://www.ti.com.cn/lit/ds/symlink/awr1843.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

33. Texas Instruments. AWR1843AOP Single-chip 77- and 79-GHz FMCW mmWave Sensor Antennas-On-Package (datasheet). 2026. URL: <https://www.ti.com/lit/ds/symlink/awr1843aop.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

34. NXP Semiconductors. MR3003 High-Performance 77 GHz Radar Transceiver (block diagram / product brief). 2025. URL: <https://www.nxp.com/assets/block-diagram/en/MR3003.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

35. Ключев С. О. Развитие интеллектуальных транспортных систем. 2023. URL:

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

<https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/42734/%D0%A0%D0%9E%D0%97%D0%92%D0%98%D0%A2%D0%9E%D0%9A%20%D0%86%D0%9D%D0%A2%D0%95%D0%9B%D0%95%D0%9A%D0%A2%D0%A3%D0%90%D0%9B%D0%AC%D0%9D%D0%98%D0%A5.pdf?isAllowed=y&sequence=1> (дата звернення: 23.02.2026).

36. Чередніченко О. Інтелектуальні транспортні системи як інструмент підвищення ефективності транспортних процесів. *Містобудування та територіальне планування*. 2022. URL: <https://mtp.knuba.edu.ua/article/view/264477> (дата звернення: 23.02.2026).

37. Білінська А. та ін. Кіберфізичні системи в контексті безпеки на дорозі: підходи та технології. 2024. URL: <https://elar.khmnu.edu.ua/bitstreams/a85eccb8-574b-4021-94b2-ec8ef2221db1/download> (дата звернення: 23.02.2026).

38. Авсієвич В. Система безпеки для кібер-фізичних розумних систем паркування. 2025. URL: <https://csecurity.kubg.edu.ua/index.php/journal/article/view/900> (дата звернення: 23.02.2026).

39. Смолянник Я. В., Пузирьов С. В. Інтеграція камери ESP32-CAM OV2604 з мобільними месенджерами. *Комп'ютерні системи та мережі*. 2020. Vol. 2, No. 1. С. 88-97. DOI: 10.23939/csn2020.01.088. URL: <https://science.lpnu.ua/sites/default/files/journal-paper/2021/may/23480/csnv2n12020-92-97.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

40. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. *Науково-технічний журнал (Вінниця)*. 2023. URL: <https://met-journal.vn.ua/uk/journals/t-18-2-2023/rozvitok-intelektualnikh-transportnikh-sistem> (дата звернення: 23.02.2026).

41. Юрченко Н. Інтеграція мікроконтролера ESP32 у STEM-орієнтовані проекти. 2025. URL: <https://visnyk-ped.uzhnu.edu.ua/article/view/342849> (дата звернення: 23.02.2026).

42. Пративі У. Distance Estimation on Ultrasonic Sensor Using Kalman Filter. 2023. URL:

					КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		73

https://www.researchgate.net/publication/371256935_Distance_Estimation_on_Ultrasonic_Sensor_Using_Kalman_Filter (дата звернення: 23.02.2026).

43. Implementation of Kalman filter algorithm to optimize the measurement distance of ultrasonic sensor. 2024. URL: <https://journals.uran.ua/eejet/article/view/296667> (дата звернення: 23.02.2026).

44. Frangez V. Assessment and Improvement of Distance Measurement (technical report). 2022. URL: <https://www.research-collection.ethz.ch/bitstreams/56d7ae9a-7b8e-4801-8af7-62dce1315df7/download> (дата звернення: 23.02.2026).

45. Arslan S. E., Bolat B. Tiny machine learning model for obstacle detection with multi-zone time of flight sensors. *Recent Advances in Science and Engineering*. 2023. Vol. 3, No. 2. P. 9-14. URL: <https://rase.yildiz.edu.tr/storage/upload/pdfs/1706188740-en.pdf> (дата звернення: 23.02.2026).

46. Zhang Y., ін. A Systematic Review on Real-time Detection of Small Obstacles Based on Multidimensional Information. 2025. URL: https://www.icck.org/filebob/uploads/storage/CJIF_gENUINgu7NOy1x8GH.pdf (дата звернення: 23.02.2026).

47. Collision Avoidance System for a Multicopter using LiDAR (conference paper). 2023. DOI: 10.2514/6.2023-1147. URL: <https://arc.aiaa.org/doi/10.2514/6.2023-1147> (дата звернення: 23.02.2026).

48. He C., ін. A Review of Cyber-Physical Security for Intelligent Connected Vehicles. 2025. URL: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1000934525001828> (дата звернення: 23.02.2026).

49. Haas L., ін. LiDAR Sensor Parameter Augmentation and Data-Driven Analysis in Real Point Clouds. *Sensors*. 2025. Vol. 25, No. 10. Article 3114. URL: <https://www.mdpi.com/1424-8220/25/10/3114> (дата звернення: 23.02.2026).

67. Кукушка І. Імперативи інноваційного розвитку транспортних підприємств. 2024. URL: <https://economdevelopment.in.ua/index.php/journal/article/download/926/887> (дата звернення: 23.02.2026).

68. Hokuyo URG-04LX. URL: <https://inav.com.ua/shop/lazernyy-skaner-urg-04lx-ug01-izmereniya-yekonomichnyu-hokuyo>

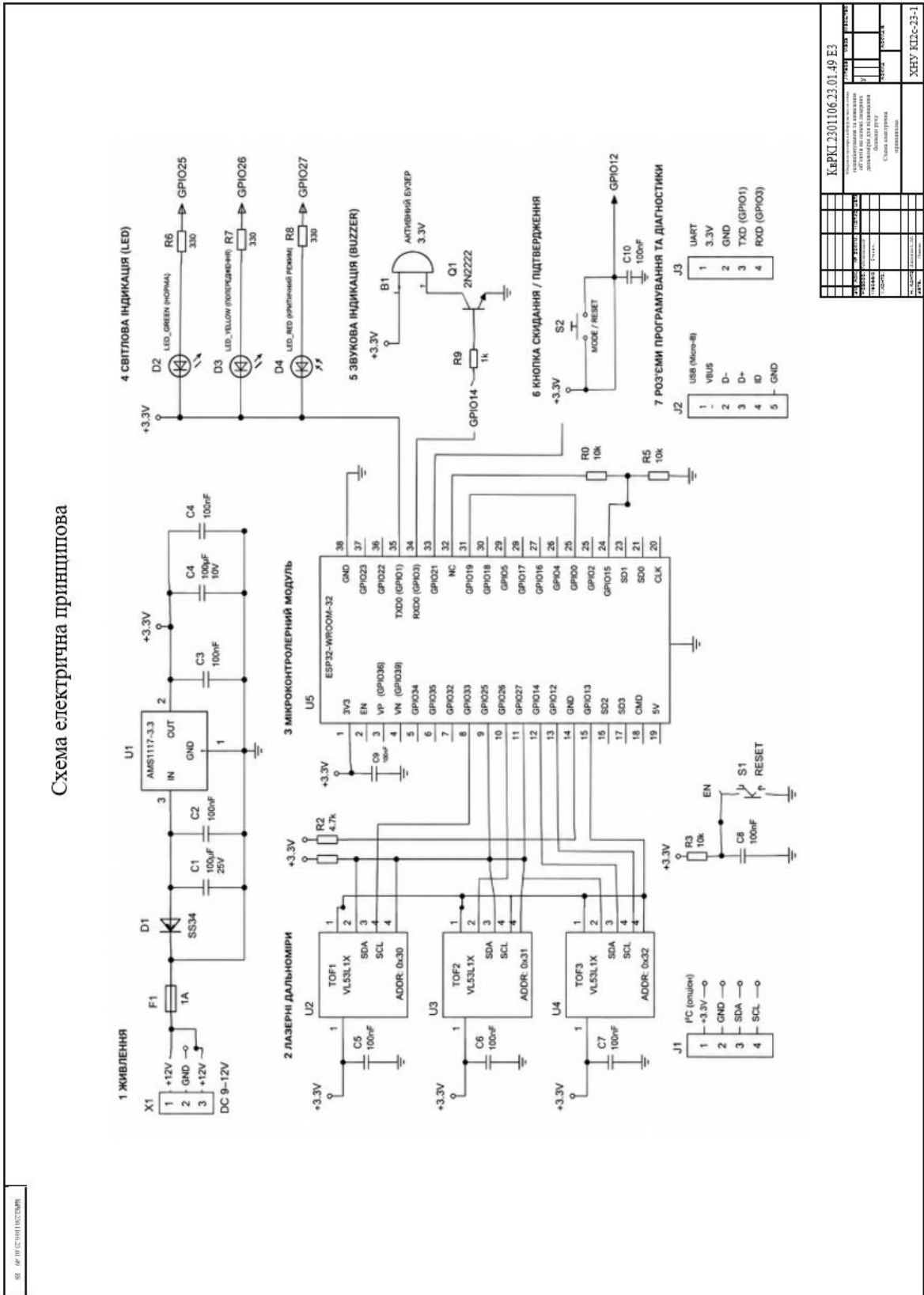
69. Garmin LIDAR-Lite v3. URL: <https://arduino.ua/prod5288-lazernii-dalnomer-lidar-lite-v3>

70. Infineon XENSIV™ 24 GHz RC-Sensor. URL: <https://www.infineon.com/part/BGT24LTR11N16>

									Арк.
									77
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	КВРКІ. 301120.23.01.05 ПЗ				

Додаток Б (обов'язковий)

Схема електрична принципова



КерКІ.2301106.23.01.49.Е3	
№	ВЕРСІЯ
1	1.0
2	1.1
3	1.2
4	1.3
5	1.4
6	1.5
7	1.6
8	1.7
9	1.8
10	1.9
11	2.0
12	2.1
13	2.2
14	2.3
15	2.4
16	2.5
17	2.6
18	2.7
19	2.8
20	2.9
21	3.0
22	3.1
23	3.2
24	3.3
25	3.4
26	3.5
27	3.6
28	3.7
29	3.8
30	3.9
31	4.0
32	4.1
33	4.2
34	4.3
35	4.4
36	4.5
37	4.6
38	4.7
39	4.8
40	4.9
41	5.0
42	5.1
43	5.2
44	5.3
45	5.4
46	5.5
47	5.6
48	5.7
49	5.8
50	5.9
51	6.0
52	6.1
53	6.2
54	6.3
55	6.4
56	6.5
57	6.6
58	6.7
59	6.8
60	6.9
61	7.0
62	7.1
63	7.2
64	7.3
65	7.4
66	7.5
67	7.6
68	7.7
69	7.8
70	7.9
71	8.0
72	8.1
73	8.2
74	8.3
75	8.4
76	8.5
77	8.6
78	8.7
79	8.8
80	8.9
81	9.0
82	9.1
83	9.2
84	9.3
85	9.4
86	9.5
87	9.6
88	9.7
89	9.8
90	9.9
91	10.0
92	10.1
93	10.2
94	10.3
95	10.4
96	10.5
97	10.6
98	10.7
99	10.8
100	10.9
101	11.0
102	11.1
103	11.2
104	11.3
105	11.4
106	11.5
107	11.6
108	11.7
109	11.8
110	11.9
111	12.0
112	12.1
113	12.2
114	12.3
115	12.4
116	12.5
117	12.6
118	12.7
119	12.8
120	12.9
121	13.0
122	13.1
123	13.2
124	13.3
125	13.4
126	13.5
127	13.6
128	13.7
129	13.8
130	13.9
131	14.0
132	14.1
133	14.2
134	14.3
135	14.4
136	14.5
137	14.6
138	14.7
139	14.8
140	14.9
141	15.0
142	15.1
143	15.2
144	15.3
145	15.4
146	15.5
147	15.6
148	15.7
149	15.8
150	15.9
151	16.0
152	16.1
153	16.2
154	16.3
155	16.4
156	16.5
157	16.6
158	16.7
159	16.8
160	16.9
161	17.0
162	17.1
163	17.2
164	17.3
165	17.4
166	17.5
167	17.6
168	17.7
169	17.8
170	17.9
171	18.0
172	18.1
173	18.2
174	18.3
175	18.4
176	18.5
177	18.6
178	18.7
179	18.8
180	18.9
181	19.0
182	19.1
183	19.2
184	19.3
185	19.4
186	19.5
187	19.6
188	19.7
189	19.8
190	19.9
191	20.0
192	20.1
193	20.2
194	20.3
195	20.4
196	20.5
197	20.6
198	20.7
199	20.8
200	20.9
201	21.0
202	21.1
203	21.2
204	21.3
205	21.4
206	21.5
207	21.6
208	21.7
209	21.8
210	21.9
211	22.0
212	22.1
213	22.2
214	22.3
215	22.4
216	22.5
217	22.6
218	22.7
219	22.8
220	22.9
221	23.0
222	23.1
223	23.2
224	23.3
225	23.4
226	23.5
227	23.6
228	23.7
229	23.8
230	23.9
231	24.0
232	24.1
233	24.2
234	24.3
235	24.4
236	24.5
237	24.6
238	24.7
239	24.8
240	24.9
241	25.0
242	25.1
243	25.2
244	25.3
245	25.4
246	25.5
247	25.6
248	25.7
249	25.8
250	25.9
251	26.0
252	26.1
253	26.2
254	26.3
255	26.4
256	26.5
257	26.6
258	26.7
259	26.8
260	26.9
261	27.0
262	27.1
263	27.2
264	27.3
265	27.4
266	27.5
267	27.6
268	27.7
269	27.8
270	27.9
271	28.0
272	28.1
273	28.2
274	28.3
275	28.4
276	28.5
277	28.6
278	28.7
279	28.8
280	28.9
281	29.0
282	29.1
283	29.2
284	29.3
285	29.4
286	29.5
287	29.6
288	29.7
289	29.8
290	29.9
291	30.0
292	30.1
293	30.2
294	30.3
295	30.4
296	30.5
297	30.6
298	30.7
299	30.8
300	30.9
301	31.0
302	31.1
303	31.2
304	31.3
305	31.4
306	31.5
307	31.6
308	31.7
309	31.8
310	31.9
311	32.0
312	32.1
313	32.2
314	32.3
315	32.4
316	32.5
317	32.6
318	32.7
319	32.8
320	32.9
321	33.0
322	33.1
323	33.2
324	33.3
325	33.4
326	33.5
327	33.6
328	33.7
329	33.8
330	33.9
331	34.0
332	34.1
333	34.2
334	34.3
335	34.4
336	34.5
337	34.6
338	34.7
339	34.8
340	34.9
341	35.0
342	35.1
343	35.2
344	35.3
345	35.4
346	35.5
347	35.6
348	35.7
349	35.8
350	35.9
351	36.0
352	36.1
353	36.2
354	36.3
355	36.4
356	36.5
357	36.6
358	36.7
359	36.8
360	36.9
361	37.0
362	37.1
363	37.2
364	37.3
365	37.4
366	37.5
367	37.6
368	37.7
369	37.8
370	37.9
371	38.0
372	38.1
373	38.2
374	38.3
375	38.4
376	38.5
377	38.6
378	38.7
379	38.8
380	38.9
381	39.0
382	39.1
383	39.2
384	39.3
385	39.4
386	39.5
387	39.6
388	39.7
389	39.8
390	39.9
391	40.0
392	40.1
393	40.2
394	40.3
395	40.4
396	40.5
397	40.6
398	40.7
399	40.8
400	40.9
401	41.0
402	41.1
403	41.2
404	41.3
405	41.4
406	41.5
407	41.6
408	41.7
409	41.8
410	41.9
411	42.0
412	42.1
413	42.2
414	42.3
415	42.4
416	42.5
417	42.6
418	42.7
419	42.8
420	42.9
421	43.0
422	43.1
423	43.2
424	43.3
425	43.4
426	43.5
427	43.6
428	43.7
429	43.8
430	43.9
431	44.0
432	44.1
433	44.2
434	44.3
435	44.4
436	44.5
437	44.6
438	44.7
439	44.8
440	44.9
441	45.0
442	45.1
443	4

Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ

Співавтор:

Назва: Мікроконтролерна кіберфізична система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

Експерт: Василь СТЕЦЮК

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1: 1.68%

Коефіцієнт подібності 2: 0.27%

Мікропробіли: 4

Заміна букв: 1

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2026-05-29 11:15:52.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

Запозичення, виявлені в роботі є законними і не є плагіатом. Рівень подібності не перевищує допустимої межі. Таким чином робота незалежна і приймається.

Запозичення не є плагіатом, але перевищено граничне значення рівня подібностей. Таким чином робота повертається на доопрацювання.

Виявлено запозичення і плагіат або навмисні текстові спотворення (маніпуляції), як передбачувані спроби укриття плагіату, які роблять роботу невідповідною вимогам законодавства (Ст. 32. ЗУ Про вищу освіту, пункт 3.1, Ст. 42. ЗУ Про освіту) та вимог НАЗЯВО (Критерій 5), а також кодексу етики і процедур. Таким чином робота не приймається.

Обґрунтування:

2026-05-29

Дата



Доцент Андрій Нічепорук

експерт

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

Максимальне співпадіння з одним документом 1.0%

Словники перевірки: en_US, ru_RU, ua_UA. Помилки в документах: 10%

ID: 272734 Назва: БКР Мікроконтролерна кіберфізична система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху Додано в БД: 2026-05-29 Автора: Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ Керівники: Василь СТЕЦЮК Консультанти: Опоненти:	Документ		Сумарний збіг по Базі Даних	
	Символи	Лексеми	Символи	Лексеми
	124490	828	1549 (1%)	15 (2%)

Джерело плагіату

ID	Опис	Наявність плагіату в документі	
		Символи	Лексеми

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Райтаровський Андрій Олегович

Тема: Мікроконтролерна система позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів для підвищення безпеки руху

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень 3 Кількість сторінок записки 65

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою цієї кваліфікаційної роботи визначено створення та обґрунтування структури мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів на основі лазерних дальномірів, що дозволяє підвищити рівень безпеки руху за рахунок своєчасного отримання та обробки інформації про навколишні об'єкти.

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

3. Характеристика виконання кожного розділу, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки та сучасних методів розробки: У першому розділі виконано аналіз мікроконтролерних кіберфізичних систем позиціонування та виявлення об'єктів у задачах підвищення безпеки руху. Розглянуто особливості кіберфізичних систем у контексті контролю простору, проаналізовано існуючі підходи до виявлення об'єктів, охарактеризовано застосування лазерних дальномірів у системах контролю відстані та обґрунтовано доцільність використання мікроконтролерних платформ у подібних рішеннях. У другому розділі виконано проєктування мікроконтролерної кіберфізичної системи позиціонування та виявлення об'єктів. Сформовано загальну архітектуру рішення, у якій виділено сенсорну, обчислювальну, сигнальну та допоміжну підсистеми. Обґрунтовано вибір апаратних і програмних засобів реалізації, зокрема мікроконтролерної платформи ESP32 DevKit, лазерного ToF-дальноміра VL53L1X, світлодіодної індикації,

активного бузера та середовища Arduino IDE. Розроблено структурну й функціональну схеми системи, описано організацію збору, обробки та аналізу даних від лазерних дальномірів, а також реалізовано алгоритм позиціонування та виявлення небезпечного зближення об'єктів. Окрему увагу приділено організації взаємодії з користувачем і формуванню попереджувальних сигналів залежно від рівня небезпеки. У третьому розділі показано практичну реалізацію апаратної та програмної частин системи. Апаратну частину реалізовано на основі макетного зразка, до складу якого включено ESP32, лазерний дальномір, сигнальні елементи та підсистему живлення. Програмну частину побудовано у вигляді циклічного алгоритму, що забезпечує ініціалізацію системи, періодичне зчитування даних, перевірку коректності вимірювань, їх згладжування, аналіз відстані та керування режимами сигналізації. Реалізована логіка позиціонування дозволила виділити безпечну, попереджувальну та критичну зони, а також врахувати не лише поточне значення відстані, а й динаміку його зміни. Це дозволило надати системі не лише реактивного, а й випереджувального характеру.

4. Позитивні сторони роботи: висока практична цінність роботи.

5. Негативні сторони роботи: недостатня увага аналізу предметної області; недостатньо чітко описано процес складання програмно-технічного засобу.

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

7. Відгук про роботу в цілому: Робота виконана на достатньому технічному рівні.

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: задовільно (D/70)

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

Сфещова Л.О., к.т.н., доцент, зав. кафедрою АКТІР

"01" червня 2026 р.

 (підпис)

Зав. кафедри КПС
д-р. філософії Ользі ПАВЛОВІЙ

Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ

ПІБ здобувача вищої освіти

ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-23-1

ЗАЯВА

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

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

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

1 травня 2026 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

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

Назва кваліфікаційної роботи Інформаційна система моніторингу стану здоров'я пацієнтів із оптимізацією планування завдань
 Автор Андрій РАЙТАРОВСЬКИЙ
 Освітня програма Комп'ютерна інженерія та програмування
 Рівень вищої освіти перший (бакалаврський)
 Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія
 Науковий керівник: Старший викладач Василь СТЕЦЮК

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

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

Підтвердження:

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

- 1) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
 - 2) окремі виявлені збіги є загальноживаними фразами або виразами, про що свідчить посилання системи на збіг з джерелами на один фрагмент речення;
 - 3) всі зафіксовані системою ознаки модифікації тексту відносяться до комбінування латинських символів зі україномовними скороченнями індексів в формулах, що не є модифікацією тексту.
 - 4) значна частина знайденого плагіату відноситься до списку використаних джерел
- Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 1,68%; та системою Anti-Plagiarism складає 0,25%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

01.06.2026

Завідувач кафедри

Гарант освітньої програми

Керівник кваліфікаційної роботи


Підпис

Підпис

Підпис

Ольга ПАВЛОВА
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Андрій НІЧЕПОРУК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Василь СТЕЦЮК
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ