

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

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

**АПАРАТНО-ПРОГРАМНІ ЗАСОБИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ
ПІШОХІДНИЙ ПЕРЕХІД»**

Виконав: студент 2 курсу, групи ІКІ-23м
спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»

Кондратюк Р.І. Кондратюк Р.І.

Керівник: к.т.н., доц.каф. ОТ

Тарновський М. Г. Тарновський М. Г.

« » 2024 р.

Опонент: к.т.н., доц. каф. МБІС

Грицак А. В. Грицак А. В.

« » 2024 р.

Допущено до захисту

Завідувач кафедри ОТ

Азаров О. Д. д.т.н., проф. Азаров О. Д.

« » 2024 р.

ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки
Галузь знань — Інформаційні технології
Освітній рівень — магістр
Спеціальність — 123 Комп'ютерна інженерія
Освітньо-професійна програма — Комп'ютерна інженерія

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ, д.т.н., проф.

 Азаров О. Д.
"18" вересня 2024 року

З А В Д А Н Н Я
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Кондратюку Р.І.

1 Тема роботи «Апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід»», керівник роботи Тарновський М. Г. к.т.н., доцент, затверджено наказом вищого навчального закладу від 17.09.24 року № 310.

2 Строк подання студентом роботи 18.12.2024.

3. Вихідні дані до роботи: контроль за наближенням автомобіля та його швидкістю, вмикання освітлення переходу при наявності пішоходу, вмикання попереджувальних сигналів для водія при наявності пішоходу, вмикання попереджувальних сигналів для пішоходів при наявності автомобілю.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): вступ, обґрунтування доцільності роботи, аналіз технічних рішень організації для передачі інформації в системі «Розумний пішохідний перехід», розробка структурних та електричних-принципових схем дорожніх знаків, розробка алгоритму.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): архітектура системи «Розумний пішохідний перехід», структурна схема головного модуля системи, структурна схема детектора автомобіля,

функціональна схема головного модуля системи, функціональна схема детекту автомобіля

6 Консультанти розділів роботи наведені в таблиці 1.

Таблиця 1 — Консультанти роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1-4	Тарновський М. Г. к.т.н., доцент	18.09.2024р	15.12.2024р
5	Небава М. І. проф., к.е.н	11.12.2024	15.12.2024

7 Дата видачі завдання «18» 09 2024 року.

8 Календарний план виконання приведений в таблиці 2.

Таблиця 2 — Календарний план

№ з/п	Назва етапів дипломного роботи	Термін виконання		Приміт
		початок	закінчення	
1	Аналіз сучасних систем забезпечення безпеки на пішохідних переходах	19.09.2024		викон.
2	Визначення архітектури системи «розумний пішохідний перехід»	19.09.2024	15.10.2024	викон.
3	Розробка основних апаратно-програмних компонентів системи «розумний пішохідний перехід»	16.10.2024	23.11.2024	викон.
4	Рекомендації з введення в експлуатацію	24.11.2024	27.11.2024	викон.
5	Оцінка комерційного потенціалу розробки	27.11.2024	3.12.2024	викон.
6	Аналіз виконання роботи, висновки, додатки	4.12.2024	8.12.2024	викон.
7	Перевірка якості виконання бакалаврського проекту та усунення недоліків	9.12.2024	13.12.2024	викон.

Студент

Керівник роботи

Кондратюк Р.І.

Тарновський М.Г.

АНОТАЦІЯ

Кондратюк Р.І. апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід». Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 123 — Комп'ютерна Інженерія, Вінниця: ВНТУ, 2023, 87 с.

На укр. мові. Бібліографія: 20 посилань, рисунків: 27, таблиць: 13.

У даній магістерській роботі було розроблено апаратну та програмну частини системи «Розумний пішохідний перехід». Після обґрунтування актуальності теми проведено аналіз наявних рішень, їхніх переваг і недоліків, а також розглянуто основні мережеві стандарти передачі даних. Відповідно до поставленої мети було розроблено проєкт системи «Розумний пішохідний перехід» шляхом модернізації дорожніх знаків із застосуванням апаратного і програмного забезпечення.

Ключові слова: розумний пішохідний перехід, мережеві стандарти передавання інформації, апаратно-програмні засоби.

ABSTRACT

Kondratyuk R.I. hardware and software of the "Smart Pedestrian Crossing" system. Master's qualification work in specialty 123 - Computer Engineering, Vinnytsia: VNTU, 2023, 87 p.

In Ukrainian. Bibliography: 20 references; illustrations: 27; tables: 13.

In this master's work, the hardware and software parts of the "Smart Pedestrian Crossing" system were developed. After substantiating the relevance of the topic, an analysis of existing solutions, their advantages and disadvantages was conducted, and the main network standards for data transmission were also considered. In accordance with the set goal, a project for the "Smart Pedestrian Crossing" system was developed by modernizing road signs using hardware and software.

Keywords: smart pedestrian crossing, network standards for information transmission, hardware and software

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДАХ	10
1.1 Регулювання руху на пішохідних переходах.....	10
1.2 Аналіз сучасних систем «Розумний пішохідний перехід».....	11
1.2.1 Проєкт In-Roadway Warning Light (IRWL).....	11
1.2.2 Проєкт The Starling Crossing.....	13
1.2.3 Пішохідний перехід Unilight.....	15
1.3 Переваги та недоліки існуючих рішень.....	17
2 ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ПІШОХІДНИЙ ПЕРЕХІД»	19
2.1 Вибір метода вимірювання швидкості	19
2.2 Визначення архітектури системи «Розумний пішохідний перехід».....	22
2.3 Вибір технології бездротового зв'язку.....	24
3 РОЗРОБКА ОСНОВНИХ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ПІШОХІДНИЙ ПЕРЕХІД»	38
3.1 Розробка структурної схеми головного модуля системи «Розумний пішохідний перехід».....	38
3.2 Розробка структурної схеми детектора автомобіля системи «Розумний пішохідний перехід».....	40
3.3 Розробка функціональної схеми головного модуля системи «Розумний пішохідний перехід».....	43
3.4 Розробка функціональної схеми детектора автомобіля системи «Розумний пішохідний перехід».....	49
3.5 Розробка програмних засобів системи «Розумний пішохідний перехід».....	52

					08-54.МКР.008.00.000 ПЗ									
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата										
Розроб.		Кондратюк Р. І.			Апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід» Пояснювальна записка				Літ.		Арк.		Акрушів	
Перевір.		Тарновський М.Г.									6			
Реценз.		Грицак А.В.												
Н. Контр.		Швець С.І.												
Затверд.		Азаров О.Д.												
					ВНТУ, гр. ІКІ-23м									

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВВЕДЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ	55
4.1 Рекомендації з монтажу та налаштування	55
4.2 Рекомендації з технічного обслуговування та експлуатації	57
5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	60
5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки	60
5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної роботи	63
5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором	68
ВИСНОВКИ	75
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	76
ДОДАТОК А Технічне завдання	78
ДОДАТОК Б Архітектура системи «Розумний пішохідний перехід»	82
ДОДАТОК В Структурна схема головного модуля	83
ДОДАТОК Г Структурна схема детектора автомобіля	84
ДОДАТОК Д Функціональна схема головного модуля	85
ДОДАТОК Е Функціональна схема детектора автомобіля	86
ДОДАТОК Ж Протокол перевірки навчальної (кваліфікаційної) роботи	87

					08-54.МКР.008.00.000 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		7

ВСТУП

Безпека на дорогах, особливо захист пішоходів, залишається актуальною темою сьогодення. Статистика ДТП в Україні за період з 1 січня 2020 року до 31 січня 2022 року свідчить, що 90% аварій із загиблими та/або травмованими пов'язані з наїздом на пішоходів [1]. Ці дані вказують на значний відсоток постраждалих унаслідок таких випадків. Проблема безпеки пішоходів є глобальною і стосується багатьох країн світу. У Європі та країнах СНД активно розробляються різні системи для зменшення кількості ДТП, такі як Unlight, The Starling Crossing (Umbrellium) та Helious.

Актуальність теми роботи обумовлена тим, що значна частина дорожньо-транспортних пригод трапляється саме з пішоходами, і часто вони завершуються летальними наслідками. Серед основних причин цього — швидке зростання міського населення, різке збільшення кількості транспортних засобів, порушення правил дорожнього руху його учасниками, а також прийняття ними невірних рішень через відсутність інформації про дорожню ситуацію.

Значна частина дорожньо-транспортних пригод відбувається не лише через порушення правил дорожнього руху, але й через несприятливі погодні умови, втому водіїв, засліплення фарами або незадовільний стан дорожнього покриття. Особливо аварії за участю пішоходів часто трапляються на нерегульованих пішохідних переходах за умов поганої видимості. Для зменшення таких випадків необхідно впроваджувати заходи, які активно попереджатимуть водіїв про наближення до нерегульованого переходу та присутність пішоходів на ньому.

Частково ці завдання вирішуються завдяки освітленню зони пішохідного переходу та встановленню додаткової світлової сигналізації. Однак суттєве зниження ризику наїзду на пішоходів можливе лише за допомогою впровадження комплексної системи. Така система повинна не лише покращувати освітлення, але й інформувати водіїв про присутність пішоходів, а також пішоходів — про наближення транспортного засобу.

Метою магістерської дипломної роботи є вдосконалення системи «Розумний пішохідний перехід» шляхом модернізації наявних рішень. Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

- провести аналіз сучасних методів та засобів реалізації систем «Розумний пішохідний перехід»;
- визначити підходи до вдосконалення системи «Розумний пішохідний перехід»;
- розробити архітектуру системи та основні її апаратно-програмні модулі;
- оцінити економічний ефект та комерційний потенціал нової розробки.

Об’єктом досліджень є процеси управління дорожнім рухом на пішохідних переходах.

Предметом досліджень є технічні засоби апаратно-програмного комплексу “Розумний пішохідний перехід”.

Новизна роботи полягає в тому, що набула подальшого розвитку система «Розумного пішохідного переходу», в якій за рахунок реалізації функцій вимірювання швидкості автомобіля та управління додатковим засобом світлової індикації надається можливість управляти діями пішоходу на нерегульованому пішохідному переході, що дозволяє забезпечити безпечний перетин проїзної частини, у тому числі і в умовах обмеженої видимості.

Практичне значення — застосування запропонованої системи дозволяє знизити рівень дорожньо-транспортних пригод на нерегульованих пішохідних переходах.

Апробація результатів наукової роботи було проведено на науковій конференції : «Молодь у науці: дослідження, проблеми, перспективи (МН – 2025)», доповідь на тему «Апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід»», [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2025/paper/viewFile/22946/80820>

1 АНАЛІЗ СУЧАСНИХ СИСТЕМ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ НА ПІШОХІДНИХ ПЕРЕХОДАХ

1.1 Регулювання руху на пішохідних переходах

За статистикою МВС, майже кожне четверте ДТП пов'язане з наїздом на пішохода. Для безпечного перетину проїзної частини дороги пішоходами на ній передбачають спеціальну область — пішохідний перехід. З точки зору ПДР пішохідний перехід — це спеціально виділена для пішоходів ділянка проїзної частини або трамвайних колій. Для забезпечення безпеки дорожнього руху пішохідні переходи можуть бути організовані над проїжджою частиною або під нею. Відповідно розрізняють «надземний» та «підземний» пішохідний перехід. Такі пішохідні переходи вважаються безпечними.

Наземні пішохідні переходи обов'язково обладнають дорожніми знаками та розміткою. Такі переходи поділяються на регульовані та нерегульовані. Регульованим є пішохідний перехід, рух через який регулюється світлофором чи регулювальником. Найчастіше регульовані пішохідні переходи облаштовують на перехрестях.

Нерегульовані пішохідні переходи є найпростішими та найпоширенішими. На таких переходах не встановлені світлофори, а тому вони є найбільш небезпечними. Водій транспортного засобу, наближаючись до нерегульованого пішохідного переходу, на якому перебувають пішоходи, повинен знизити швидкість або, за необхідності, зупинитися, щоб пропустити пішоходів. Але досить часто водії автотранспорту можуть не помічати пішоходів або навіть пішохідних переходів через обмежену видимість.

Сучасним рішенням з підвищення безпеки на нерегульованих пішохідних переходах є впровадження інформаційних систем «Розумний пішохідний перехід». Такі системи є апаратно-програмним комплексом, що додатково попереджає водія не тільки про те, що попереду на нього чекає пішохідний перехід, а й про те, що у даний момент на ньому знаходяться люди. Для запобігання наїздам на пішоходів вночі або в сутінки, система забезпечує

вмикання додаткового освітлення над переходом в момент наближення до нього людини. Особливої актуальності такі системи набувають на тих ділянках дороги, де пішохідний перехід погано проглядається через особливості місцевості.

1.2 Аналіз сучасних систем «Розумний пішохідний перехід»

У переважній більшості випадків управління дорожнім рухом здійснюється за допомогою дорожніх знаків, розмітки, світлофорів і спеціального обладнання. Проте у сучасних умовах стрімкого розвитку інформаційних технологій усе частіше впроваджуються нові інноваційні рішення.

Першу систему «розумного світлофора» було впроваджено ще в 1960-х роках у США. На сьогодні система «Розумний пішохідний перехід» активно розробляється та використовується в багатьох розвинених країнах, таких як США, Нідерланди, Данія, Велика Британія, Польща та інших. Наприклад, уряд Данії інвестував 9 мільйонів доларів для впровадження кількох сотень «розумних» пішохідних переходів лише в Копенгагені.

На ринку представлено безліч рішень, розроблених провідними компаніями, серед яких IBM, 2s.design, Scoot, Unilight, Utopia та інші.

В Україні розумні системи регулювання дорожнього руху знаходяться на етапі розвитку, особливо в порівнянні з іншими європейськими країнами. Першу таку систему впровадили у столиці — Києві. Щороку кількість розумних технологій на дорогах України збільшується, а вже існуючі системи постійно вдосконалюються. Наприклад, у 2016 році в Києві магістральні світлофори були модернізовані, і їхня робота почала враховувати дорожньо-транспортні пригоди та погодні умови.

1.2.1 Проєкт In-Roadway Warning Light (IRWL).

Система розроблена компанією Light Guard Systems, яка повністю спеціалізується на розробці освітлювальних систем у галузі безпеки.

До складу системи РПП входять такі компоненти (рис.1.1):

- попереджувальні ліхтарі Lightstar M11;
- сталеві або міцні композитні опорні плити;
- кнопка активації та автоматична активація давачем руху;
- сонячна панель або джерело змінного струму;
- контролер з алюмінієвим вентиляльованим корпусом;
- попереджувальні знаки з підсвіткою LED.



Рисунок 1.1 — Система In-Roadway Warning System

Кількість попереджувальних світлових пристроїв Lightstar M11, необхідних для облаштування проїжджої частини, залежить від кількості смуг дороги. Для типової двосмугової дороги потрібно п'ять ліхтарів з кожного боку пішохідного переходу та чотири ліхтарі для освітлення тротуарів. У сумі це становить десять світильників і десять опорних плит для двосмугової дороги.

Для активації переходу пішоходи можуть скористатися двома методами: автоматично, за допомогою двонаправлених інфрачервоних датчиків, які спрацьовують при виході пішохода на перехід із будь-якого боку, або вручну, натиснувши кнопку. Кожен із цих способів має свої переваги: ручна активація є зручною у разі несправності автоматичних датчиків, тоді як автоматична

активація забезпечує спрацьовування навіть у випадках, коли пішохід забуде натиснути кнопку.

Система оснащена Universal Controller (UC), який відповідає за контроль та збереження даних, таких як час, дата та рух у кожному напрямку пішохідного переходу. Контролер може бути запрограмований на автоматичне увімкнення у встановлений час із подальшим переходом у режим очікування. Він оснащений резервним живленням від акумулятора на випадок перебоїв в електропостачанні. Крім того, UC підтримує інтеграцію з нетиповими методами активації, такими як радары, петлеві детектори або бездротові радіоприймачі.

Програмне забезпечення LightGuard Systems забезпечує стабільну та ефективну роботу системи, дозволяючи користувачеві налаштовувати її параметри. Усі вихідні сигнали контролера також управляються за допомогою цього програмного забезпечення [2].

1.2.2. Проєкт The Starling Crossing.

Спільнота Umbrellium запропонувала інноваційний підхід до пішохідних переходів, розробивши концепцію розумного переходу. Цей проєкт спрямований на забезпечення безпечного перетину дороги пішоходами шляхом створення в реальному часі динамічних зебр, стоп-ліній та інформаційних знаків для водіїв. Такі знаки попереджають про необхідність знизити швидкість або зупинитися [4].

Перший прототип цієї системи було тимчасово встановлено у Лондоні (рис. 1.2). Зона пішохідного переходу повністю контролюється камерами, дані з яких передаються у нейромережу. Ця нейромережа здатна розпізнавати пішоходів, велосипедистів і транспортні засоби, а також визначати їхнє розташування та швидкість, що дозволяє прогнозувати їхні подальші дії.

Покриття пішохідного переходу створено з урахуванням високої міцності: воно здатне витримувати вагу будь-яких транспортних засобів і запобігає ковзанню навіть під час сильного дощу. У дорозі вбудовані світлодіоди, які забезпечують хорошу видимість з будь-якого кута навіть у денний час. Світлодіоди проєктують відповідні зображення на поверхню дороги (рис. 1.3).



Рисунок 1.2 — Система The Starling Crossing



Рисунок 1.3 — Зображення, що виводяться світлодіодами на дорогу

Система може бути налаштована таким чином, щоб активуватися лише за наявності пішохода або автоматично розширювати свою ширину для впорядкування інтенсивного пішохідного потоку.

Для пішоходів, які зосереджені на екранах своїх смартфонів, передбачена спеціальна функція: система відображатиме попереджувальні знаки навколо таких осіб. Це сприятиме підвищенню їхньої уваги та забезпечить безпечний

перехід через дорогу.

1.1.3 Пішохідний перехід Unilight.

Unilight – це інноваційний програмно-апаратний комплекс, який дозволяє ефективно підняти рівень безпеки пішоходів та знизити ймовірність наїзду автомобілів у зоні нерегульованого пішохідного переходу[3]. Структуру систем зображено на рисунку 1.4. Даний комплекс використовує такі складові:

- давач руху – фіксує місцезнаходження пішохода на дорозі;
- інформаційне табло – відображає інформацію для водіїв про потенційну небезпеку;
- пристрій звукового оповіщення – попереджає людей з поганим або відсутнім зором про наявність пішохідного переходу на їх шляху;
- модуль керування освітленням – контролює роботу освітлювального обладнання на пішохідному переході;
- хмарна платформа UNILIGHT – передає інформацію на табло, що встановлене на відстані від 70 м до 100 метрів від пішохідного переходу;
- проекція пішохідного переходу – виводиться на дорожнє полотно за допомогою проєктора.

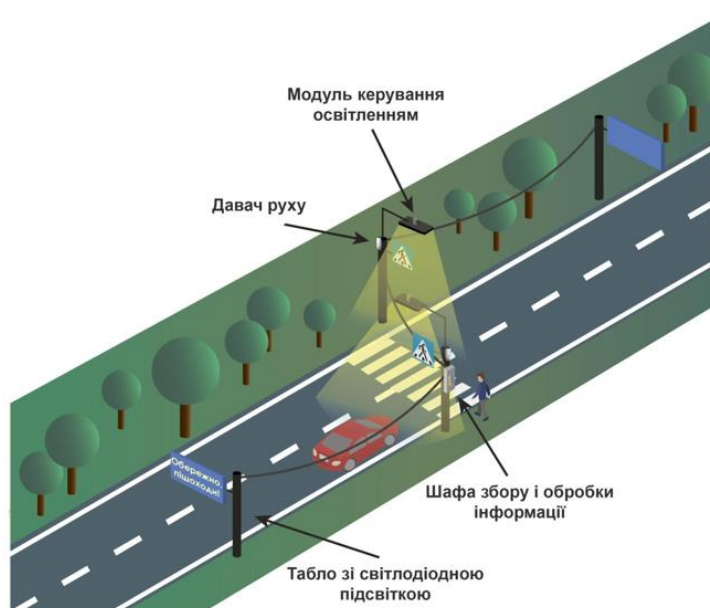


Рисунок 1.4 — Комплекс UNILIGHT

Комплекс UNILIGHT пропонує різні варіанти систем залежно від місця установки «Розумного пішохідного переходу».

Опис основного обладнання комплексу:

— шафа збору та обробки інформації (див. рис. 1.5), яка призначена для автоматичного, ручного та дистанційного керування освітлювальними мережами, а також для моніторингу та обліку споживаної електричної енергії;

— світильники, якими керують модулі UNILIGHT, керування світловим потоком здійснюється через канали GSM(3G), LoRa, NB-IoT, а система підтримує будь-які типи світильників, що використовують драйвери з протоколами управління 0/1-10 або DALI.

Шафа містить в собі такі компоненти:

- силове обладнання;
- контролер керування Unilight;
- антена GSM;
- лічильник електричної енергії.



Рисунок 1.5 — Шафа збору і обробки інформації Unilight

Програмне забезпечення UNILIGHT включає інтерактивну схему розумного пішохідного переходу, яка показує всі елементи системи та анімацію пішохода. Воно також повідомляє про несправності обладнання і надає можливість створення системи моніторингу для всіх розумних пішохідних

переходів у місті. Крім того, програма сповіщає про дорожньо-транспортні пригоди.

1.2 Переваги та недоліки існуючих рішень.

До переваг системи UNILIGHT можна віднести використання власного спеціалізованого контролера, що дає змогу легко налаштувати РПП для розміщення на дорогах країн світу, у яких правила дорожнього руху різняться між собою. Також система може керуватися дистанційно та передавати моніторингову інформацію у режимі реального часу через вбудований GSM-модуль.

Перевагою розумного пішохідного переходу The Starling Crossing є гнучкість розмітки, яка дозволяє адаптувати її до розташування системи, особливостей ландшафту та погодних умов. Система також включає нейромережу, яка постійно «навчається» і здатна прогнозувати можливі ДТП[4].

Недоліком цієї системи є погана видимість розмітки при сильному сонячному освітленні.

Система In-Roadway Warning Light має кілька переваг, але й один суттєвий недолік. До переваг відноситься наявність двох методів активації переходу, що є універсальним рішенням для пішоходів. Крім того, система може використовувати сонячну енергію, що є важливою перевагою в умовах відключень енергопостачання.

Недоліком цієї системи є висока вартість, що ускладнює швидке впровадження розумних пішохідних переходів по всьому місту чи в малих населених пунктах.

Під час аналітичного огляду наукових джерел було виявлено, що актуальним завданням є удосконалення пішохідних переходів на різних ділянках автомобільних доріг для ефективного попередження учасників дорожнього руху про потенційну небезпеку.

Після аналізу існуючих рішень щодо облаштування пішохідних переходів було запропоновано вдосконалити наявні системи для більш ефективного

попередження учасників дорожнього руху про потенційні ДТП.

Дослідження показало, що запропонована система "Розумний пішохідний перехід" повинна бути автономною, екологічною, легкою у впровадженні та доступною за ціною, щоб забезпечити швидке розширення покриття розумними пішохідними переходами.

2 ВИЗНАЧЕННЯ АРХІТЕКТУРИ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ПІШОХІДНИЙ ПЕРЕХІД»

Як витікає з аналізу сучасних систем «Розумний пішохідний перехід», що був проведений у першому розділі, основним завданням таких систем є попередження водія про перебування пішохода на нерегульованому пішохідному переході. Подальше підходом до підвищення безпеки перетину проїзної частини на нерегульованому пішохідному переході є попередження пішохода про автомобіль, який не перебуває у зоні прямої видимості і наближається до переходу з недотриманням швидкісного режиму. Для вирішення цього завдання у розроблюваній системі необхідно передбачити контроль швидкості транспортних засобів, що наближаються до нерегульованого пішохідного переходу. Тому першим кроком до визначення архітектури системи «Розумний пішохідний перехід» є вибір методу вимірювання швидкості автомобіля.

2.1 Вибір метода вимірювання швидкості

Згідно з класичним методом визначення швидкості переміщення на кінцевому інтервалі часу, швидкість обчислюється як різниця координат, що відповідають початку та кінцю цього інтервалу. У цьому методі інтервал вимірювання може бути встановлений з високою точністю завдяки використанню кварцової стабілізації частоти. Таким чином, похибка визначення середньої швидкості залежить від точності вимірювання координат об'єкта.

Згідно з класичним методом визначення швидкості переміщення на кінцевому інтервалі часу, швидкість обчислюється як різниця координат, що відповідають початку та кінцю цього інтервалу. У цьому методі інтервал вимірювання може бути встановлений з високою точністю завдяки використанню кварцової стабілізації частоти. Таким чином, похибка визначення середньої швидкості залежить від точності вимірювання координат об'єкта.

Ультразвукові методи ґрунтуються на вимірюванні часової затримки ультразвукових хвиль, відбитих від перешкоди чи іншого об'єкта. Основним

параметром вимірювання є відстань до перешкоди або об'єкта, а швидкість і прискорення визначаються на основі результатів кількох вимірювань відстані за певний інтервал часу.

Радіолокаційні методи базуються на застосуванні радару або РЛС (Radio Detection and Ranging — радіовиявлення та вимірювання відстані) — системи, що призначена для виявлення рухомих об'єктів, а також визначення відстані до них, їхньої швидкості, прискорення та геометричних характеристик. Ці методи використовують принцип радіолокації, який полягає у випромінюванні радіохвиль і реєстрації сигналів, відбитих від об'єктів.

У класичному імпульсному радарі система передає імпульси тривалістю близько кількох десятків нс і потім очікує ехо деякий час, що є функцією відстані до цілі. Інформація про швидкість в недоплерівському радарі може бути отримана тільки на основі масиву даних про зміни відстані до об'єкта в часі. Звичайна радарна система з кореляційним ресивером включає генератор імпульсів і трансмітер, що передає сигнал через антену. Передавальний сигнал досягає об'єкта, потім відображається і приймається антеною ресивера, після чого надходить у ресивер, проходячи через блок з ФНЧ, АЦП і схему оцінки сигналу. Спеціальна ознака кореляційного ресивера - отримання опорного сигналу від генератора імпульсів, який змішується з сигналом, що відображається від цілі та прийнятим ресивером. В результаті кореляції може бути зроблено висновок про відстань до об'єкта на основі часу затримки між переданим та отриманим імпульсом.

FMCW радары. На відміну від імпульсних, радары з незатухаючою гармонійною хвилею continuous wave безперервно передають одиночну частоту і прослуховують ехо, яке, таким чином, існує безперервно, тому не надає інформації про відстань. Спеціальні методи дозволяють з доплерівського зсуву отримувати інформацію про швидкість, причому це спрощує радар, тому що не потрібна високошвидкісна генерація імпульсів та їх синхронізація. Принцип дії радіочастотного радару заснований на випромінюванні в напрямку автомобіля високочастотного радіосигналу, що рухається, як правило, в діапазонах Х, К або

Ка. Отримавши відбитий від кузова автомобіля сигнал, обчислювальний модуль радара порівнює його частоту з частотою вихідного сигналу та визначає швидкість автомобіля. Дія радара заснована на ефекті Доплера.

Ефект Доплера — це явище, у якому змінюється частота і довжина хвилі, що розглядається спостерігачем, залежно від відносного руху джерела та спостерігача.

Принцип роботи методу:

— коли джерело хвиль (або приймач) наближається до спостерігача, частота хвиль збільшується (хвилі стискаються);

— коли джерело хвиль (або приймач) віддаляється, частота хвиль зменшується (хвилі розтягуються).

— Різниця між випромінюваною частотою (f_0) та частотою, зареєстрованою приймачем (f') залежить від швидкості об'єкта.

Формула для вимірювання зміненої частоти:

$$f' = f_0 \times \frac{v+v_r}{v+v_s}, \quad (2.1)$$

де f' — частота, сприйнята приймачем;

f_0 — частота хвилі, випромінювана джерелом;

v — швидкість хвилі (наприклад, швидкість звуку в повітрі або світла в вакуумі);

v_r — швидкість приймача відносно середовища (додатна при наближенні);

v_s — швидкість джерела відносно середовища (додатна при віддаленні).

Швидкість об'єкта у свою чергу обчислюється за формулою:

$$v_r = \frac{\Delta f \times v}{f_0} \quad (2.2)$$

Серед переваг виміру швидкості ефектом Доплера можна виділити високу точність, велика дальність, а також фіксація об'єктів різних розмірів, як

мікрочастинок, так і космічних тіл. Але в той же час метод має вагомі недоліки, такі як вплив від погодних умов, необхідність у специфічному дорогому обладнанні та складність розрахунків.

Також існують інтелектуальні системи вимірювання середньої швидкості певному ділянці дороги. Це система, заснована на двох або більше камерах, на яких фіксується держномер у точці А та час зйомки отриманої з першої камери, а потім на другій камері держномер у точці Б та час. Шляхом обчислення координат і часу за коротке авто подолато цю ділянку дороги, отримуємо середню швидкість на ділянці між першою та другою камерою.

Для вимірювання швидкості автомобіля у розроблюваній системі «Розумний пішохідний перехід» обираємо непрямий класичний метод, оскільки інші розглянуті методи є занадто складними у використанні, а тому вимагатимуть складного обладнання, що негативно вплине на вартість розроблюваної системи. Відповідно до цього, необхідно забезпечити вимірювання часу, за який автомобіль долає певну ділянку шляху.

2.2 Визначення архітектури системи «Розумний пішохідний перехід»

Найпростішим способом реалізації непрямого методу вимірювання швидкості автомобіля за часом, за який він долає певну відстань, є фіксація моментів часу знаходження автомобіля у двох наперед визначених точках. Для отримання можливості відстеження динаміки зниження швидкості вибираємо три точки контролю.

З врахуванням викладеного вище розроблювана система «Розумний пішохідний перехід» буде складатися з головного модуля та кількох детекторів автомобіля (додаток Б). Головний модуль розташовується безпосередньо у зоні пішохідного переходу. Основними функціями головного модуля є:

- фіксація перебування пішохода перед переходом;
- вмикання світлової індикації для привертання уваги водія;
- вмикання освітлення над переходом у темний час доби;

- вимірювання швидкості автомобіля;
- вмикання світлового сигналу попередження пішоходу, якщо швидкісний режим руху автомобіля несе загрозу для нього.

Для забезпечення даного функціоналу до головний модуль взаємодіє з давачем руху, давачем освітленості, засобом підсвічування пішохідного переходу, детекторами автомобіля, засобами світлового попередження водія та пішоходу.

Детектори автомобіля забезпечують фіксацію перебування автомобілю у контрольованих точках, при його наближенні до пішохідного переходу. З боку обмеженої для пішохода видимості необхідно розмістити три детектора, для отримання можливості контролю динаміки зниження швидкості. З боку прямої видимості можна обмежитися лише визначенням швидкості, а тому буде достатньо двох детекторів (рис. 2.1).

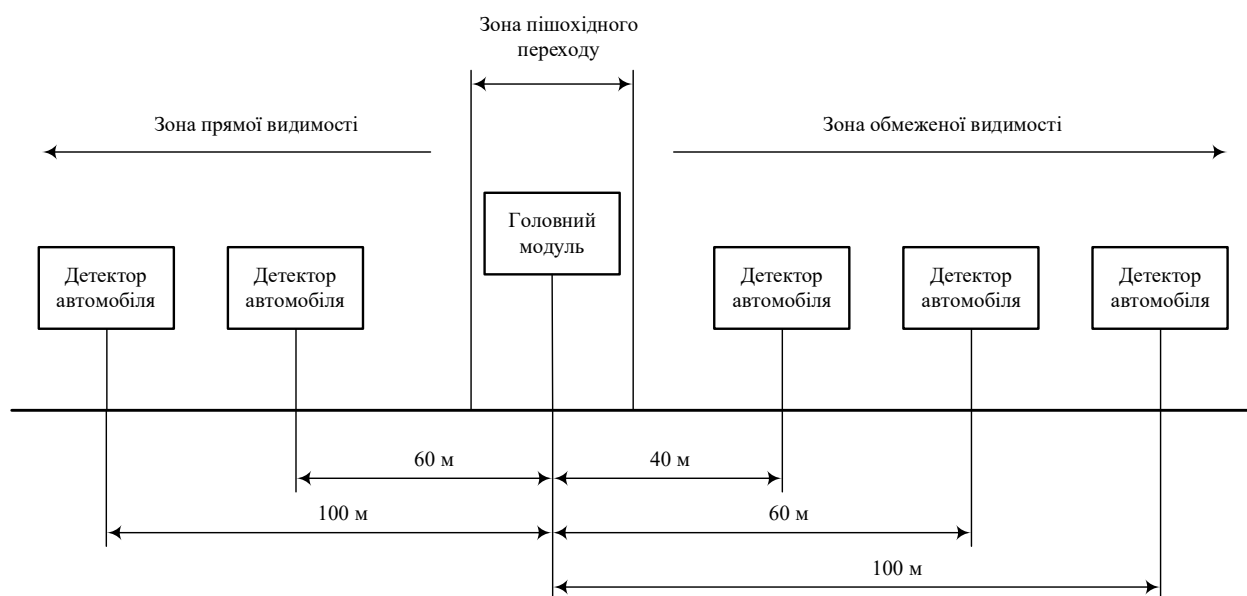


Рисунок 2.1 — Схема розташування модулів системи

Для отримання можливості встановлення обладнання за межами населених пунктів передбачаємо використання автономного живлення. З цією метою до складу системи додані сонячні панелі та акумуляторні батареї.

Для спрощення робіт з монтажу системи та зменшення витрат на їх виконання, передбачаємо використання бездротової комунікації між головним

модулем та детекторами автомобіля. Тому наступним кроком з розробки системи «Розумний пішохідний перехід» є вибір технології бездротового зв'язку, під час якого слід врахувати такі аспекти:

- дальність зв'язку;
- частота зв'язку;
- безпечність;
- електричне живлення;
- швидкість передавання інформації.

2.3 Вибір технології бездротового зв'язку

Для вибору технології бездротової передачі даних між детекторами автомобіля та головним модулем проаналізуємо та порівняємо такі стандарти передачі даних [5]:

- GSM;
- Bluetooth LE;
- LoRaWAN;
- NB IoT;
- ZigBee;
- Wi-Fi (IEEE 802.11g);
- SigFox.

Мережевий стандарт GSM.

GSM — це міжнародний стандарт цифрового стільникового зв'язку з розділенням каналу за принципом TDMA та підвищеним рівнем безпеки завдяки використанню шифрування з відкритим ключем. Його було розроблено наприкінці 1980-х років під керівництвом Європейського інституту стандартизації електрозв'язку (ETSI).

Більшість GSM-мереж функціонують у частотних діапазонах 900 МГц і 1800 МГц. Проте в деяких країнах Америки використовуються альтернативні

частоти — 850 МГц та 1900 МГц, оскільки стандартні частоти 900 МГц і 1800 МГц зайняті іншими системами [6].

Додатково, окремі країни, зокрема Скандинавські та деякі острівні держави, застосовують частотні діапазони 400 Гц і 450 МГц.

У стандартному діапазоні 900 МГц зв'язок між терміналом і базовою станцією відбувається на частотах 890–915 МГц у напрямку від терміналу до базової станції та 935–960 МГц у зворотному напрямку. У деяких країнах діапазон GSM 900 було розширено до 880–915 МГц (MS → BTS) і 925–960 МГц (MS ← BTS), що дозволило збільшити кількість доступних каналів на 50. Ця модифікація отримала назву E-GSM (розширений GSM).

Стандарт GSM підтримує кілька голосових кодеків, які забезпечують передачу голосового каналу шириною 3,1 кГц зі швидкістю від 5,6 до 13 кбіт/с.

Мережі GSM надають різноманітні послуги, включаючи:

- передавання коротких повідомлень (SMS);
- передавання аудіо-інформації;
- передавання мультимедійних повідомлень (MMS);
- передавання факсів;
- передавання текстових даних.

До переваг стандарту GSM можна віднести покращений захист від підслуховування та несанкціонованого використання порівняно з аналоговими системами, високу якість зв'язку за умови достатньої щільності базових станцій, підтримку великої кількості одночасних з'єднань, а також його широке розповсюдження у світі, особливо в Європі.

Серед недоліків виділяють спотворення мовлення під час цифрової обробки та передачі, а також обмеження зв'язку на відстані до 120 км від найближчої базової станції, навіть за умови використання підсилювачів і антен [7].

Мережевий стандарт Bluetooth LE.

Стандарт Bluetooth Low Energy (BLE) – це сучасна технологія, розроблена організацією Bluetooth SIG. Вона відзначається низьким енергоспоживанням,

швидким встановленням з'єднання, високою надійністю та захистом переданих даних. BLE споживає у 10–20 разів менше енергії та забезпечує передачу даних у 50 разів швидше, ніж класичні рішення Bluetooth.

Bluetooth Low Energy орієнтований на перспективні сфери, такі як здоров'я і спорт, споживча медична техніка, енергозбереження, промислова автоматизація та системи безпеки.

Завдяки технології адаптивної стрибкоподібної зміни частоти, BLE може швидко перемикатися між різними робочими частотами в широкому діапазоні. Це допомагає зменшити інтерференцію та уникнути перевантаження у частотному спектрі. Крім широкомовного режиму, BLE також підтримує спосіб передачі даних через пряме з'єднання між окремими пристроями.

Захист переданих даних завжди був одним із ключових пріоритетів у розробці нових бездротових технологій. Bluetooth Low Energy (BLE) інтегрує низку механізмів для забезпечення безпеки, зокрема аутентифікацію, авторизацію, шифрування та алгоритми, спрямовані на запобігання перехопленню даних.

BLE, створений організацією Bluetooth SIG, побудований на принципах відкритого стандарту. Завдяки відповідності вимогам кваліфікаційного тестування та перевірки електромагнітної сумісності, ця технологія дозволяє розробникам програмно-апаратних рішень повністю використовувати її можливості. Користувачі, у свою чергу, отримують зручність і комфорт під час роботи з пристроями, що підтримують BLE, незалежно від їхнього виробника.

Технологія Bluetooth Low Energy, яка працює на вільно доступних радіохвилях діапазону 2,4 ГГц, може використовуватися в будь-якій точці світу.

Давачі Bluetooth Low Energy є двох типів:

— давачі Single-mode, які підтримують виключно технологію Bluetooth Low Energy та оптимізовані для додатків із низьким енергоспоживанням, невеликою вартістю та компактними розмірами;

— давачі Dual-mode — забезпечують підтримку як Bluetooth Low Energy, так і класичної версії Bluetooth? дозволяє зберігати зворотну сумісність із усіма попередніми версіями специфікації Bluetooth [8].

Мережевий стандарт LoRaWAN є широкосмуговим протоколом мереж низького енергоспоживання (LPWA), розробленим для бездротового підключення пристроїв до регіональних, національних або глобальних мереж. Вона орієнтована на ключові потреби Інтернету речей (IoT), зокрема двосторонній зв'язок, наскрізну безпеку, мобільність та сервіси визначення місцезнаходження.

Архітектура мережі LoRaWAN побудована за топологією «зірка-зірка», де шлюзи передають дані між кінцевими пристроями та центральним сервером. Шлюзи підключаються до мережевого сервера через стандартні IP-з'єднання, виконуючи функцію прозорого моста, який конвертує RF-пакети в IP-пакети і навпаки. Бездротовий зв'язок використовує переваги технології Long Range (LoRa) на фізичному рівні, забезпечуючи пряме з'єднання між кінцевими пристроями та одним або кількома шлюзами. Усі режими підтримують двосторонній зв'язок, а також групову багатоадресну передачу, що оптимізує використання спектра для завдань, таких як оновлення прошивки «по повітрю» (FOTA) чи масові повідомлення[9].

LoRaWAN має три різних класи кінцевих пристроїв для виконання різних потреб (рис. 2.2). Клас А — двонаправлені кінцеві пристрої з мінімальним енергоспоживанням. Усі кінцеві пристрої LoRaWAN повинні за замовчуванням підтримувати цей клас. Передача завжди ініціюється кінцевим пристроєм і здійснюється асинхронно. Кожна передача по висхідному каналу може відбуватися в будь-який час, після чого йдуть два короткі вікна для прийому по низхідному каналу, що дозволяє здійснювати двосторонній зв'язок або відправляти команди управління мережею, якщо це необхідно. Кінцевий пристрій може переходити в режим низького енергоспоживання, залежно від налаштувань, що робить клас А найефективнішим за енергоспоживанням, з тривалістю роботи сенсора від 5 років і більше, одночасно з можливістю здійснювати зв'язок по висхідному каналу в будь-який момент.

Клас В — двонаправлені кінцеві пристрої, що мають певний час очікування низхідного потоку.



Рисунок 2.2 — Класи кінцевих пристроїв в мережах LoRa

Окрім початкових вікон прийому класу А, пристрої класу В синхронізуються з мережею за допомогою періодичних маяків і відкривають «слоти для перевірки» низхідного потоку за розкладом. Це дозволяє мережі відправляти повідомлення по низхідному каналу з певною затримкою, але при цьому вимагає додаткового енергоспоживання в кінцевому пристрої. Затримка може бути програмована до 128 секунд для різних застосувань, а додаткове енергоспоживання залишається низьким, що дозволяє використовувати цей клас для пристроїв на батарейках.

Клас С — двонаправлені кінцеві пристрої з мінімальною затримкою. Окрім структури класу А, де після висхідної лінії зв'язку слідує два вікна низхідної лінії зв'язку, клас С додатково зменшує затримку на низхідному каналі, постійно підтримуючи прийом на кінцевому пристрої, коли він не передає (полудуплекс). Завдяки цьому мережевий сервер може ініціювати передачу по низхідній лінії

зв'язку в будь-який час, якщо приймач пристрою активний, і затримки не виникають. Однак це веде до збільшеного споживання енергії приймачем (до ~50 мВт), тому клас С найкраще підходить для рішень, де є постійне джерело живлення.

Мережевий стандарт NB-IoT (Narrowband Internet of Things) був визначений у специфікації 3GPP в Release 13 (LTE Advanced Pro). Ця технологія, також відома як LTE-Cat.M2, має численні переваги, серед яких широкий радіус покриття, можливість швидкої модернізації існуючих мереж, низьке енергоспоживання, що забезпечує тривалість роботи акумулятора до 10 років, економічність, технологія Plug and Play, підвищена надійність та висока безпека. NB-IoT є ідеальним для використання в ринкових рішеннях LPWAN, зокрема для таких систем, як інтелектуальні лічильники, відеоспостереження, "Розумне місто", системи електронної охорони здоров'я та інші.

Розгортання NB-IoT у частотних діапазонах, таких як 700 МГц, 800 МГц і 900 МГц, має низку переваг, оскільки ці діапазони підтримуються багатьма відомими виробниками датчиків та радіопередавачів. На сьогодні існує велика кількість комерційних мереж UMTS та LTE, що працюють у діапазоні 900 МГц.

Для впровадження мереж LPWAN NB-IoT було запропоновано три варіанти розгортання: в межах захисної смуги (Guard Band), в межах частотної смуги (In Band) та автономний (Standalone). Мережу можна розгорнути як самостійну систему (Standalone), використовуючи будь-який доступний спектр шириною понад 180 кГц. Крім того, вона може функціонувати в рамках спільного використання спектра LTE (LTE In Band) або в захисній смузі LTE (LTE Guard Band). Сценарії розгортання зображені на рисунку 2.3.

Перший сценарій NB-IoT, відомий як Guard Band, використовує захисні інтервали між технологіями LTE як робочий діапазон для зв'язку. Другий сценарій, In-Band, менш оптимальний, оскільки в ньому використовуються частотні ресурси доступного спектру LTE. Третій сценарій, Standalone, передбачає використання спектру, який знаходиться поза межами частот, виділених для традиційних технологій 3GPP UMTS/LTE.

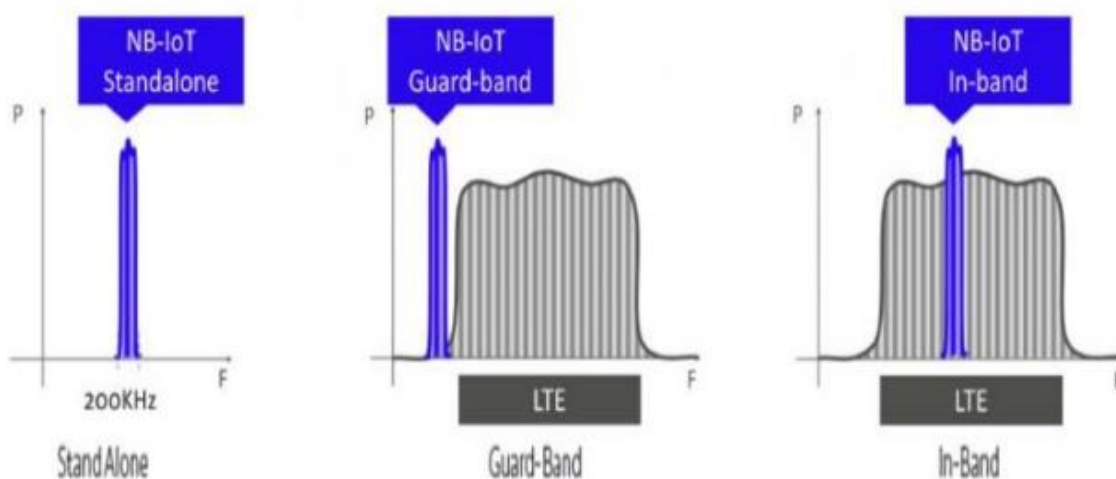


Рисунок 2.3 — Сценарії розгортання мереж NB-IoT

Таким чином, мережу NB-IoT можна розгорнути в частотних діапазонах, де вже працює стандарт GSM, після його конвертації в LTE, або в "захисних" інтервалах між мережами GSM та LTE. Швидкість передачі даних у мережі NB-IoT може досягати 200 кбіт/с, що є достатнім для пристроїв, які періодично передають невеликі обсяги однотипних даних.

Мережевий стандарт ZigBee є відкритим глобальним стандартом бездротового зв'язку, розробленим для використання цифрових радіосигналів з низьким енергоспоживанням. Цей протокол широко використовується в системах розумного будинку, де він забезпечує комунікацію між різними смарт-пристроями. У таких системах можуть застосовуватися й інші протоколи, такі як Bluetooth, Z-Wave або Wi-Fi, залежно від вимог до системи.

Хоча Wi-Fi та Bluetooth є ефективними технологіями, вони не ідеальні для роботи в малопотужних бездротових мережах, таких як Інтернет речей. Протокол ZigBee, у порівнянні з ними, є більш підходящим, оскільки поєднує низьке енергоспоживання, характерне для Wi-Fi, із додатковими можливостями для автоматизації дому. Це дозволяє швидко та безпечно з'єднувати пристрої з низьким енергоспоживанням.

Основні характеристики ZigBee:

— забезпечення спектру поширення прямої послідовності (DSSS);

- може підтримувати до 65 000 мережових вузлів одночасно;
- довгий термін служби батареї;
- низька затримка відгуку;
- підтримка різних мережових топологій;
- шифрування 128-bit для безпечних підключень до даних.

Головною характеристикою протоколу ZigBee є його можливість підтримувати мережу типу "mesh" (з комірчастою топологією). У такій мережі кожен пристрій функціонує як підмережа, яка є частиною більшої комірчастої структури. Комірчаста топологія забезпечує послідовне з'єднання вузлів, де вони не лише передають і отримують сигнали, а й ретранслюють їх, створюючи розширену "mesh" мережу.

З'єднання між вузлами динамічно оновлюються і оптимізуються за допомогою складної вбудованої таблиці маршрутизації, що дозволяє ефективно передавати сигнали. Завдяки цьому вузли взаємно ретранслюють сигнали, що розширює зону покриття та дозволяє підключати всі доступні пристрої і датчики.

Усі пристрої ZigBee керуються через концентратор, який зазвичай підключається до домашньої Wi-Fi мережі або використовує спеціалізовані мобільні додатки. Однак, не всі ZigBee пристрої від різних виробників можуть працювати разом без проблем. Оскільки протокол ZigBee має відкритий вихідний код, виробники можуть вносити власні зміни в нього, що інколи ускладнює сумісність пристроїв різних брендів. Однак з розвитком технологій "Розумного будинку" сумісність пристроїв значно зростає, особливо при використанні певних інтелектуальних концентраторів.

Перевагами мережевого стандарту ZigBee є:

- можливість використовувати неліцензійні частоти;
- високий рівень захисту інформації;
- низьке енергоспоживання;
- високий рівень завадостійкості;
- «відкритість» протоколу.

Недоліки мережевого стандарту ZigBee:

- мала швидкість передавання;
- мала проникаюча здатність.

Мережевий стандарт Wi-Fi (IEEE 802.11g) IEEE 802.11g є одним з стандартів специфікації IEEE 802.11 для бездротових локальних мереж. В цьому стандарті досягається максимальна швидкість передачі даних 54 Мбіт/с в частотному діапазоні від 2,4 ГГц до 2,4835 ГГц.

Під час розробки стандарту 802.11g були розглянуті дві основні технології кодування: метод ортогонального частотного мультиплексування OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), який був запозичений із стандарту 802.11a, та метод двійкового пакетного згорткового кодування PBCC (Packet Binary Convolutional Coding). Як результат, стандарт 802.11g включає базові технології OFDM та CCK (Complementary Code Keying) для додаткової кодової модуляції, а також підтримку технології PBCC як допоміжної. Однією з найбільших переваг Wi-Fi є його глобальна сумісність. Wi-Fi є сімейством міжнародних стандартів (хоча в окремих країнах є деякі обмеження), що означає, що пристрій, виготовлений у США, має працювати безперебійно і в країнах СНД [10].

До недоліків можна віднести вразливість до перехресних перешкод. У випадку великої кількості точок доступу можуть виникати проблеми з підключенням до відкритої точки доступу, якщо поруч знаходиться хотспот, що працює на тому ж або суміжному каналі і використовує шифрування. Така проблема ускладнює використання протоколу Wi-Fi в системах РПП. Крім того, Wi-Fi має високі вимоги до енергоспоживання, що зменшує тривалість роботи батарей і підвищує температуру пристроїв.

Мережевий стандарт SigFox. забезпечує передачу даних на великі відстані при низькому енергоспоживанні передавача та обмеженій ємності батареї. Вона ідеально підходить для простих автономних пристроїв, що передають обмежену кількість даних. SigFox схожа на мобільні мережі (GSM та LTE), але є більш енергоефективною та економічною. Технологія використовує ультра-вузьку

частотну смугу UNB (Ultra Narrow Band) для радіозв'язку пристроїв з глобальною Інтернет-мережею. Використання цієї частотної смуги є ключовим фактором для забезпечення низької потужності передавача і стабільної передачі даних.

У мережі SigFox вузли можуть працювати в двох конфігураціях:

- режим P2P, який забезпечує прямий зв'язок між вузлами через локальний мережевий інтерфейс (LAN);
- гібридний режим, який включає SigFox або P2P (P2P+GW).

Топологію мережевого стандарту SigFox показано на рис. 2.4.



Рисунок 2.4 — Топологія мережевого стандарту SigFox

Мережа SigFox використовує існуючі радіочастотні діапазони ISM і здатна співіснувати з іншими технологіями передачі даних без перешкод чи зниження пропускної здатності. У Європі ця технологія працює на частоті 868,8 МГц, а в США — на 915 МГц. Дальність дії мережі SigFox за межами населених пунктів становить приблизно 30-50 км, а в міських умовах — трохи менше. У районах з високим рівнем електромагнітного шуму дальність може знижуватися до 10 км.

Переваги стандарту:

- велика зона покриття;
- низьке споживання електроенергії;
- дешевизна у виробництві;
- довгий термін служби батареї.

Недоліки стандарту:

- малий рівень завадостійкості;
- мала швидкодія передавання даних.

Результати проведеного порівняльного аналізу найбільш поширеніших стандартів забезпечення комунікації між елементами цифрових бездротових мережах, що можуть бути використані у розроблюваній системі «Розумний пішохідний перехід», представлені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 — Порівняльні характеристики стандартів бездротового зв'язку

Технічні хар-ки	Bluetooth Low Energy	GSM	NB-IoT	SigFox	ZigBee	LoRa
Дальність зв'язку	80 м	35 км	-	10-50 км	100 м	Від 2 до 45 км
Швидкість передачі	< 1Мбіт/с	70 кбіт/с	Від 20 до 30 кбіт/с	Від 10 до 1000 біт/с	250 кбіт/с	Від 0.3 до 50 кбіт/с
Енерго-споживання	низьке	середнє	низьке	низьке	низьке	низьке
Аутентифікація	проблематично	високий рівень безпеки	високий рівень безпеки	так	так	так
Робота при значній забудові	ні	так	так	ні	так	так
Двонаправленість	так	так	так	ні	так	так

На основі аналізу цих стандартів зв'язку, з урахуванням таких ключових факторів, як дальність, швидкість передачі даних, частота, безпека, енергоспоживання, а також їхніх переваг і недоліків для використання в системі «Розумний пішохідний перехід», обираємо мережевий стандарт LoRaWAN. Стандарт LoRa описує тип модуляції, що відповідає першому рівню моделі OSI, тоді як протокол канального рівня називається LoRaWAN. У загальній системі буде використовуватися LoRaWAN на канальному рівні і LoRa на фізичному рівні.

LoRaWAN функціонує наступним чином: базова станція моніторить ефір на певній частоті, визначеній користувачем. Коли отримує запит від підключеного пристрою, вона відповідає на тій самій частоті. Ширина каналу в такій комунікації складає 125 кГц, а максимальна швидкість передачі даних перевищує 5 кбіт/с. Принцип роботи стандарту LoRaWAN показано на рис. 2.5.

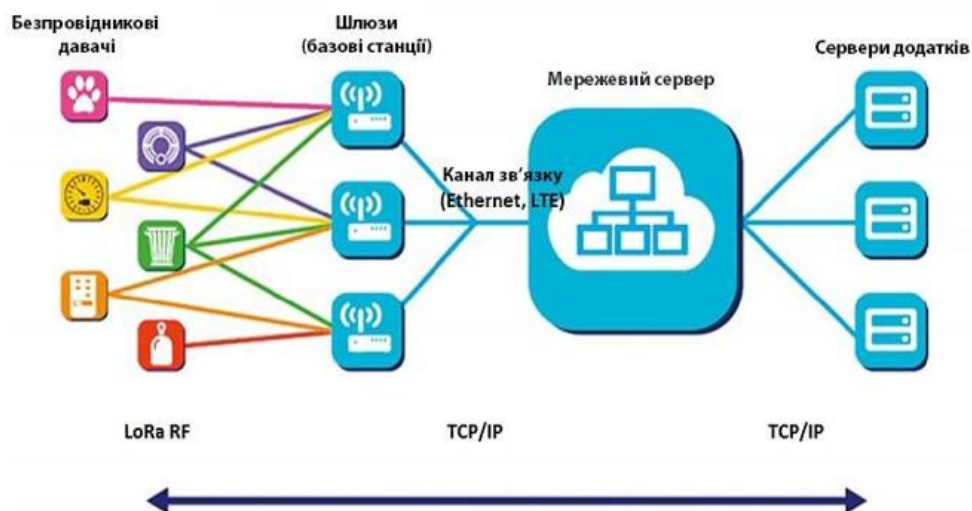


Рисунок 2.5 — Принцип роботи мережевого стандарту LoRaWAN

Вибір оптимального набору параметрів зв'язку залежить від умов радіопередачі. Цей вибір визначається коефіцієнтом SF (spreading factor), який налаштовує параметри передачі та отримання сигналу. Коефіцієнт SF є цілим числом в межах від 7 до 12. Вищі значення SF забезпечують кращу завадостійкість

лінії зв'язку, але знижують швидкість передачі, збільшуючи час перебування сигналу в ефірі.

Максимальне значення SF дорівнює 12, що призводить до часу передачі пакета в ефірі в 2,5 секунди і швидкості 290 біт/с. Однак, коли багато вузлів одночасно передають дані до базової станції, час перебування пакетів у ефірі збільшується. Тому за хороших умов радіопередачі значення SF зазвичай не досягає максимального рівня. Зі збільшенням швидкості передачі час передавання зменшується.

Базова станція (шлюз) отримує пакети даних, але їх обробка здійснюється на мережевому сервері. Мережевий сервер відповідає за управління шлюзами, визначаючи, який з них буде приймати дані від конкретного датчика, а також налаштовує інші важливі параметри. Однак обробка корисної інформації з пакетів відбувається на сервері додатків. Тут дані, отримані від датчиків, розшифровуються, а потім передаються у відповідному форматі до системи білінгу, користувацького інтерфейсу (UI) або іншого необхідного місця.

Причини використання стандарту LoRaWAN в системі «Розумний пішохідний перехід».

Стандарт LoRaWAN використовує частотний діапазон, доступний в Україні. Ширина каналу LoRaWAN складає 125 кГц. Хоча в специфікації стандарту передбачено канали з шириною 250 і 500 кГц, в Україні ці канали зазвичай не застосовуються. В межах діапазону 1,5 МГц знаходяться 8 основних частот, а також одна резервна частота (RX2), яка використовується, якщо зв'язок через основний канал неможливий.

LoRaWAN є відкритим стандартом, чіпи для давачів і радіомодулів доступні для вільного продажу, а вся документація є відкритою для користувачів. Багато компаній по всьому світу виробляють датчики та радіомодулі, сумісні з цим стандартом. Тому, навіть якщо один з виробників припинить виготовлення датчиків для цього стандарту, інші виробники продовжать випуск цієї продукції.

Давачі LoRaWAN характеризуються високою тривалістю роботи, їх енергоспоживання дозволяє працювати від однієї батареї протягом року або навіть довше. Цей період залежить від класу датчика (А, В або С). Наприклад, датчики класу А мають найтриваліший термін служби і можуть працювати від однієї батареї протягом кількох років.

Стандарт LoRaWAN забезпечує великий радіус передачі даних, що дозволяє приймати та передавати інформацію від датчиків навіть у підвалах або на відстані кількох кілометрів від шлюза. Максимальна відстань, на якій він може отримувати дані від датчиків, досягає 4 км у міських умовах. Однак у таких умовах можуть виникати проблеми зі стабільністю зв'язку та завадостійкістю, що може призвести до втрати пакетів..

Було проведено аналіз протоколів та мережевих технологій, які можуть бути потенційно застосовані для створення системи "Розумний пішохідний перехід", зокрема: GSM/LTE, LoRa, NB IoT, Bluetooth Low Energy, Wi-Fi, ZigBee та SigFox.

Враховуючи переваги та недоліки цих технологій, визначено їхні ключові технічні характеристики, такі як частотний діапазон, радіус дії сигналу та енергоефективність датчиків. На основі цього аналізу було обрано технологію LoRaWAN як найбільш підходящий варіант для передачі даних у системі "Розумний пішохідний перехід".

3 РОЗРОБКА ОСНОВНИХ АПАРАТНО-ПРОГРАМНИХ КОМПОНЕНТІВ СИСТЕМИ «РОЗУМНИЙ ПІШОХІДНИЙ ПЕРЕХІД»

3.1 Розробка структурної схеми головного модуля системи «Розумний пішохідний перехід»

Головний модуль є основним компонентом системи «Розумний пішохідний перехід», що розташовується безпосередньо у зоні пішохідного переходу. Головний модуль повинен забезпечувати фіксацію перебування пішохода перед переходом, вмикання світлової індикації для привертання уваги водія, вмикання освітлення над переходом у темний час доби, отримання даних від детекторів автомобіля для вимірювання його швидкості та вмикання світлового сигналу попередження пішохода, якщо швидкісний режим руху автомобіля несе загрозу для нього.

З врахуванням зазначеного функціоналу була розроблена структурна схема головного модуля, яка наведена у додатку В. Основними структурними блоками модуля є мікроконтролер, радіомодуль, давач руху, давач освітленості, вмикач освітлення переходу, вмикач попереджувального сигналу для водія та вмикач попереджувального сигналу для пішохода.

Мікроконтролер є основним блоком модуля, що забезпечує його функціонування. Взаємодія мікроконтролера з детекторами автомобіля забезпечується за допомогою радіомодуля [11]. За даними, що отримуються від детекторів автомобіля, мікроконтролер виявляє автомобіль, що наближається до пішохідного переходу, та вимірює його швидкість.

Активізація процесу обміну даними з детекторами відбувається у момент наближення до переходу пішохода. Виявлення пішохода забезпечується давачем руху. При виявленні пішохода вихідний сигнал давача приймає активне значення, за яким мікроконтролер ініціалізує виконання зазначених вище функцій.

При перебуванні пішохода перед переходом мікроконтролер вмикає світловий сигнал попередження водія. При незначній зовнішній освітленості (у сутінках або вночі) паралельно вмикається освітлення переходу. Крім того, при

наявності автомобіля на відстані меншій за 100 м від зони переходу вмикається попереджувальний сигнал для пішоходу (рис. 3.1). Вмикання забезпечується відповідними вмикачами. Переведення вмикачів у стан увімкнено відбувається за сигналами, що формуються мікроконтролером. Вимірювання рівня зовнішньої освітленості забезпечується давачем освітленості. За отримуваними з давача даними мікроконтролер контролює значення зовнішньої освітленості.



Рисунок 3.1 — Пішохідний перехід під час наявності пішохода і автомобіля, що рухається з недопустимою швидкістю

Якщо швидкість транспортного засобу є такою, що дозволяє водієві зупинити автомобіль перед переходом, попереджувальний сигнал для пішоходу знімається (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 — Пішохідний перехід при наявності пішохода та відсутності потенційної небезпеки

3.2 Розробка структурної схеми детектора автомобіля системи «Розумний пішохідний перехід»

Основним завданням детектора автомобіля є забезпечення фіксації автомобіля у контрольованих точках. Найбільш доцільним рішенням для реалізації цього завдання є використання давачів відстані.

При встановленні давача над смугою руху та його спрямуванні перпендикулярно до проїзної частини, зафіксувати автомобіль можна за зміною вимірюваної давачем відстані (рис. 3.3).

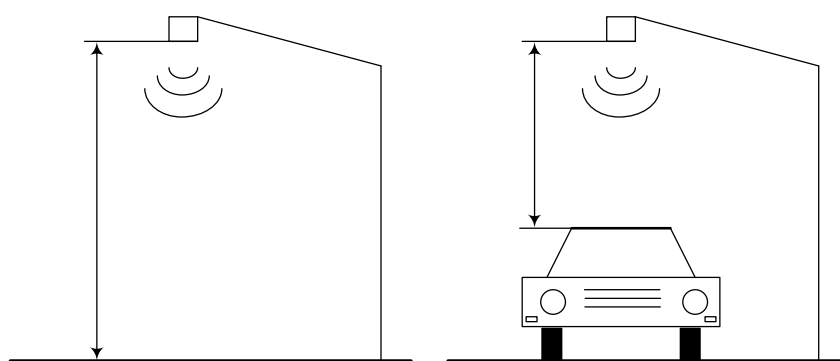


Рисунок 3.3 — Виявлення автомобіля за зміною відстані

Сьогодні для вимірювання відстані найбільше поширення отримали ультразвукові, інфрачервоні, лазерні та радарні давачі. Принцип роботи ультразвукових давачів заснований на випромінюванні звукових хвиль високої частоти, які поширюються у просторі та відбиваються від об'єктів. Давач вимірює час, за який хвиля повертається назад до приймача, і на основі цього часу розраховує відстань до об'єкта. Важливо враховувати, що швидкість звуку залежить від середовища, у якому він поширюється, тому такі давачі не працюють у вакуумі. Їх точність може знижуватись при наявності м'яких, нерівних або звукопоглинаючих поверхонь.

Основними перевагами ультразвукових давачів відстані є низька вартість, простота використання, можливість проводити вимірювання при різних рівнях зовнішньої освітленості. Головні недоліки: обмежений діапазон вимірюваних

відстаней (від 5 до 10 метрів), чутливість до перешкод (наприклад, пил, вітер), низька ефективність на нерівних або звуково-абсорбуючих поверхнях.

Інфрачервоні давачі (ІЧ) використовують інфрачервоне випромінювання для визначення відстані. Вони спрямовують пучок світла на об'єкт і аналізують, як він відбивається назад. У деяких моделях використовується метод тріангуляції, де відстань розраховується на основі зміщення кута відбиття. Інший метод — вимірювання часу проходження світла (Time-of-Flight), що дозволяє визначати відстань на більших діапазонах. Однак точність таких давачів залежить від кольору, текстури та здатності об'єкта відбивати світло [12].

Основними перевагами ІЧ давачів є висока точність на малих відстанях (від 1 до 2 метрів), компактність і низьке енергоспоживання, доступна ціна. Основні недоліки: залежність можливості вимірювання від кольору та відбивної здатності об'єкта, обмежений діапазон вимірювань, схильність до впливу навколишнього освітлення та погодних умов.

Лазерні давачі, або LiDAR, випромінюють лазерний промінь, який відбивається від об'єкта. Відстань розраховується за часом, необхідним променю для проходження до об'єкта і назад. Інколи використовується метод фазового зміщення, де порівнюється фаза випроміненого та відбитого сигналу. Завдяки вузькому спрямуванню лазера ці давачі забезпечують високу точність, навіть на великих дистанціях. Їх часто застосовують у системах, що потребують створення тривимірних карт, наприклад, у робототехніці чи автопілотах [13].

Основні переваги лазерних давачів: висока точність (помилка до міліметрів), великий діапазон вимірювання (до 200 метрів і більше), можливість роботи з різними поверхнями. Головними недоліками давачів цього типу є: висока вартість, чутливість до пилу, дощу та туману, залежність точності вимірювання від орієнтації.

Радарні давачі працюють за допомогою радіохвиль. Вони випромінюють хвилі, які відбиваються від об'єкта, і приймають їх назад. Відстань розраховується за часом проходження хвиль або за зміною частоти хвилі, якщо об'єкт рухається (ефект Доплера). Радари відрізняються тим, що вони можуть точно визначати

відстань до об'єктів навіть у несприятливих умовах, таких як дощ, сніг або туман, оскільки радіохвилі здатні проходити крізь перешкоди.

Основні переваги радарних давачів: висока надійність в будь-яких умовах (темрява, дощ, сніг), підходять для великих відстаней (до 300 метрів і більше), стійкість до забруднень. Основні недоліки пов'язані з більш високою вартістю за порівнянням з ультразвуковими або ГЧ-давачами, невисока точність на коротких відстанях.

З врахуванням викладеного вище та того, що для детектування наявності автомобіля не потрібно високої точності та широкого діапазону вимірювань, будемо використовувати ультразвукові давачі. У цьому випадку визначення наявності автомобіля можна реалізувати не лише за схемою на рис. 3.3, а й за схемою, що наведена рис. 3.4. При відсутності автомобіля вихідний сигнал давача через відсутність відбивання не буде надходити на його приймальний блок. При наявності автомобіля відбивання відбувається.

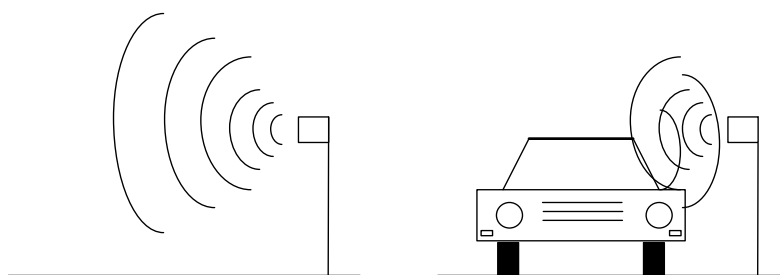


Рисунок 3.4 — Виявлення автомобіля за наявністю відбитого сигналу

З врахуванням викладеного вище структурна схема детектора автомобіля, яка наведена у додатку Г, буде складатися з мікроконтролера, радіомодуля та ультразвукового давача відстані.

Мікроконтролер періодично активізує давач на вимірювання відстані. За вихідним сигналом давача, якщо детектування проводиться за схемою на рис. 3.3, або за його наявністю, якщо детектування проводиться за схемою на рис. 3.4, мікроконтролер фіксує наявність або відсутність автомобіля. При наявності

автомобіля мікроконтролер генерує повідомлення головному модулю системи через радіомодуль.

3.3 Розробка функціональної схеми головного модуля системи «Розумний пішохідний перехід»

Для розробки функціональної схеми головного модуля з урахуванням необхідних функцій та доступності компонентів на ринку, були обрані такі елементи: мікроконтролер Atmega328P на платформі Arduino, радіомодуль SX1278, давачі руху HC-RS501, давач освітленості BH1750FVI. Було проведено порівняння різних моделей мікроконтролерів Atmega для визначення найбільш відповідного варіанту. Основним критерієм вибору став обсяг пам'яті мікроконтролера. Порівняння ключових характеристик мікроконтролерів подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 — Порівняння характеристик мікроконтролерів Atmega

Мікроконтролер	Flash-пам'ять	EEPROM	ОЗП
Atmega328P	32 Кб	1 Кб	2 Кб
Atmega328	32 Кб	1 Кб	2 Кб
Atmega168PA	16 Кб	512 б	1 Кб
Atmega168A	16 Кб	512 б	1 Кб
Atmega88PA	16 Кб	512 б	1 Кб
Atmega88A	8 Кб	512 б	1 Кб

Atmega328P є одним із найбільш популярних мікроконтролерів низької потужності з 8-розрядною RISC-архітектурою. Основні характеристики цього мікроконтролера наведені в таблиці 3.2. Плата включає всі необхідні компоненти для зручної роботи з мікроконтролером, зокрема USB-роз'єм, роз'єм для живлення, інтерфейс для програмування (ICSP) та кнопку скидання. Цей мікроконтролер здатний обробляти до одного мільйона інструкцій на 1 МГц за

один тактовий цикл, що забезпечує високу продуктивність при мінімальному споживанні енергії.

Таблиця 3.2 — Основні параметри мікроконтролера ATmega328P

Діапазон вхідної напруги	5В
Робоча напруга	8-12В
Кількість цифрових входів/виходів	20
Кількість аналогових входів/виходів	6
Постійний струм на виході 3.3В	50 мА
Постійний струм на входах/виходах	40 мА
Flash-пам'ять	32 Кб
SRAM	2 Кб
Тактова частота	16 МГц

За допомогою flash-пам'яті можна оновлювати програмне забезпечення без використання послідовного інтерфейсу SPI. Замість цього можна застосовувати стандартний програматор пам'яті або програму On-chip Boot. Принципова схема вмикання мікроконтролера ATmega328P наведена на рис. 3.5.

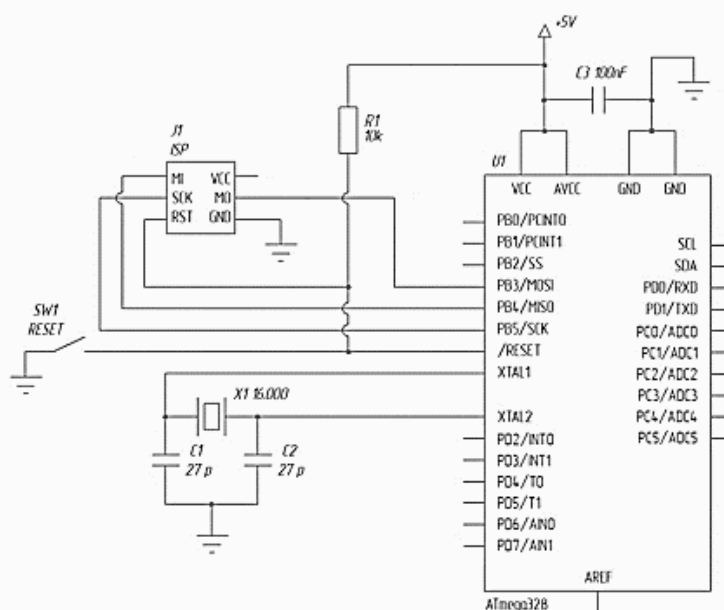


Рисунок 3.5 — Схема вмикання мікроконтролера ATmega328P

Завантажувальна програма може використовувати будь-який доступний інтерфейс для запису прикладного коду в флеш-пам'ять. Програмне забезпечення в режимі Boot Flash продовжує працювати навіть під час оновлення флеш-пам'яті, що дозволяє здійснювати зчитування та запис даних. Поєднання 8-розрядного RISC-процесора і вбудованої флеш-пам'яті робить ATmega328P потужним мікроконтролером, що забезпечує гнучкість і ефективність для розробки різноманітних вбудованих систем управління [14].

AVR мікроконтролера підтримує повний набір програм та інструментів для розробки, включаючи компілятори мовою C, програматори, налагоджувачі програм, емулятори та симулятори.

Для забезпечення бездротового обміну інформацією між головним модулем та детекторами автомобіля в системі "Розумний пішохідний перехід" вибрано радіомодуль SX1278 (рис. 3.6) [15].



Рисунок 3.6 — Радіомодуль SX1278

Вибір цього модуля зумовлений підтримкою LoRa-модему, що забезпечує ультра-широкий діапазон передавання даних і значно підвищує завадостійкість. При цьому споживання енергії не збільшується, а навіть зменшується. Чутливість радіомодуля при використанні LoRa становить більше 148 дБм, що забезпечує високу надійність роботи системи РПП.

LoRa також має переваги в умовах блокування та вибіркості прийому звичайної модуляції. Крім того, модуль підтримує ефективний режим (G)FSK, що включає стандарт IEEE802.15.4g. Радіомодуль відрізняється високою якістю фазового шуму, вибіркковістю та лінійністю приймача, а також споживає менше енергії порівняно з аналогічними модулями інших виробників.

До основних параметрів що виділяють радіомодуль SX1278 (у режимі LoRa) можна віднести:

- регульована швидкість передачі даних до 270 кбіт/с;
- високий рівень чутливості, що перевищує 140 дБм;
- вбудований давач температури та індикатор низького рівня заряду;
- високий рівень завадостійкості;
- інтегрований синтезатор з роздільною здатністю 63Гц;
- бітовий синхронізатор.

Схему вмикання радіомодуля SX1278 зображено на рис. 3.7.

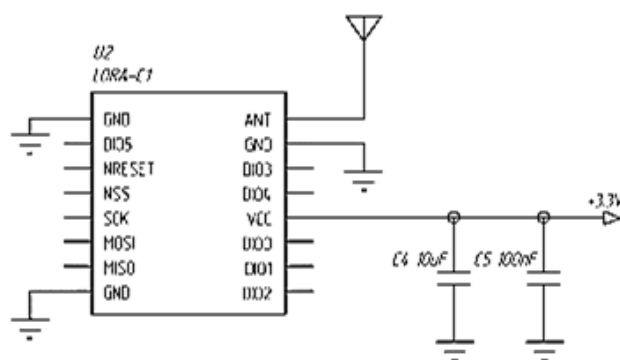


Рисунок 3.7 — Схема вмикання радіомодуля SX1278

Для фіксації наявності людини на пішохідному переході обрано надійний давач руху з високою чутливістю. Для даного проекту вдалим вибором буде інфрачервоний давач руху HC-SR501 (рис. 3.8) [16]. Елемент HC-SR501 є високочутливим, високонадійним давач руху з режимом роботи з наднизькою напругою, що широко використовується в різноманітному автоматизованому електрообладнанні.



Рисунок 3.8 — Інфрачервоний давач руху HC-SR501

Давач працюватиме у режимі повторюваного тригера, якщо є людина у його полі зору. Це передбачає, що вихід буде залишатись на високому рівні допоки людина не покине поле зору давача і допоки не пройде час затримки, який сягає приблизно 0.3 секунди.

Основні характеристики давача руху HC-SR501 наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Основні характеристики давача руху HC-SR501

Діапазон напруги	від 5В до 20В
Споживання електроенергії	65 мА
Час блокування	0.3 с
Робоча температура	від - 12°C до +68°C
Габарити	від 30 м x 25 мм
Час затримки	від 0.35 хв до 5 хв (регульований)
Вихід TTL	3.3В, 0В

Схему підключення давача руху HC-SR501 зображено на рис. 3.8.

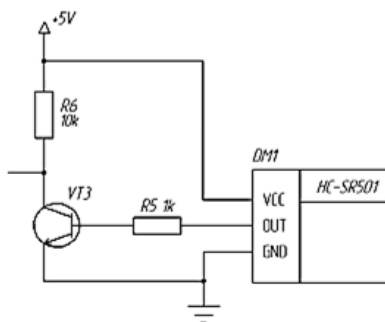


Рисунок 3.8 — Схема підключення давача руху HC-SR501

Для вимірювання значення зовнішньої освітленості вибрано цифровий давач зовнішнього освітлення з інтерфейсом шини I2C — BH1750FVI (рис. 3.9) [17].

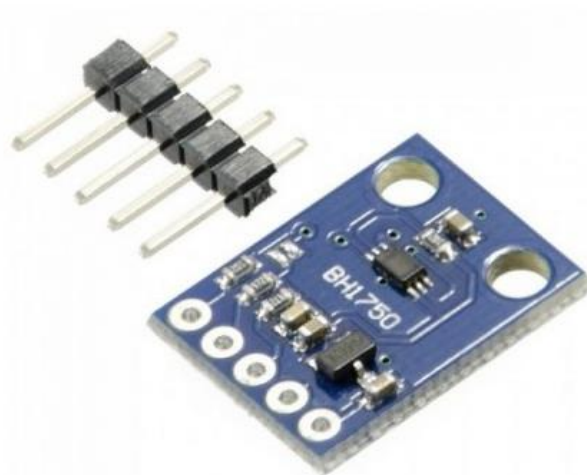


Рисунок 3.9 — Давач освітлення BH1750FVI

Датчик освітленості BH1750FVI на чіпі BH1750 призначений для вимірювання фонового освітлення. Має високу чутливість та поширений послідовний інтерфейс I2C. Спектр чутливості збігається з кривою чутливості людського ока.

Має вбудований сенсор та цифровий перетворювач, а також м'який цифровий вихід, без додаткових складних обчислень, перетворень та калібрування. Мінімальний вплив інфрачервоного випромінювання. Нечутливий до фонових світла. Малий струм, що споживається, і функція сплячого режиму.

Ця мікросхема найкраще підходить для отримання даних про навколишнє освітлення. Основні характеристик елемента BH1750FVI наведені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 — Основні характеристики давача руху BH1750FVI

Діапазон напруги	від 2.4В до 4.5В
Споживання електроенергії	120 мА
Робоча температура	від - 40°C до +85°C
Габарити	від 13.9 м x 18.5 мм
Час затримки	від 0.1 хв до 5 хв (регульований)
Вихід TTL	1.5, 0В

Розроблена функціональна схема головного модуля наведена у додатку Д. Умовні позначення на схемі:

- U1 — мікроконтролер Arduino UNO ATmega328P;
- U2 — радіомодуль SX1278;
- SW1 — кнопка Reset на контролері;
- DM1 — давач руху HC-SR501;
- LED1 — засіб освітлення тротуару та ПП;
- LED2 — засіб світлового попередження водія;
- LED3 — засіб світлового попередження пішоходу у разі потенційної небезпеки.

3.4 Розробка функціональної схеми детектора автомобіля системи «Розумний пішохідний перехід»

Для створення детектора автомобіля було також було вибрано мікроконтролер Atmega328P та радіомодуль SX1278 для передачі даних між знаками. Як давач відстані було вибрано SICK UC30-21516B (рис. 3.10) [18].



Рисунок 3.10 — Давач відстані SICK UC30-21516B

Основні характеристики давача SICK UC30-21516B наведені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 — Основні характеристики давача відстані SICK UC30-21516B

Напруга живлення	від 9 В до 30В
Сила струму при роботі	До 100 мА
Сила струму в режимі тиші	5 мА
Частота	80 КГц
Діапазон відстані	від 13 мм до 8 м
Ефективний кут роботи	15°
Повний кут	30°

Схема підключення давача SICK UC30-21516B наведена на рис. 3.11

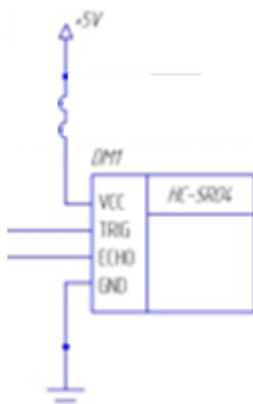


Рисунок 3.11 — Схема підключення давача відстані SICK UC30-21516B

Розроблена функціональна схема детектора автомобіля наведена у додатку Е. Умовні позначення на схемі:

U1 — мікроконтролер ATmega328P;

U2 — радіомодуль SX1278;

DM1— давачі відстані SICK UC30-21516B;

SW1 — кнопка Reset на контролері;

3.4 Розробка алгоритму роботи системи «Розумний пішохідний перехід»

На основі методів та засобів передачі даних, алгоритм роботи системи «Розумний пішохідний перехід», який являє собою цикл, що складається з таких послідовних ітерацій:

- 1) ініціалізація бібліотек, давачів та радіомодуля;
- 2) створення змінних, що будуть містити в собі числові дані;
- 3) визначення пори доби;
- 4) у разі, якщо на вулиці темно, змінна $N=1$ і цикл продовжується. Якщо $N \neq 1$, то перехід в кінець циклу
- 5) включення освітлення на від 10% до 20% від максимальної потужності;
- 6) включення давача руху для фіксації пішохода;
- 7) у разі виявлення пішохода, змінній P присвоюється значення 1 і перехід до пункту 12;
- 8) перевірка чи було натиснуто кнопку на переході;
- 9) включення освітлення на максимальну потужність;
- 10) включення підсвітки знаку;
- 11) перевірка на наявність автомобіля перед попереджувальним знаком;
- 12) якщо автомобіль наявний, змінній S присвоюється значення 1, якщо $S \neq 1$ то повернення до пункту 8;
- 13) замір швидкості автомобіля;
- 14) якщо автомобіль пересувається з недопустимою швидкістю, змінній S присвоюється значення 1, якщо $S \neq 1$ то повернення до пункту 8;

15) якщо $S=1$, дисплей загоряється червоним, попереджуючи про потенційну небезпеку.

3.5 Розробка програмних засобів системи «Розумний пішохідний перехід»

Для забезпечення повноцінної роботи системи РПП потрібно розробити програмне забезпечення, яке виконуватиме основні функції системи. Оскільки для цього було обрано мікроконтролер Atmega328P, програмне забезпечення було реалізовано в середовищі програмування Processing, яке використовує мову Java. Завдяки Processing, розробка додатка стає швидким і зручним процесом, при цьому додаток буде сумісний з популярними операційними системами, такими як Windows, Android тощо [19].

Першим кроком є створення функції для керування давачами руху (лістинг 3.1).

Лістинг 3.1 — Функція, що відповідає за фіксацію пішохода давачем руху

```
PIR_Val = digitalRead (PIR_Pin);
Button_Val = digitalRead (Button_Pin);
Photo_Val = analogRead (Photo_Pin);
if (radio.available (&pipeNum)) {
    if (pipeNum == 1) {
        radio.read (&data1, sizeof (data1));}}
```

Для забезпечення безпечного переходу в системі РПП використовується світлодіод, який в залежності від швидкості автомобіля змінює свій колір на червоний або зелений. Якщо швидкість автомобіля перевищує допустимий ліміт, що створює загрозу для пішохода, значення відповідної комірки встановлюється на "LOW", і світлодіод підсвічується червоним. Якщо ж швидкість знаходиться в межах дозволеного ліміту, значення комірки стає "HIGH", і діод світиться

зеленим, сигналізуючи про безпечний перехід. Функція, що реалізує це регулювання, наведена в лістингу 3.2.

Лістинг 3.2 — Функція попередження пішохода про потенційну небезпеку

```
digitalWrite (Red_Led, LOW);  
digitalWrite (Green_Led, HIGH);
```

Далі слід реалізувати функцію, яка спрацьовує якщо давач руху зафіксував пішохода або була натиснута кнопка (лістинг 3.3).

Лістинг 3.3 — Функція, що ініціює роботу ПП, при наявності пішохода

```
if (Button_Val == HIGH || PIR_Val == HIGH || data1[0] == HIGH)  
{  
    digitalWrite (Blu_Led, LOW);  
    digitalWrite (Red_Led, HIGH);} 
```

Функція миготіння світлодіодного освітлення на знаках "Пішохідний перехід" над переходом та попереджувальний знак реалізована у коді, що наведено в лістингу 3.4.

Лістинг 3.4 — Функція миготіння світлодіодів на знаках

```
for (int i; i < ttt; i++)  
{  
    digitalWrite (Yellow_Led, HIGH);  
    delay(500);  
    digitalWrite (Yellow_Led, LOW);  
    delay(500);} 
```

Для збільшення рівня освітленості до максимального значення використовується наступна функція (лістинг 3.5).

Лістинг 3.5 — Функція збільшення рівня освітленості до максимального

```
for (int I = 0; i < 20; i++)
```

```

{ // 0.5 sek
    W_State = W_State + 2;
    analogWrite (White_Led, W_State);
    delay(25);}

```

Тепер необхідно визначити швидкість руху автомобіля, при його наявності на дорозі. Для цього використаємо код, що регулює роботу датчиків відстані і вираховує швидкість (лістинг 3.6).

Лістинг 3.6 — Функція заміру відстані та обрахування швидкості

```

int duration, distance;
digitalWrite (trigPin, LOW);
delayMicroseconds(2);
digitalWrite (trigPin, HIGH);
delayMicroseconds(10);
digitalWrite (trigPin, LOW);
duration = pulseIn (echoPin, HIGH);
distance = duration / 58;

```

4 РЕКОМЕНДАЦІЇ З ВВЕДЕННЯ В ЕКСПЛУАТАЦІЮ

4.1 Рекомендації з монтажу та налаштування

Перед запуском системи «Розумний пішохідний перехід» у роботу слід виконати комплексну підготовку, яка включатиме перевірку обладнання, підготовку місця для встановлення, налаштування програмного забезпечення та забезпечення безпеки під час монтажних робіт.

4.1.1 Перевірка комплектності

На першому етапі необхідно провести ретельну перевірку комплектності обладнання, що входить до складу системи:

- освітлювальні пристрої для пішохідного переходу;
- мікроконтролери для знаків «Пішохідний перехід» і «Попередження про пішохідний перехід»;
- радіомодулі для знаків «Пішохідний перехід» і «Попередження про пішохідний перехід»;
- блок живлення та кабелі з'єднання;
- давачі руху для знаку «Пішохідний перехід» та давачі відстані для знаку «Попередження про пішохідний перехід» відповідно;
- сонячні панелі;
- кнопка активації.

Слід зазначити, що потрібно перевірити не тільки наявність вищезгаданих компонентів, а також їх цілісність.

Рекомендації: складіть акт перевірки компонентів перед початком монтажу. У разі виявлення несправностей або відсутніх компонентів необхідно звернутися до постачальника для усунення проблем.

Необхідно виконати правильну підготовку ділянки для встановлення системи є критично важливою для її ефективного функціонування. Пріоритетом є встановлення даної системи саме на найбільш небезпечних місцях розташування

нерегульованих пішохідних переходів. Приклад такої ділянки зображено на рис. 4.1.



Рисунок 4.1 — Ілюстративне зображення нерегульованого пішохідного переходу

Підготовку місця встановлення можна розділити на такі етапи:

1) Оцінка місцевості;

- проведіть аналіз ділянки, на якій буде розташовуватися система, з урахуванням норм безпеки, інженерних вимог, а також ПДР;
- визначте місця встановлення давачів та знаків «Пішохідний перехід» і «Попередження про пішохідний перехід»;

2) Підготовка основи для обладнання:

- вирівняйте поверхню та забезпечте бетонування основ для встановлення знаків;
- використовуйте матеріали, що відповідають вимогам міцності та стійкості до зовнішніх умов;

3) Забезпечення доступу до електромережі:

- організуйте підведення живлення до встановленої системи;

— переконайтеся у відповідності напруги та потужності для живлення обладнання.

Рекомендується залучати фахівців для розрахунку навантажень на електромережу та проєктування підключення кабельних трас.

Програмна підготовка включає завантаження та налаштування програмного забезпечення системи контролю "Розумний пішохідний перехід".

Програма підготовка складається з наступних етапів:

1) Перевірка програмного забезпечення:

- завантажте останню версію прошивки для контролерів та датчиків;
- перевірте відповідність версій програмного забезпечення технічним вимогам системи;

2) Налаштування контролерів:

- виконайте початкову конфігурацію режимів роботи знаків;
- протестуйте синхронізацію між знаками системи РПП;

3) Тестування готовності до роботи:

- запустіть тестові сценарії для перевірки функціонування програмної частини;
- перевірте реагування системи на зовнішні сигнали від датчиків руху та кнопок виклику.

Рекомендується зберегати резервні копії налаштувань контролерів та програмного забезпечення для можливого відновлення в разі збою.

4.2 Рекомендації з технічного обслуговування та експлуатації

Після встановлення та налаштування системи "Розумний пішохідний перехід" важливим етапом є забезпечення її належної експлуатації та регулярного технічного обслуговування. Це дозволяє не лише підтримувати працездатність системи на високому рівні, але й продовжити термін служби основних компонентів. У цьому підрозділі наведені рекомендації щодо технічного

обслуговування, контролю якості та регулярних перевірок для забезпечення безперебійної роботи системи.

Першим і найважливішим етапом у процесі обслуговування є проведення регулярних перевірок усіх елементів системи. Це також включає кілька етапів.

Перевірка роботи давачів, що визначають наявність пішоходів на переході. Вони повинні бути перевірені на точність та чутливість. Для цього можна використовувати тестування за допомогою спеціальних умов, наприклад, проходження пішоходів чи транспорту під датчиками в різних умовах (день/ніч, різні погодні умови).

Перевірка функціонування світлофорних пристроїв. Усі модулі системи мають бути перевірені на наявність механічних ушкоджень або перегорілих елементів. Особлива увага приділяється наявності правильних кольорів та чіткості сигнальних індикаторів. Регулярне тестування необхідне для забезпечення безпечного проходу пішоходів і правильного функціонування системи [20].

Перевірка програмного забезпечення: Необхідно регулярно перевіряти програмне забезпечення для виявлення можливих помилок у алгоритмах роботи системи. Це включає в себе перевірку оновлень, моніторинг працездатності серверів, на яких працює програмне забезпечення, та перевірку інтеграції з іншими транспортними системами (наприклад, з іншими світлофорами чи автоматичними системами управління дорожнім рухом).

Другим етапом технічного обслуговування є оновлення програмного забезпечення та компонентів системи. Необхідно регулярно оновлювати програмне забезпечення та при необхідності — апаратні компоненти. На цьому етапі можна виділити кілька ключових аспектів.

Для збереження ефективності системи "Розумний пішохідний перехід", програмне забезпечення повинно регулярно оновлюватися. Це включає виправлення помилок, оновлення баз даних про пішохідний рух та оптимізацію алгоритмів роботи. Оновлення повинні проводитися за допомогою безпечних та перевірених каналів передачі даних для запобігання ризикам зловмисних атак.

У випадку зносу або виходу з ладу сенсорів, камер, світлофорних пристроїв або інших компонентів, необхідно проводити своєчасну заміну на нові або відремонтовані елементи. Оновлення апаратних компонентів також повинно включати вдосконалення системи з огляду на новітні технології, які можуть підвищити ефективність роботи системи.

Ці заходи забезпечать стабільну та безпечну роботу системи "Розумний пішохідний перехід" та дозволять уникнути серйозних поломок або аварійних ситуацій в процесі її експлуатації.

5 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

5.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою даного розділу є проведення технологічного аудиту, в даному випадку апаратно-програмного засобу системи «Розумний пішохідний перехід». Особливістю розробки є удосконаленні що за рахунок введення до системи датчиків руху забезпечується контроль за зміною швидкості автомобіля, що дозволяє оцінити рівень безпеки переходу проїзної частини пішоходом. Застосування запропонованої системи дозволяє знизити рівень дорожньо-транспортних пригод за участю пішоходів. Аналогом може бути In-Roadway Warning Lights (IRWL) — за ціною 38000 грн.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту залучають не менше 3-х незалежних експертів. Оцінювання науково-технічного рівня розробки та її комерційного потенціалу рекомендується здійснювати із застосуванням п'ятибальної системи оцінювання за 12-ма критеріями, у відповідності із табл. 5.1.

Таблиця 5.1 — Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

Бали (за 5-ти бальною шкалою)					
Кри-терій	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку

Продовження табл. 5.1

Ринкові переваги					
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практик на здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування
10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві

Продовження табл. 5.1

11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років	Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років	Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 5.2

Таблиця 5.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії оцінювання	ПІБ експертів		
	Експерт 1	Експерт 2	Експерт 3
	Бали		
Технічна здійсненність концепції	3	4	4
Наявність аналогів на ринку	3	3	3
Цінова політика	4	4	4
Технічні та споживчі властивості виробу	4	3	3
Експлуатаційні витрати	4	4	3
Ринок збуту	4	4	4
Конкурентоспроможність	3	4	3
Фахівці з технічної і комерційної реалізації	4	3	4
Фінансування	4	4	3
Матеріально-технічна база	3	3	3
Термін реалізації ідеї	4	4	4
Супровідна документація	3	3	4
Сума	43	43	42
Середньоарифметична сума балів	$(43+43+42) / 3 = 42,67$		

За даними таблиці 5.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 - Рівні комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 - 10	Низький
11-20	Нижче середнього
21-30	Середній
31-40	Вище середнього
41-48	Високий

Як видно з таблиці, рівень комерційного потенціалу розроблюваного нового програмного продукту є високим, що досягається шляхом модернізації існуючих систем та поліпшенню ефективності попереджувальних знаків, що використовуються для інформування учасників дорожнього руху про потенційну небезпеку.

5.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

Перш за все обрахуємо основну заробітню плату розробників за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t, \quad (5.1)$$

де M — місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

T_p — число робочих днів за місяць, 22 днів;

t — число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 5.4.

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним робітником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

Таблиця 5.4 – Основна заробітна плата розробників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн.
Керівник проекту	42000	1909,09	44	84000,000
Програміст	41000	1863,64	44	82000,000
Всього				166000,00

Розробники, які брати участь в розробці обладнання/програмного продукту повинні отримати додаткову плату. Додаткову заробітну плату прийнято розраховувати як 14,5 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$З_д = З_о \cdot 14,5 \% / 100 \% \quad (5.2)$$

$$З_д = (166000,00 \cdot 14,5 \% / 100 \%) = 24070,00 \text{ (грн.)}$$

Слід вирахувати нарахування на заробітну плату розробників. Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$Н_з = (З_о + З_д) \cdot 22 \% / 100\% \quad (5.3)$$

$$Н_з = (166000,00 + 24070,00) \cdot 22 \% / 100 \% = 41815,40 \text{ (грн.)}$$

Оскільки для розроблювального пристрою не потрібно витрачати матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

Розрахуємо амортизацію обладнання, яке використовувалось для проведення розробки. Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{T_{\text{в}}}. \frac{t_{\text{вик}}}{12} \text{ [грн.]}. \quad (5.4)$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн.;

T – термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років

$t_{\text{вик}}$ – термін використання під час розробки, місяців

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на комп'ютер балансова вартість якого становить 20000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 2,00 міс.

$$A_{\text{обл}} = \frac{20000}{2} \times \frac{2}{12} = 1666,67 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 5.5. Так як вартість ліцензійної ОС та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів менше 20000 грн, то даний нематеріальний актив не амортизується, а його вартість включається у вартість розробки повністю, $B_{\text{нем.ак.}} = 11000$ грн.

Таблиця 5.5 – Амортизаційні відрахування на матеріальні та нематеріальні ресурси для розробників

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн.
Комп'ютер та комп'ютерна периферія	20000	2	2,00	1666,667
Офісне обладнання (меблі)	20000	4	2,00	833,333
Приміщення	2500000	20	2,00	20833,333
Всього				23333,33

Тарифи на електроенергію для непобутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$B_e = B \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (5.5)$$

де B – вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства з ПДВ в 2024 році для Вінницької області за даними Енера-Вінниця, $B = 10,42$ грн./кВт;

P – встановлена потужність обладнання, кВт. $P = 0,28$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, годин.

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності, $K_{\Pi} = 0,9$.

$$B_e = 0,9 \cdot 0,28 \cdot 8 \cdot 44 \cdot 10,42 = 924,29568 \text{ (грн.)}$$

Враховуємо також інші витрати та загальновиробничі витрати. До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_{\varepsilon} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (5.6)$$

де H_{ib} – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_{\varepsilon} = 166000,00 \cdot 75\% / 100\% = 124500 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (З_o + З_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (5.7)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 166000,00 * 145 \% / 100 \% = 240700 \text{ (грн.)}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи також слід врахувати. Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 166000,00 + 24070,00 + 41815,40 + 23333,33 + 11000 + 924,30 + 124500 + 240700 = 632343,03 \text{ грн.}$$

Проведемо розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (5.8)$$

де η – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то $\eta=0,1$; технічного проектування, то $\eta=0,2$; розробки конструкторської документації, то $\eta=0,3$; розробки технологій, то $\eta=0,4$; розробки дослідного зразка, то $\eta=0,5$; розробки промислового зразка, то $\eta=0,7$; впровадження, то $\eta=0,9$. Оберемо $\eta = 0,5$, так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 632343,03 / 0,5 = 1264686 \text{ грн.}$$

5.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

— вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;

— зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

— кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

— визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проєктів передбачається розрахунок таких важливих показників:

- абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);
- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

Також потрібно розрахувати доцільність розробки чи суттєвого вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\rho}{100}\right), \quad (5.9)$$

де $\pm\Delta\Pi_0$ – зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

N – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

Π_o – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки, $\Pi_o = \Pi_b \pm \Delta\Pi_o$;

Π_b – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

ΔN – збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

λ – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт $\lambda = 0,8333$.

p – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

ϑ – ставка податку на прибуток, у 2024 році $\vartheta = 18\%$.

Припустимо, що при прогнозованій ціні 16200 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 500 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 1500 шт., протягом другого року – на 1300 шт., протягом третього року на 1000 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0*500 + (16200 + 500)*1500)*0,8333*0,33*(1 - 0,18) = 5479649,781 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0*500 + (16200 + 500)*(1500+1300))*0,8333*0,33*(1 - 0,18) = 10544379,578 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0*500 + (16200 + 500)*(1500+1300+1000))*0,8333*0,33*(1 - 0,18) = 14310229,428 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 30334258,79 грн.

Для оцінки економічної доцільності розробки слід провести розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків $ПП$, що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_1^T \frac{\Delta\Pi_i}{(1+\tau)^t}, \quad (5.10)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

T – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні, $\tau = 0,05 \dots 0,15$;

t – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо, починаючи з першого року:

$$ПП = (5479649,781/(1+0,1)^1) + (10544379,578/(1+0,1)^2) + (14310229,428/(1+0,1)^3) = 4981499,80 + 8714363,288 + 10751487,17 = 24447350,26 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій PV , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{inv} * 3B, \quad (5.11)$$

де k_{inv} – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію. Це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай $k_{inv}=2...5$, але може бути і більшим;

$ЗВ$ – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 2 * 1264686 = 2529372,12 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект E_{abc} або чистий приведений дохід (NPV , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{abc} = III - PV, \quad (5.12)$$

$$E_{abc} = 24447350,26 - 2529372,12 = 21917978,15 \text{ грн.}$$

Оскільки $E_{abc} > 0$ то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (IRR , *Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_e . Для цього використаємо формулу:

$$E_{\epsilon} = \sqrt[T_{ж}]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (5.13)$$

$T_{ж}$ – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$\sqrt{E_{\epsilon} = 3 \left(1 + 21917978,15/2529372,12 \right) - 1} = 1,130$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (5.14)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2024 році в Україні $d = (0,09...0,14)$;

f –показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина $f = (0,05...0,5)$.

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19.$$

Так як $E_{\epsilon} > \tau_{\min}$, то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_{\epsilon}}, \quad (5.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 1,130 = 0,88 \text{ р.}$$

Оскільки $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 0,88 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 1264686 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,88 роки.

ВИСНОВКИ

У процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи на тему "Апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід»" було проаналізовано актуальність цієї теми, проведено огляд існуючих аналогів і розроблено макет модернізованої системи РПП.

У ході аналізу літературних джерел було визначено, що одним із важливих завдань є створення пішохідних переходів на небезпечних ділянках автомобільних доріг з метою попередження учасників дорожнього руху про потенційну небезпеку та зниження кількості дорожньо-транспортних пригод.

На основі вивчення існуючих рішень для організації пішохідних переходів, було запропоновано модернізацію дорожніх знаків для підвищення їх ефективності через попередження учасників руху про можливу небезпеку.

Також були проаналізовані основні мережеві стандарти, і для реалізації системи РПП обрано технологію LoRaWAN, яка виявилась найбільш підходящою для цього проекту.

Крім того, було розроблено структурну та електричну принципову схеми системи «Розумний пішохідний перехід». Для забезпечення повного функціонування системи здійснено програмну реалізацію на мові програмування Java.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Статистика | Патрульна поліція України. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://patrolpolice.gov.ua/statystyka/>
2. Smart Crosswalk In-Roadway Warning Light (IRWL) System. 2019. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: <https://www.lightguardsystems.com/smart-crosswalk-in-roadway-warning-light-irwl - system/>
3. Розумний пішохідний перехід. [Електронний ресурс]. — Режим доступу: https://unilight.ru/resheniya/umnyy- peshekhodnyy-perekhod/unilight_standard
4. The Starling Crossing. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://umbrellium.co.uk/projects/starling-crossing/>
5. Стандарти бездротового зв'язку [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://jak.koshachek.com/articles/standarti-bezdrotovogo-zv-jazku.html>
6. GSM - Вікіпедія [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/GSM>
7. Переваги та недоліки GSM [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://shop-gsm.ua/ru/blog/GSM/>
8. Bluetooth low energy. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sciencedirect.com/topics/computer- science/bluetooth-low-energy>
9. Що таке LoRaWAN [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://habr.com/ru/company/nag/blog/371067/>
10. Огляд технології Wi-Fi [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ntools.com.ua/uk/information/faq/tehnologija-wi-fi>
11. Що таке мікропроцесор, мікроконтролер та програмований логічний [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://elprivod.nmu.org.ua/ua/interesting/what_is_mp_mc_plc.php
12. Інфрачервона давачі [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://internetri.net/QNTM/infrachervoni-datchyky/index.html>

13. Що таке давач Lidar [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.moyo.ua/ua/news/datchik_lidar_cho_eto_gde_vnedren_i_3_tseli_ispolzo_vaniya.html

14. ATmega328P Datasheet, PDF [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Atmega328p&gad_source=1&gclid=CjwKCAiApY-7BhBjEiwAQMrrEZG6-4E0yWU5M-uLoMkisocMwgOvk6ksJFb8BdlhQMt1rmYWV3qyHxoC3oYQAvD_BwE

15. SX1278 DataSheet PDF [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Sx1278%20datasheet&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgoq7BhBxEiwAVcW0LP4UTzo9vgHkmCkvXzPtnFhUjWo4Y52fQ6_mpumsAsEFRSkxPreMABoCykwQAvD_BwE

16. Ультразвуковий дальномір HC-SR501 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://wiki.amperka.ru/hc-sr04-ultrasonic-sensor-distance-module>

17. BH1750FVI DataSheet [Електронний ресурс]. Режим доступу: https://www.alldatasheet.com/view.jsp?Searchword=Bh1750fvi%20datasheet&gad_source=1&gclid=CjwKCAiAgoq7BhBxEiwAVcW0LLxgaUFtzv0zcOe0hfNcSnCmyXB_yD8NOPTvQDN1TN1jVxw6BbY2AyhoCHJcQAvD_BwE

18. SICK UC30-21516B [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.sick.com/fr/en/catalog/products/distance-sensors/ultrasonic-distance-sensors/uc30/uc30-21516b/p/p580214>

19. Основи програмування на Processing [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://naurok.com.ua/kniga-osnovi-programuvannya-na-movi-processing-157753.html>

20. Основи програмування на Processing [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://ua.kangaroo-ks.com/info/how-to-conduct-electronic-component-testing-90146891.html>

ДОДАТОК А

Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України

Вінницький національний технічний університет

Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ОТ

проф., д.т.н.. Азаров О.Д.

" ____ " _____ 2024 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

На виконання магістерської кваліфікаційної роботи

“Апаратно-програмні засоби системи «Розумний пішохідний перехід»”

08-54.МКР.008.00.000 ПЗ

Керівник роботи к.т.н. доц. каф. ОТ

_____ Тарновський М. Г

Студент групи 1КІ–23м

_____ Кондратюк Р. І.

1 Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

1.1 Актуальність роботи обумовлена необхідністю підвищення безпеки пішоходів на нерегульованих пішохідних переходах, особливо таких, що розташовуються у зонах обмеженої видимості.

1.2 Наказ про затвердження теми МКР.

2 Мета МКР і призначення розробки

2.1 Мета роботи — є вдосконалення системи «Розумний пішохідний перехід» шляхом модернізації наявних рішень.

2.2 Призначення розробки — запобігання можливого наїзду на пішохода на нерегульованому переході в умовах поганої або обмеженої видимості.

3 Вихідні дані для виконання МКР

3.1 Призначення системи — контроль за наближенням автомобіля та його швидкістю;

3.2 Вмикання освітлення переходу при наявності пішоходу;

3.3 Вмикання попереджувальних сигналів для водія при наявності пішоходу;

3.4 Вмикання попереджувальних сигналів для пішоходів при наявності автомобілю;

3.5 Зв'язок між модулями системи — бездротова мережа LoRaWAN;

3.6 Живлення — автономне від сонячної панелі.

4 Вимоги до виконання МКР

4.1 Провести аналіз сучасних методів та засобів реалізації системи «Розумний пішохідний перехід».

4.2 Розробити архітектуру системи та основні її апаратно-програмні модулі.

4.3 Розробити рекомендації з введення в експлуатацію розробленої системи.

4.4 Оцінити комерційний потенціал розробки.

5 Етапи МКР та очікувані результати

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

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	кінець	
1	Обґрунтування актуальності теми. Аналіз сучасних систем забезпечення безпеки на пішохідних переходах.	18.09.2024	15.10.2024	Вступ, Розділ 1
2	Визначення архітектури системи «розумний пішохідний перехід»	16.10.2024	27.10.2024	Розділ 2
3	Розробка структурних та функціональних схем основних модулів системи, їх програмного забезпечення	28.10.2024	17.11.2024	Розділ 3
4	Розробка рекомендацій з використання	18.11.2024	24.11.2024	Розділ 4
5	Підготовка економічної частини	25.11.2024	3.12.2024	Розділ 5
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації	4.12.2024	15.12.2024	ПЗ, графічний матеріал і презентація
7	Підготовка і підпис супроводжуючих документів, нормоконтроль та тест на плагіат	16.12.2024	18.12.2024	Оформленні документи

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту подаються: пояснювальна записка МКР, графічні і ілюстративні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відгук наукового керівника, відгук опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами.

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

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

8 Вимоги до оформлювання та порядок виконання МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

— ГОСТ 2.104–2006 «Єдина система конструкторської документації. Основні написи»;

— методичні вказівки до виконання магістерських кваліфікаційних робіт зі спеціальності 123 — «Комп'ютерна інженерія»;

— документи на які посилаються у вище вказаних.

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ–03.02.02 П.001.01:21

ДОДАТОК Б

Архітектура системи «Розумний пішохідний перехід»S

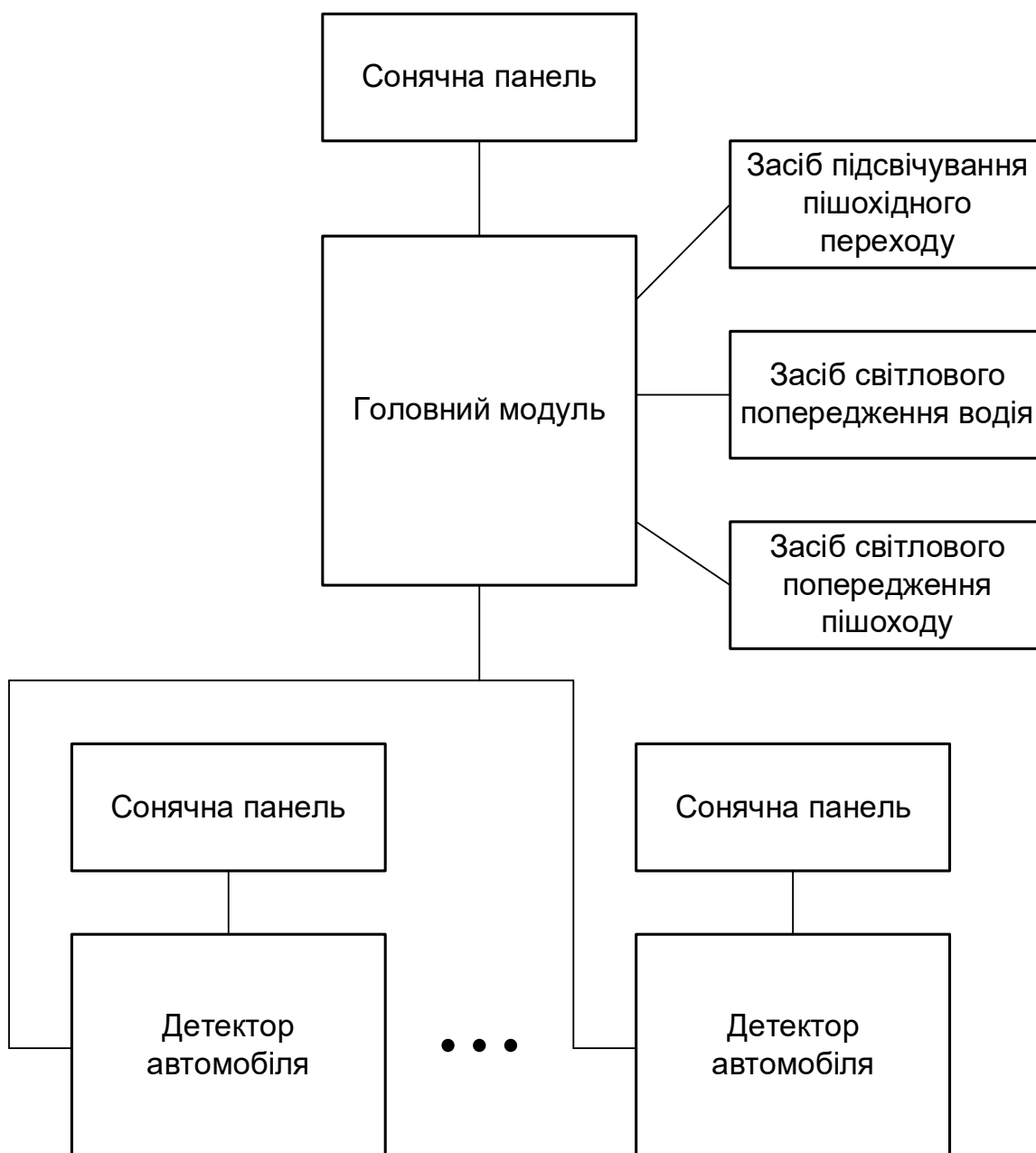


Рисунок Б.1 — Архітектура системи «Розумний пішохідний перехід»

ДОДАТОК В

Структурна схема головного модуля

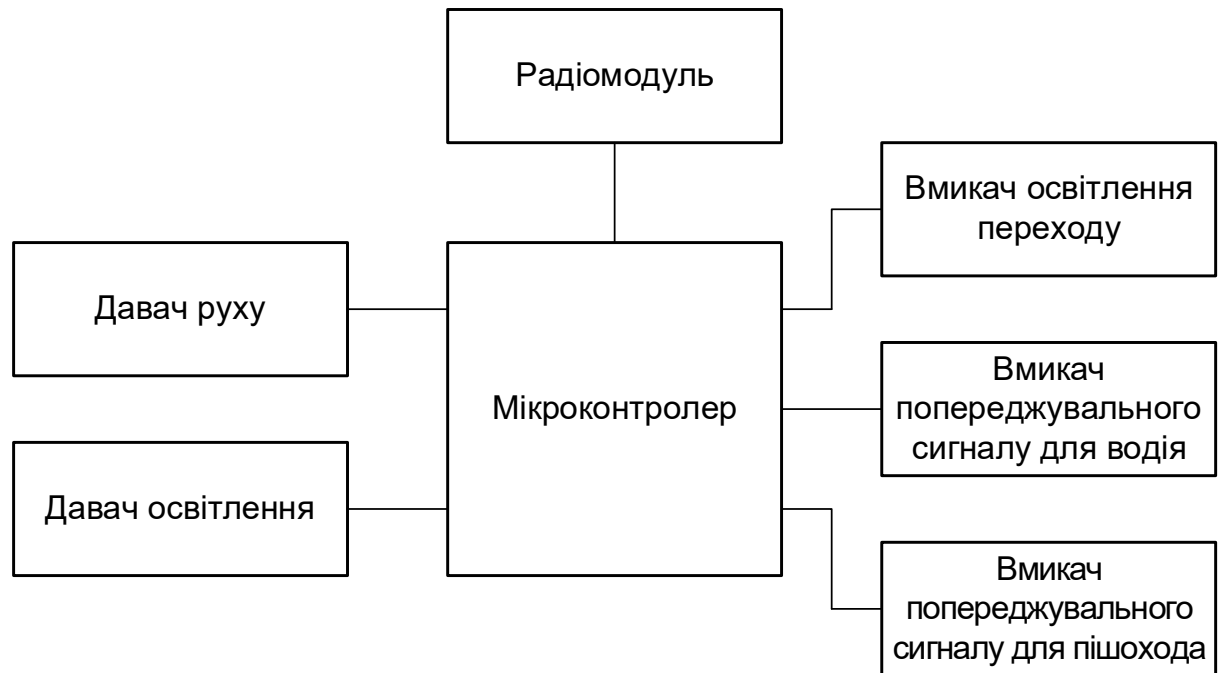


Рисунок В.1 — Структурна головного модуля

ДОДАТОК Г

Структурна схема детектора автомобіля



Рисунок Г.1 — Структурна детектора автомобіля

ДОДАТОК Д

Функціональна схема головного модуля

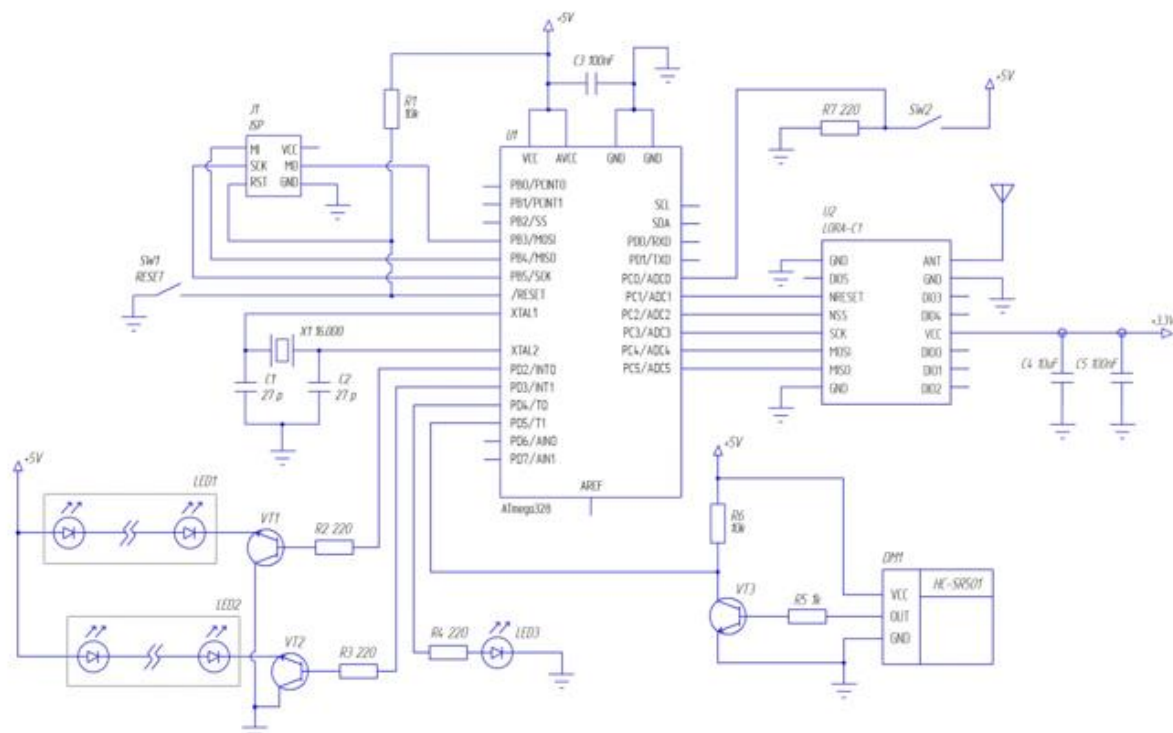


Рисунок Д.1 — Функціональна схема головного модуля

ДОДАТОК Е

Функціональна схема детектора автомобіля

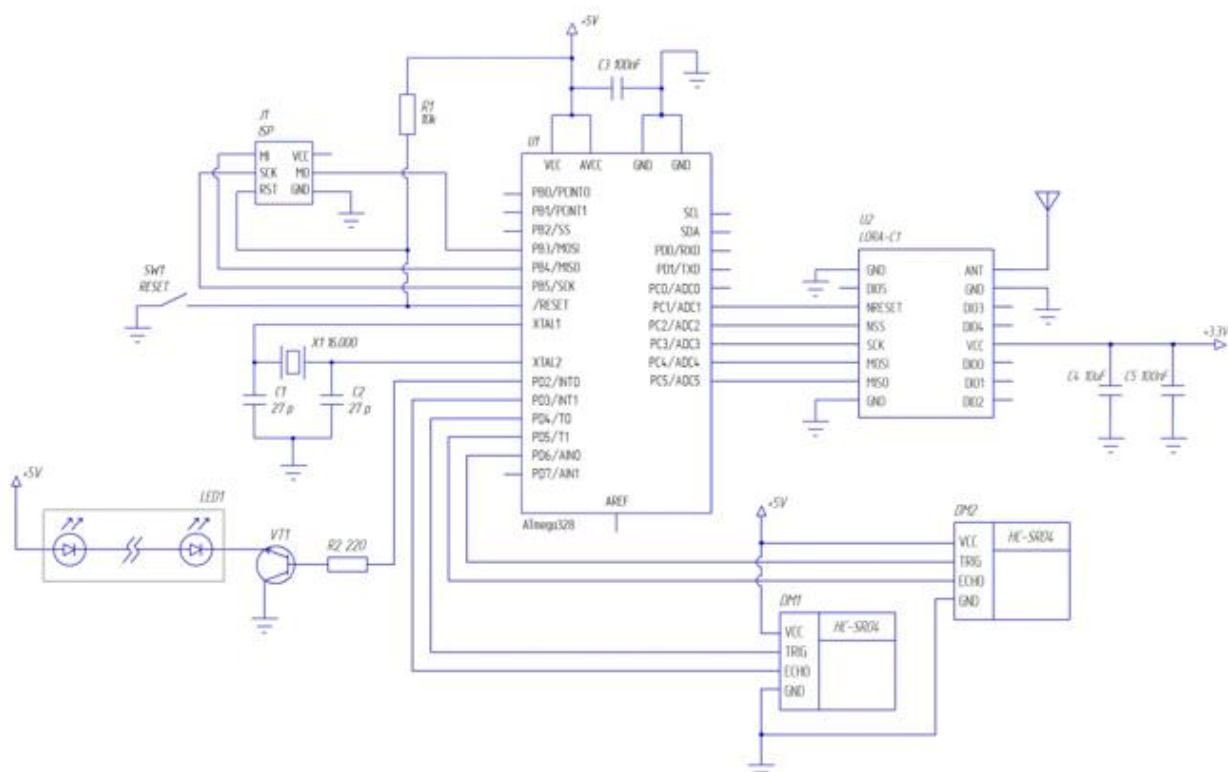


Рисунок Е.1 — Функціональна схема детектора автомобіля

