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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

бакалавр
Освітній рівень

Навчальний стенд «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino
Назва теми

КвРКІ 022045.22.02.43 ПЗ
Шифр

Галузь знань *12 «Інформаційні технології»*
Шифр, назва

Спеціальність *123 «Комп'ютерна інженерія»*
Шифр, назва

Освітня програма *«Комп'ютерна інженерія та програмування»*
Назва

Виконав: студент ІІІ курсу, група КІ2с-22-2 _____ Артем ЧОРНИЙ
Підпис — Ініціали, прізвище

Керівник _____ Юрій СТЕЦЮК
Підпис, дата — Ініціали, прізвище

Нормоконтролер _____ Тетяна КИСІЛЬ
Підпис, дата — Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:
зав. кафедри комп'ютерної інженерії та інформаційних систем _____ Ольга ПАВЛОВА
Підпис — Ініціали, прізвище

«19» червня 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет Інформаційних технологій

Кафедра Комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Освітній рівень бакалавр

Галузь знань 12 Інформаційні технології

Спеціальність 123 Комп'ютерна інженерія

Освітня програма «Комп'ютерна інженерія та програмування»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри Ольга ПАВЛОВА

" 10 " 01 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Артему ЧОРНОМУ

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Навчальний стенд «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino

Керівник проекту (роботи) Стецюк Ю.В., асистент

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

Затверджена наказом ректора університету від 07.02.2025 р. № 23

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.06.2025 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) Завдання на кваліфікаційну роботу

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

Розробка навчального стенда «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino та постановка задачі щодо її удосконалення

Проєктування навчального стенда «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino

Програмно-апаратна реалізація навчального стенда «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino

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

Алгоритми роботи системи

Структурна та функціональна схеми

Схема електрична принципова

6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Нормоконтроль	Тетяна КИСІЛЬ, доцент кафедри КІІС		
Антиплагіат	Андрій НІЧЕПОРУК, доцент кафедри КІІС		

7. Дата видачі завдання «_10_»_____01_____2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№з/п	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Термін виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Вибір напряму дослідження та узгодження тематики кваліфікаційної роботи з керівником	10.01.2025	виконано
2	Ознайомлення з предметною областю; формулювання мети та задач дослідження; визначення об'єкта та предмета дослідження	01.02.2025	виконано
3	Робота над розділом 1 – дослідження предметної області та постановка задачі	01.03.2025	виконано
4	Робота над розділом 2 – вибір компонентів для проєктування навчального стенда «Модель перехрестя доріг»	01.04.2025	виконано
5	Робота над розділом 3 – проєктування навчального стенда «Модель перехрестя доріг»	29.04.2025	виконано
6	Оформлення пояснювальної записки згідно вимог	25.05.2025	виконано
7	Попередній захист ВКР	26.05.2025	виконано
8	Захист ВКР на засіданні ЕК	Червень 2025 року	

Студент _____ Артем ЧОРНИЙ
Підпис Ініціали, прізвище

Керівник роботи _____ Юрій СТЕЦЮК
Підпис Ініціали, прізвище

№ рядка	формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз	Примітка
			Текстові документи			
1		КвРКІ 022045.22.02.43 ПЗ	Пояснювальна записка	55		
			Графічні матеріали			
2		КвРКІ 022045.22.02.43 Е8	Алгоритми роботи системи	1		
3		КвРКІ 022045.22.02.43 Е8	Структурна та функціональна схеми	1		
4		КвРКІ 022045.22.02.43 Е8	Схема електрична принципова	1		

Зм	Арк	№ докум	Підпис	Дата	КвРКІ 190186.19.01.08 ВП		
Розробив		Чорний			Відомість проекту	Літера	Аркуш / Аркушів
Перевір.		Стецюк				У	1 / 1
Н. контр.		Кисіль		7.06.25		ХНУ, КІ2с-22-2	
Затв.		Павлова		7.06.25			

АНОТАЦІЯ

Тема кваліфікаційної роботи: «Навчальний стенд «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino».

Автор роботи: Артем ЧОРНИЙ.

Керівник роботи: Юрій СТЕЦЮК.

Пояснювальна записка: 55 с., 11 рис., 1 табл., 3 дод., 42 джерела.

Графічна частина: 3 креслення.

НАВЧАЛЬНИЙ СТЕНД, ARDUINO, МІКРОКОНТРОЛЕР, СВІТЛОФОР, ПЕРЕХРЕСТЯ, СЕНСОР.

Метою дипломної роботи є проєктування та реалізація навчального стенда для моделювання дорожнього перехрестя з керуванням світлофорними сигналами на базі мікроконтролера Arduino, що дозволяє візуалізувати алгоритми регулювання руху, реагування на динамічну ситуацію та імітацію реальних сценаріїв керування транспортними потоками.

Об'єктом дослідження є процес організації регульованого дорожнього руху за допомогою світлофорних систем.

Предметом дослідження є програмно-апаратна логіка моделювання перехрестя з використанням сенсорів, індикаторів та алгоритмів зміни фаз на базі Arduino.

Під час проведення даного дослідження був використаний метод систематичного огляду літератури для вивчення і аналізу предметної області даного дослідження з текстових джерел інформації.

Підпис студента

30.05.2024

Дата

ЗМІСТ

ВСТУП 3

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДА 5

1.1 Аналіз предметної області 5

1.2 Типи дорожніх перехресть та їх особливості 7

1.3 Огляд апаратних та програмних засобів для моделювання перехресть .. 9

1.4 Постановка задачі 12

1.5 Висновки до першого розділу 14

2 ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА 16

2.1 Функціональні вимоги до навчального стенда 16

2.2. Вибір апаратної частини для реалізації стенду 19

2.3 Структурна схема навчального стенда 22

2.4 Функціональна схема роботи системи 26

2.5 Алгоритмічна логіка моделювання перехрестя 30

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА 35

3.1 Вибір середовища розробки та технологій програмування 35

3.2 Структура програмного забезпечення 38

3.3 Тестування та моделювання сценаріїв роботи 41

3.4 Аналіз стабільності та ефективності роботи стенда 44

3.5 Перспективи вдосконалення розробки 50

3.6 Висновки до третього розділу 53

ВИСНОВКИ 57

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ 59

ДОДАТОК А 63

ДОДАТОК Б 64

ДОДАТОК В 65

ВСТУП

У процесі стрімкого розвитку транспортної інфраструктури дедалі більше уваги приділяється удосконаленню підходів до підготовки майбутніх водіїв. Особливо важливою залишається проблема ефективного засвоєння правил дорожнього руху, які вимагають не лише запам’ятовування теоретичних положень, а й набуття практичних навичок реагування у різних дорожніх ситуаціях. Однією з ключових складових такої підготовки вважається правильне розуміння логіки функціонування світлофорних систем, а також знання принципів визначення пріоритету руху на регульованих і нерегульованих перехрестях. Через це виникає необхідність створення ефективних дидактичних засобів, що забезпечують моделювання реальних сценаріїв на дорогах. Розробка навчального стенда, який імітує роботу перехресть із застосуванням сучасних технологій, відкриває широкі можливості для якісного оновлення процесу навчання у закладах професійної підготовки водіїв.

З-поміж багатьох підходів до створення навчальних систем особливу увагу привертають моделі на основі мікроконтролерів. Використання платформи Arduino, яка є доступною, гнучкою у програмуванні та зручною для підключення різноманітних сенсорів і модулів, дало змогу створити стенд, що відтворює поведінку транспортної системи у масштабованому середовищі.

Потреба в інтерактивному, а не виключно теоретичному підході до вивчення ПДР неодноразово порушується як фахівцями з освіти, так і самими здобувачами. Багато навчальних програм і досі базуються на застарілих схемах подачі матеріалу, де відсутній зв’язок із візуальною моделлю. У підсумку виникають труднощі з формуванням логічного мислення при вирішенні нестандартних ситуацій на перехрестях. Використання навчального стенда, який дозволяє гнучко змінювати конфігурацію руху, демонструвати варіанти роботи світлофорів, адаптувати модель до типу перехрестя та включати в систему індикатори присутності транспортних засобів, уже дало позитивні результати в багатьох освітніх

практиках. Це дозволяє підвищити ефективність сприйняття інформації, зменшити рівень помилок під час прийняття рішень на дорозі та сформувати навички, близькі до реальних умов.

Підґрунтям обраної теми стала актуальність створення навчальних засобів нового покоління, які поєднують простоту у реалізації, наочність у демонстрації та відповідність реальним вимогам до підготовки водіїв. Платформа Arduino дозволила поєднати функціональність із бюджетністю, забезпечивши технічну можливість для реалізації моделі, що включає світлофори, датчики транспорту, індикатори руху, дисплей або інформаційні виводи та програмну логіку контролю.

Метою кваліфікаційної роботи визначено створення повноцінного навчального стенда під назвою «Модель перехрестя доріг» на основі Arduino, який демонструє принципи організації руху на перехрестях – як регульованих, так і нерегульованих – із реалізацією системи керування світлофорами, визначенням пріоритету проїзду та елементами автоматизації процесу.

Об’єктом кваліфікаційної роботи виступає процес моделювання перехресть для демонстрації принципів дорожнього руху в умовах навчального стенда. Предметом – сукупність апаратних і програмних засобів, які використовуються для реалізації автоматизованого керування дорожнім рухом, зокрема Arduino, світлофорні модулі, індикатори, датчики наявності транспорту, драйвери та засоби виводу інформації.

Для реалізації всіх етапів проєкту використано низку методів. Зокрема, аналітичний підхід застосовано для оцінки типів перехресть і способів організації руху. Метод системного проєктування дозволив структурувати логіку побудови стенда, визначити необхідні компоненти та оптимізувати їх взаємодію. Розробка програмної частини виконувалася із застосуванням принципів мікроконтролерного програмування, з урахуванням потреб у стабільності, адаптивності та реакції на зміну зовнішніх умов. Перевірка працездатності стенда здійснена з використанням практичних методів тестування, що дало змогу оцінити коректність логіки, якість реалізації алгоритмів і загальну надійність роботи пристрою.

1 ДОСЛІДЖЕННЯ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Аналіз предметної області

Транспортна сфера постійно розвивається, і разом з нею зростають вимоги до якості підготовки водіїв, які повинні не лише знати теоретичні основи, а й уміти застосовувати їх у реальних дорожніх ситуаціях. Процес навчання охоплює низку важливих складових: вивчення правил дорожнього руху, ознайомлення з алгоритмами роботи світлофорних систем, формування навичок безпечного поводження на дорозі та засвоєння принципів керування транспортним засобом [1]. Традиційна система підготовки водіїв, що значною мірою базується на друкованих матеріалах, відеоконтенті та лекційних курсах, не завжди відповідає сучасним вимогам до інтерактивності та практичної спрямованості навчання. Через обмежені можливості таких засобів у моделюванні змінних дорожніх умов постає потреба в нових, більш динамічних і адаптивних методиках підготовки, що дозволяють повноцінно зануритися в дорожнє середовище ще до початку реального водіння [2].

Традиційні підходи передбачають, що теоретичний матеріал вивчається за допомогою текстових джерел і мультимедійних курсів, які містять візуальні приклади, демонстраційні відео та комп’ютерні тести. Практичний компонент зазвичай реалізується під час водіння під керівництвом інструктора, як на спеціальних майданчиках, так і на вулицях міста. Проте між цими двома етапами навчання залишається відчутний розрив. Часто майбутній водій переходить від пасивного ознайомлення з матеріалом одразу до стресових ситуацій у реальному трафіку, що не завжди дозволяє якісно закріпити знання. Статичні матеріали не здатні змоделювати складні дорожні сценарії, які потребують гнучкого прийняття рішень. У підсумку формується поверхневе розуміння ситуацій, а також знижується здатність оперативно реагувати на нестандартні події, що напряму впливає на безпеку руху [3].

На тлі цих викликів усе більшої популярності набувають технології, що забезпечують моделювання реального дорожнього середовища у цифровому або фізичному форматі. Одним із напрямів такого підходу є електронні симулятори – цифрові програми, які дозволяють створити віртуальну модель дороги, автівки, світлофорів, пішоходів та інших елементів транспортної системи. Вони забезпечують високу варіативність ситуацій і здатні адаптуватися під рівень підготовки користувача [4]. Проте, незважаючи на свої переваги, такі системи залишаються дорогими, вимагають потужного апаратного забезпечення та спеціалізованого програмного обслуговування. Крім того, обмеження у програмному коді часто не дозволяють вільно змінювати алгоритми реагування або адаптувати моделі до змін у законодавстві [5].

Альтернативою виступають інтерактивні фізичні тренажери – стенди, які у спрощеній, але наочній формі відтворюють елементи дорожньої інфраструктури. Особливе місце серед них посідають навчальні стенди на базі мікроконтролерів, які дозволяють моделювати не лише зовнішній вигляд дорожніх ситуацій, а й повну логіку їх функціонування [6]. Ідея полягає в тому, щоб створити фізичну модель перехрестя зі світлофорами, транспортними засобами, індикаторами присутності та елементами управління, де кожна зміна викликає відповідну реакцію системи. У результаті студент отримує можливість досліджувати поведінку світлофорної системи, оцінювати вплив черговості проїзду, реагувати на зміну пріоритетів і формувати чітке розуміння алгоритмів дорожнього руху [7].

Особливо перспективною для створення таких стендів є платформа Arduino, яка вже довела свою ефективність у десятках подібних проєктів. Її основною перевагою вважається простота підключення додаткових модулів: датчиків руху, кнопок, світлодіодів, дисплеїв та інших елементів. Крім того, завдяки відкритому програмному забезпеченню легко вносити зміни до логіки роботи стенда, розширювати функціонал та адаптувати пристрій до різних навчальних сценаріїв. Arduino дає змогу створити систему, яка реагує на появу транспортного засобу, змінює сигнали світлофора в реальному часі, моделює аварійні ситуації або

демонструє порушення правил. Це дозволяє покрити широкий спектр тем, необхідних для підготовки водіїв.

Завдяки інтерактивному компоненту навчальний процес переходить на якісно новий рівень. Студенти не просто переглядають ілюстрації чи слухають пояснення, а мають змогу взаємодіяти зі стендом, самостійно вносити зміни, спостерігати за результатами своїх дій і аналізувати поведінку системи. Така форма навчання формує активну позицію здобувача знань, сприяє кращому запам’ятовуванню матеріалу, а також розвиває аналітичне мислення, що надзвичайно важливо в умовах інтенсивного дорожнього руху [8].

Аналіз сучасних засобів навчання у сфері підготовки водіїв демонструє, що без інтерактивних технологій досягти належного рівня засвоєння матеріалу вже неможливо. Застосування навчального стенда, побудованого на Arduino, відкриває широкі можливості для вдосконалення методик викладання, а також дозволяє адаптувати навчальний процес до індивідуальних потреб слухачів. У результаті зростає не лише якість освіти, а й рівень безпеки дорожнього руху загалом, адже краще підготовлений водій здатен приймати виважені рішення в умовах підвищеної відповідальності [9]. Подальші етапи кваліфікаційної роботи зосереджено на детальному опрацюванні функціональних вимог до створення навчального стенда, виборі відповідного апаратного забезпечення, проєктуванні його архітектури та реалізації програмного компонента з урахуванням типових дорожніх сценаріїв.

1.2 Типи дорожніх перехресть та їх особливості

Дорожні перехрестя є однією з ключових складових транспортної інфраструктури, оскільки саме в цих місцях виникає найбільша кількість конфліктних ситуацій між транспортними засобами та пішоходами. Перехрестя класифікуються за різними параметрами, зокрема за способом регулювання,

кількістю пересічних доріг, геометричною формою та наявністю додаткових засобів організації руху [10].

За способом регулювання виділяють регульовані та нерегульовані перехрестя [11]. Регульовані перехрестя оснащені світлофорними системами, дорожніми знаками та іноді додатковими інтелектуальними системами контролю руху. Нерегульовані перехрестя, навпаки, покладаються на правила пріоритету, які визначають порядок проїзду транспортних засобів на основі знаків пріоритету або загальноприйнятих норм [12].

Залежно від кількості пересічних доріг, перехрестя можуть бути Т-подібними (рис.1.2) , Х-подібними (рис.1.3), багатосмуговими або кільцевими (рис.1.1). Кожен тип має свої особливості організації руху та вимагає різних підходів до керування транспортними потоками. Наприклад, кругові перехрестя часто використовуються для підвищення пропускної здатності та безпеки, оскільки вони змушують водіїв зменшувати швидкість перед в'їздом у перехрестя [13].

Особливе значення мають перехрестя з пріоритетним рухом, де основна дорога має перевагу перед другорядними. Такі перехрестя зазвичай використовуються в районах із високою інтенсивністю руху, щоб уникнути заторів та підвищити безпеку на дорозі [14].

Для наочного представлення класифікації дорожніх перехресть в роботу включені відповідні ілюстрації, що демонструють основні типи перехресть, їх організацію та принципи функціонування [15].

Рисунок 1.1 – Перехрестя з круговим рухом

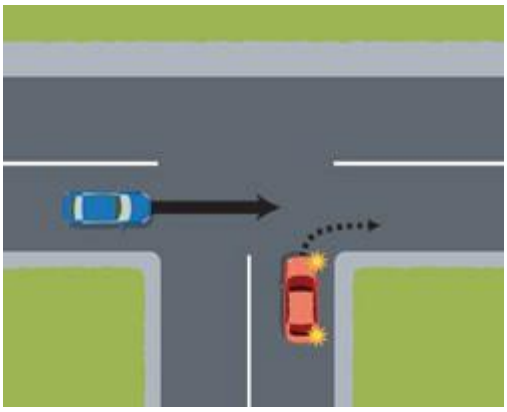


Рисунок 1.2 – Т-подібне перехрестя

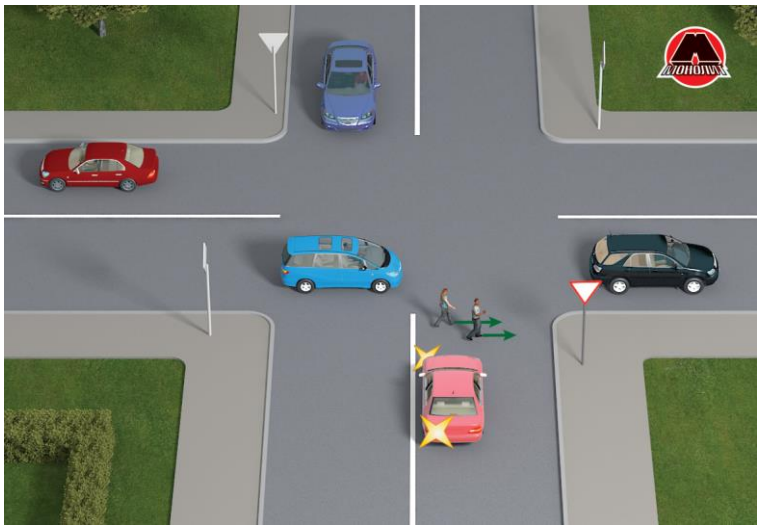


Рисунок 1.3 – Х-подібне перехрестя

1.3 Огляд апаратних та програмних засобів для моделювання перехресть

Моделювання дорожніх перехресть у навчальних цілях можливе завдяки використанню різних апаратних та програмних засобів [16]. Сучасні технології дозволяють створювати інтерактивні моделі, які імітують реальні умови дорожнього руху та дозволяють користувачам на практиці засвоювати правила дорожнього руху та принципи роботи світлофорних систем. Впровадження таких рішень підвищує ефективність навчання завдяки інтерактивності та можливості адаптації під конкретні умови дорожнього руху [17].

До основних апаратних засобів для моделювання перехресть належать мікроконтролери, сенсори, світлодіоди та дисплеї. Найпопулярнішою платформою для таких проєктів є Arduino завдяки своїй доступності, простоті використання та гнучкості. Arduino дозволяє підключати різні датчики для виявлення транспортних засобів, керувати світлофорами та виводити інформацію на дисплей. Його використання також сприяє гнучкому налаштуванню моделі та можливості оновлення її функціоналу відповідно до змін у навчальних програмах [18].

Мікроконтролери Arduino є центральним елементом будь-якого навчального стенда. Вони дозволяють реалізовувати логіку роботи світлофорів, змінювати таймінги залежно від ситуації на дорозі та інтегрувати різні режими роботи перехрестя. Наприклад, у регульованому режимі перехрестя керується стандартними алгоритмами перемикання світлофорів, а в нерегульованому режимі пріоритети визначаються на основі введених правил дорожнього руху. Гнучкість мікроконтролерів дає змогу реалізувати різні сценарії руху, включаючи аварійні ситуації та зміни в реальних умовах міського трафіку [19].

Датчики відіграють важливу роль у створенні адаптивних моделей перехресть. Ультразвукові сенсори використовуються для визначення відстані до транспортного засобу, що дозволяє виявляти наявність автомобілів у зоні перехрестя. Інфрачервоні датчики можуть застосовуватися для імітації руху пішоходів або автомобілів, що особливо важливо для відтворення сценаріїв роботи світлофорів у різних умовах. Використання кнопкових перемикачів для імітації ручного керування дозволяє додати інтерактивність у навчальний процес, забезпечуючи імітацію реальної взаємодії водія з системою регулювання руху [20].

Світлодіоди або готові світлофорні модулі забезпечують візуалізацію роботи світлофорів. Вони дозволяють наочно демонструвати черговість сигналів для водіїв та пішоходів. Для більш реалістичного моделювання можуть використовуватися світлофорні модулі з вбудованими лінзами, які імітують вигляд реальних світлофорів. Дисплеї, такі як LCD або OLED, можуть використовуватись для виводу додаткової інформації, наприклад, часу до перемикання світлофора або

інструкцій для користувачів [21]. Це дозволяє створити інформативний інтерфейс для користувачів стенда, що підвищує рівень взаємодії з системою. Крім того, дисплеї можуть використовуватися для демонстрації аварійних повідомлень або змін у режимі роботи перехрестя [22].

Програмне забезпечення для моделювання перехресть може бути розроблене на основі мов програмування для мікроконтролерів, таких як C/C++ для Arduino [23]. Ці мови дозволяють створювати ефективні алгоритми для керування світлофорними системами, обробки даних від датчиків та виводу інформації на дисплей [24]. Крім того, для складніших симуляцій можуть використовуватися програмні середовища, такі як MATLAB або спеціалізовані симулятори транспортних систем [25]. У цих середовищах можна моделювати складні транспортні потоки та аналізувати їх поведінку в різних умовах. Застосування таких програмних комплексів дає змогу інтегрувати навчальні стенди у великі системи моделювання міського руху [26].

Ще одним важливим аспектом є використання мережевих технологій для моделювання взаємодії між різними перехрестями в рамках єдиної транспортної системи [27]. Це дозволяє дослідити координацію світлофорних сигналів на різних перехрестях, що особливо актуально для великих міст із високою щільністю руху. Використання бездротових модулів, таких як Wi-Fi або Bluetooth, може забезпечити обмін даними між кількома мікроконтролерами, що імітують різні частини транспортної мереж [28]і. Такі технології можуть бути застосовані для створення адаптивних світлофорних систем, які змінюють роботу залежно від реального потоку транспорту та пішоходів [29].

Реалістичність моделювання підвищується завдяки використанню 3D-візуалізації та віртуальної реальності [30]. Деякі навчальні стенди можуть бути інтегровані з VR-технологіями, що дозволяють студентам безпосередньо взаємодіяти з моделями перехресть у цифровому середовищі [31]. Це значно покращує сприйняття інформації та робить навчальний процес більш захопливим [32]. Додавання системи збору статистичних даних про реакції водіїв у

симульованих умовах може допомогти аналізувати ефективність різних схем організації дорожнього руху та вдосконалювати існуючі навчальні методики [33].

Використання апаратних і програмних засобів для моделювання перехресть дозволяє створити ефективні навчальні стенди, що підвищують якість підготовки водіїв та сприяють кращому розумінню принципів організації дорожнього руху [34]. Використання сучасних мікроконтролерів, датчиків, дисплеїв та алгоритмів керування дозволяє реалізувати складні сценарії руху, що значно наближає навчальний процес до реальних умов [35]. Удосконалення програмного забезпечення, розширення функціональності моделей та інтеграція з новітніми технологіями дадуть змогу ще більше покращити ефективність навчання майбутніх водіїв [36].

1.4 Постановка задачі

Проведене дослідження існуючих підходів до навчання водіїв, а також аналіз технічних рішень для моделювання дорожніх перехресть, засвідчує потребу в розробці сучасного, гнучкого і функціонального навчального стенда, який здатен імітувати різні ситуації дорожнього руху [37], [38] Такий стенд має не лише забезпечувати базове моделювання стандартних перехресть, а й враховувати динамічні аспекти - зміну режимів роботи світлофорів, реакцію на присутність транспортних засобів, симуляцію несправностей та аварійних ситуацій. З огляду на це, постає потреба у постановці чітких задач, реалізація яких дозволить досягти цілей дипломного проєкту [39-42].

Насамперед, необхідно розробити концептуальну архітектуру стенда, яка б охоплювала як апаратну, так і програмну частини. Це включає вибір і обґрунтування основних компонентів: мікроконтролера, сенсорів, модулів індикації, дисплея, світлофорів і елементів живлення. Важливо забезпечити взаємодію між усіма модулями через логічно побудовану систему зв’язків та управління. Arduino обрано як основу проєкту завдяки її доступності, простоті у

програмуванні та сумісності з широким спектром сенсорів і виконавчих пристроїв. Задачею стає розробити ефективну систему зв'язків, де Arduino отримуватиме сигнали з датчиків, аналізуватиме вхідні дані та формуватиме керуючі команди для зміни стану світлофорів та індикаторів.

Окремим завданням є розробка алгоритмів роботи світлофорної системи. У проекті має бути передбачено автоматичний режим, який симулює звичайний рух з відповідною зміною сигналів світлофора, та ручний режим, в якому користувач самостійно змінює сигнали - наприклад, у ситуаціях несправності або для відтворення специфічних сценаріїв. Алгоритми повинні враховувати як традиційні циклічні схеми перемикання світлофорів, так і адаптивні моделі, що реагують на вхідні дані від сенсорів про наявність транспортних засобів. Потрібно забезпечити правильне визначення пріоритету руху, особливо для нерегульованих перехресть.

Наступним етапом є реалізація механізмів візуалізації інформації. Задачею є не просто підключити дисплей, а реалізувати на ньому відображення інформативного інтерфейсу: залишковий час до зміни сигналу, статус режиму роботи, повідомлення про можливі відхилення або несправності. Це покращить сприйняття роботи системи та дозволить користувачам краще розуміти її поведінку. Також необхідно реалізувати елементи керування - кнопки для ручного перемикання режимів або ініціації пішохідного переходу.

Проєкт має враховувати можливість розширення функціоналу у майбутньому. Це передбачає побудову стенда за модульною схемою, з можливістю підключення додаткових сенсорів, впровадження бездротової комунікації, а також з'єднання з комп'ютером або мобільними пристроями для зчитування даних і керування. Задачею є передбачити таку архітектуру з самого початку, щоб у разі потреби не виникала необхідність у повному переробленні системи.

Додатково, слід розробити структурну, функціональну та принципову електричну схеми стенда. Це дозволить систематизувати інформацію про взаємозв'язки між компонентами, спростити процес збирання, а також полегшити діагностику у разі несправностей. Також важливим завданням є написання

програмного коду, який повинен бути надійним, логічно структурованим і адаптивним до змін.

Завершальним завданням стає перевірка працездатності стенда у різних сценаріях, що включатиме тестування в обох режимах роботи, імітацію аварій, моделювання ситуацій із нерегульованими перехрестями, перевірку чутливості сенсорів, надійності алгоритмів та стабільності функціонування системи загалом. У результаті виконання поставлених задач має бути реалізований повноцінний навчальний стенд, що не лише виконує базові функції, але й є гнучким інструментом для експериментів, навчання та подальших розробок.

1.5 Висновки до першого розділу

У результаті проведеного огляду теоретичних засад, закладених у першому розділі, вдалося сформувати цілісне уявлення про ключові особливості, притаманні організації дорожнього руху в межах перехресть, а також про актуальні підходи до моделювання таких процесів у навчальному середовищі. Було визначено, що дорожні перехрестя залишаються однією з найскладніших і найбільш критичних зон міської транспортної інфраструктури, де рівень ризику конфліктних ситуацій між транспортними засобами та пішоходами є найбільш високим. Саме тому моделювання їхньої роботи потребує всебічного підходу, що враховує не лише базові правила дорожнього руху, а й специфіку інженерного проєктування систем керування.

У межах аналізу було розглянуто основні типи перехресть, їхні геометричні форми, логіку організації руху на кожному з варіантів та особливості їхньої поведінки у різних сценаріях. Зокрема, встановлено, що Т-подібні та Х-подібні перехрестя, кільцеві розв’язки та багатосмугові вузли вимагають різних алгоритмів керування та мають специфічні особливості взаємодії між транспортними потоками. Це дало змогу чітко визначити, яку саме архітектуру доцільно

застосовувати в навчальному стенді, щоби охопити максимальну кількість можливих дорожніх сценаріїв.

Окремо проаналізовано способи регулювання дорожнього руху, серед яких виділено регульовані та нерегульовані перехрестя. Було з’ясовано, що ефективність функціонування регульованих перехресть значною мірою залежить від чіткості роботи світлофорних систем, коректної синхронізації фаз та наявності інтелектуальних алгоритмів адаптації до змін трафіку. Це надало обґрунтування необхідності впровадження в систему моделювання логіки адаптивного керування, яка базується на даних із сенсорів і змінює режими роботи відповідно до поточної ситуації.

Світлофорні системи, як один із центральних елементів дослідження, розглядалися не лише з позиції формального відображення чергування сигналів, але й з точки зору їхньої інтеграції в розумні транспортні середовища. Було з’ясовано, що сучасні системи все частіше орієнтуються на аналіз ситуацій у реальному часі, використовуючи сенсори, камери, алгоритми прогнозування та підключення до мережевого середовища. У контексті побудови навчального стенда це стало підставою для вибору апаратних компонентів, які здатні працювати в умовах реального часу та підтримувати можливість масштабування.

На основі проведеного аналізу сформовано теоретичну базу, яка стане підґрунтям для реалізації апаратної та програмної частин проєкту. Усі зібрані дані будуть використані при побудові структурної та функціональної схем, створенні алгоритмічної логіки, виборі компонентів і формуванні принципів взаємодії між модулями. Крім того, отримані висновки дозволили чітко окреслити напрям подальшої роботи — розробку та реалізацію стенда, здатного максимально наближено імітувати умови функціонування справжнього регульованого перехрестя.

У підсумку, перший розділ надав необхідне теоретичне підґрунтя для реалізації повнофункціонального, адаптивного й ефективного навчального пристрою, який стане не лише прикладом технічної реалізації логіки світлофорного

керування, але й інструментом формування навичок та уявлень про принципи роботи сучасних систем організації дорожнього руху.

2 ПРОЄКТУВАННЯ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА

2.1 Функціональні вимоги до навчального стенда

Функціональні вимоги до навчального стенда визначають основні можливості та характеристики системи, які забезпечують її ефективність у навчальному процесі. Метою стенда є створення інтерактивного середовища для моделювання різних типів дорожніх перехресть, що дає змогу студентам та слухачам автошкіл отримати практичний досвід у вивченні правил дорожнього руху, аналізі алгоритмів роботи світлофорів та оцінці пріоритету руху транспортних засобів.

Стенд повинен підтримує моделювання різних типів перехресть, серед яких:

- регульовані перехрестя – з керуванням світлофорами, які працюють відповідно до заданого алгоритму перемикання сигналів;
- нерегульовані перехрестя – імітація ситуацій, коли пріоритет проїзду визначається відповідно до правил дорожнього руху без застосування світлофорів;
- Т-подібні перехрестя – спеціалізовані моделі, що відтворюють умови обмеженої кількості напрямків руху;
- кругові розв’язки – імітація руху на кругових перехрестях з дотриманням відповідних правил.

Ця багатофункціональність дозволяє студентам отримати розширене розуміння організації дорожнього руху в різних умовах та навчитися аналізувати пріоритет проїзду для транспортних засобів і пішоходів.

Система підтримувати два режими роботи:

1) Автоматичний режим – моделювання стандартної роботи світлофорів за заданими алгоритмами. У цьому режимі система працює автономно, змінюючи сигнали відповідно до заданих часових параметрів.

2) Ручний режим – можливість керування світлофорами та іншими параметрами стенда користувачем. Це дозволяє моделювати специфічні дорожні

ситуації, аналізувати вплив зміни режимів роботи світлофорів на трафік та оцінювати альтернативні сценарії організації руху.

Для підвищення реалістичності моделювання інтегровано сенсорні технології для виявлення транспортних засобів. Використання датчиків забезпечує адаптивну зміну режимів роботи світлофорів залежно від присутності транспортних засобів:

- інфрачервоні або ультразвукові сенсори – для виявлення наявності транспортних засобів на під'їздах до перехрестя;
- кнопкові перемикачі – для імітації натискання пішоходами запиту на перехід через дорогу.

Завдяки використанню датчиків стенд відтворює адаптивні транспортні системи, де світлофори реагують на зміну дорожньої ситуації в режимі реального часу.

Для ефективного представлення роботи стенда впроваджено засоби візуалізації:

- світлофорні модулі – імітація реальних світлофорів для водіїв і пішоходів;
- індикатори та дисплеї – відображення таймерів зворотного відліку, аварійних повідомлень, додаткової інформації про стан системи;
- світлодіоди для демонстрації пріоритету руху – додаткові сигнали для відображення пріоритетів проїзду транспортних засобів.

Інтерактивність і безпека.

Стенд зручний у використанні та має інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, що забезпечує легкість у навчанні та використанні для студентів. Також передбачено безпечне використання пристрою в навчальних закладах, уникаючи ризиків ураження електричним струмом або механічних пошкоджень компонентів.

Модульність і розширюваність

Оскільки стенд може використовуватися в різних навчальних програмах, важливо було забезпечити можливість його модернізації та розширення функціональності. Зокрема:

– легка заміна компонентів – можливість заміни сенсорів, дисплеїв, світлофорних модулів без складного технічного обслуговування;

– розширюваність програмного забезпечення – можливість додавання нових режимів роботи, підтримка оновлення алгоритмів керування трафіком;

– можливість підключення до комп’ютера – передача даних для аналізу трафіку, дослідження алгоритмів світлофорного керування та симуляції великих транспортних потоків.

Аварійні сценарії та тестування нестандартних ситуацій

Для підвищення ефективності навчання система має можливість моделювання різних аварійних ситуацій:

– відключення електропостачання світлофорів і перехід до нерегульованого перехрестя;

– імітація несправності світлофорних модулів та переведення системи в режим ручного керування;

– аналіз впливу затримки роботи світлофорів на загальний стан дорожнього руху;

– дослідження змін у трафіку при застосуванні адаптивних алгоритмів керування світлофорами.

Функціональні вимоги до навчального стенда визначають його ключові можливості для ефективного моделювання роботи дорожніх перехресть. Використання сучасних сенсорів, інтеграція засобів візуалізації, підтримка адаптивного керування світлофорами та можливість тестування різних сценаріїв організації дорожнього руху роблять стенд універсальним інструментом для підготовки водіїв. Гнучкість архітектури, можливість оновлення та розширення функціоналу забезпечать довготривале використання стенда у навчальних закладах та дослідницьких проєктах.

2.2. Вибір апаратної частини для реалізації стенду

Вибір апаратної частини є критично важливим етапом при проєктуванні навчального стенда, оскільки саме від коректного підбору компонентів залежить надійність, функціональність та зручність використання системи. Основою всієї конструкції є мікроконтролер, який виконує функцію керування всіма іншими елементами системи. Для створення навчального стенда ідеально підходить мікроконтролер Arduino Uno через його простоту використання, доступність, широку підтримку в спільноті розробників і достатню кількість цифрових і аналогових входів та виходів. Якщо проект потребує підключення більшої кількості компонентів, наприклад додаткових сенсорів або дисплеїв, доцільно використати Arduino Mega, яка має більше портів і розширені можливості пам’яті.

Для моделювання присутності транспортних засобів на перехресті використовуються сенсори. Інфрачервоні сенсори дозволяють виявляти транспортні засоби за допомогою переривання інфрачервоного променя, що є ефективним способом для моделювання простих сценаріїв. Ультразвукові сенсори забезпечують більш точне визначення відстані до об'єкта і підходять для складніших навчальних завдань, де важливо моделювати поведінку транспортних потоків на різних відстанях від перехрестя. Для спрощення моделювання можна також використовувати звичайні кнопкові перемикачі, які імітують присутність автомобілів або натискання пішоходами кнопок для переходу.

Для візуалізації роботи світлофорної системи застосовуються світлодіоди. Окремі світлодіоди червоного, жовтого і зеленого кольорів або триколірні світлодіодні модулі (RGB) дозволяють створювати компактні, але наочні моделі світлофорів. Для забезпечення реалістичного вигляду стенда можуть використовуватися готові світлофорні модулі, які мають вбудовану оптику та відповідні пропорції, що максимально наближені до реальних дорожніх світлофорів.

Для відображення додаткової інформації про роботу системи, такої як час до перемикання сигналу, активний режим роботи або попередження, використовуються дисплеї. LCD дисплеї з інтерфейсом I2C є зручними для виводу текстової інформації, наприклад, назв режимів або таймерів зворотного відліку. Для більш складних інтерфейсів доцільно використовувати OLED дисплеї, які забезпечують високу роздільну здатність і дозволяють відображати графічні елементи, такі як піктограми світлофорів, напрямки руху тощо.

Керування системою забезпечується за допомогою інтерфейсних елементів. Кнопки дозволяють перемикати режими роботи системи, такі як автоматичний та ручний режими, або активувати специфічні сценарії, наприклад, аварійний режим. Перемикачі використовуються для вибору конкретного типу перехрестя, що моделюється на стенді, або для імітації зовнішніх факторів, таких як зміна погодних умов чи інтенсивності руху. Для тонкого налаштування часу роботи світлофорів у ручному режимі можуть використовуватись потенціометри або енкодери.

Живлення всієї системи здійснюється через адаптер постійного струму з напругою від 9 до 12 Вольт, що забезпечує стабільну роботу мікроконтролера та всіх підключених модулів. У разі потреби забезпечення автономної роботи або для запобігання втрати даних під час відключення живлення можуть використовуватись джерела резервного живлення, такі як акумулятори або батареї.

Для розширення функціональності навчального стенда можна інтегрувати модулі бездротового зв’язку, такі як Wi-Fi або Bluetooth. Це дозволяє підключати стенд до комп’ютера або мобільного пристрою для моніторингу та керування в реальному часі, а також для збору даних про роботу системи. Використання SD-картридерів дозволяє зберігати історію роботи системи, що є корисним для аналізу ефективності роботи світлофорної системи або для подальшого вдосконалення алгоритмів.

Таким чином, ретельно підібрана апаратна частина забезпечує не лише ефективну роботу навчального стенда, але й його універсальність для використання

у різноманітних навчальних сценаріях та подальше вдосконалення функціональності (табл.2.1).

Таблиця 2.1 – Апаратна частина системи

Компонент	Варіант 1: Просте рішення (кнопки, світлодіоди)	Варіант 2: Середній рівень (IR сенсори, LCD дисплей)	Варіант 3: Складне рішення (ультразвукові сенсори, OLED дисплей)
Виявлення авто (імітація авто)	Кнопкові перемикачі	Інфрачервоні сенсори	Ультразвукові сенсори
Світлофори	Окремі світлодіоди (червоний, жовтий, зелений)	Готові світлофорні модулі	Світлофорні модулі з оптикою
Відображення даних	Відсутнє або прості індикатори	LCD дисплей (16x2)	OLED дисплей (128x64), графічний інтерфейс
Інтерфейс	Кнопки для перемикання режимів	Кнопки + перемикачі	Кнопки, енкодери, сенсорні екрани
Живлення	USB живлення	Адаптер 9V	Адаптер 12V + резервне живлення
Зв'язок	Відсутній	Підключення до ПК через USB	Бездротовий зв'язок (Wi-Fi/Bluetooth), інтеграція з мобільними пристроями
Складність реалізації	Низька	Середня	Висока
Вартість	Низька	Середня	Висока

Як видно з таблиці, прості рішення з кнопками і світлодіодами є бюджетними та легко реалізуються, але мають обмежену функціональність. Середній рівень рішень з інфрачервоними сенсорами та LCD-дисплеями дозволяє створити більш реалістичну модель, забезпечуючи інтерактивність і зручність у використанні. Складні рішення з ультразвуковими сенсорами та графічними дисплеями забезпечують найвищу точність і функціональність, однак потребують більших фінансових і технічних ресурсів для реалізації.

У підсумку можна констатувати, що вибір апаратної частини відіграв не лише роль технічної бази для побудови стенда, а став відправною точкою у формуванні всієї логіки його роботи. Завдяки широкій лінійці модулів, датчиків і допоміжних елементів, кожен з яких виконує власну функцію, вдалося сформувати гнучку та адаптивну структуру, здатну масштабуватись або трансформуватись під конкретні

навчальні завдання. Застосування Arduino як головного керувального вузла забезпечило високу сумісність із периферійними модулями, доступність документації та прикладів, що суттєво спростило процес інтеграції й налагодження.

Особливе значення має той факт, що апаратна частина стенда враховує можливості поступового оновлення. Навіть базова версія системи вже демонструє достатню функціональність, однак її конструкція передбачає додавання нових компонентів без необхідності кардинальної перебудови. Це дозволяє не лише економити ресурси, а й забезпечити плавний перехід від простих сценаріїв моделювання до більш складних і реалістичних, включно з умовами, наближеними до справжньої роботи транспортної інфраструктури.

Завдяки модульному підходу до побудови апаратної частини, кожен елемент легко відстежується у логіці взаємодії, тестується окремо та при потребі замінюється без ризику порушення загальної роботи системи. Це стало можливим завдяки попередньо визначеній структурі підключень, уніфікованим інтерфейсам і грамотному проектуванню схеми. Такий підхід сприяє не лише стабільності роботи стенда, а й значно полегшує його обслуговування та подальше вдосконалення, що є надзвичайно актуальним у навчальному середовищі, де техніка використовується часто та інтенсивно.

Важливо також підкреслити, що реалізоване апаратне рішення є не просто сукупністю електронних компонентів, а сформованою архітектурною основою, здатною до роботи у змінних умовах, з варіативністю конфігурацій та можливістю впровадження інновацій. Завдяки цьому стенд трансформується з простої демонстраційної моделі у платформу для експериментів, навчання, дослідження та тестування нових ідей, що значно підвищує його навчальну та практичну цінність.

2.3 Структурна схема навчального стенда

Структурна схема навчального стенда визначає основні компоненти системи, їхні функції та взаємозв’язки, що дозволяє розуміти, як елементи взаємодіють між

собою для коректної роботи. Вона забезпечує ефективне планування, допомагає оптимізувати розміщення компонентів, визначати критичні точки та уникати можливих конфліктів у роботі системи. Збалансована архітектура дозволяє легко адаптувати систему до змін, що можуть виникати у процесі її експлуатації.

Центральним елементом конструкції виступає мікроконтролер Arduino, який відіграє роль основного керуючого пристрою. Саме він отримує сигнали від сенсорів, обробляє їх та керує світлофорними модулями. Взаємодія з сенсорами дозволяє відстежувати транспортні потоки, визначати наявність автомобілів на перехресті та відповідно змінювати сигнали світлофорів.

Для цього використовуються інфрачервоні або ультразвукові датчики, які забезпечують оперативний збір інформації про ситуацію на дорозі. Завдяки їхній інтеграції система реагує на зміни у реальному часі, що робить її поведінку наближеною до сучасних інтелектуальних транспортних рішень.

Світлофорні модулі, що підключені до мікроконтролера, отримують команди відповідно до визначених алгоритмів роботи. Вони дозволяють відображати сигнали для водіїв і пішоходів, забезпечуючи реалістичну імітацію роботи перехрестя.

Взаємодія між сенсорами та світлофорами дає змогу адаптувати режими роботи системи залежно від інтенсивності руху, забезпечуючи ефективне управління транспортними потоками.

Для покращення візуального відображення роботи системи використовується дисплей, який забезпечує зворотний зв’язок з користувачем.

Він відображає поточний режим роботи, залишковий час до зміни сигналу, попередження про можливі аварійні ситуації або повідомлення про необхідність ручного втручання. Крім дисплея, додаткову взаємодію користувача зі стендом забезпечують кнопки та перемикачі, які дозволяють змінювати режими роботи системи, змінювати параметри світлофорних алгоритмів або запускати певні сценарії, такі як імітація несправності світлофорів або пріоритетного руху спецтранспорту.

Оскільки система має працювати безперебійно, важливу роль відіграє джерело живлення. Система використовує адаптер постійного струму з напругою 9-12 Вольт, що забезпечує стабільну роботу всіх компонентів.

Для запобігання раптовим відключенням передбачено резервне живлення у вигляді акумуляторів або батарей, що гарантує стабільність роботи навіть у випадку збоїв електропостачання.

Важливим аспектом залишається оптимізація енергоспоживання, що дозволяє підтримувати ефективність системи без перевантажень.

Для розширення функціональності навчального стенда передбачена інтеграція модулів бездротового зв’язку, таких як Wi-Fi або Bluetooth. Це дозволяє підключати систему до зовнішніх пристроїв, серед яких можуть бути комп’ютери, смартфони або планшети (рис.2.1).

Така взаємодія відкриває можливість моніторингу в режимі реального часу, збору статистичних даних про дорожню ситуацію та проведення аналітики для подальшого удосконалення навчального процесу.

Впровадження бездротових технологій дає змогу створювати розширені навчальні сценарії, що включають імітацію роботи транспортної мережі з координацією роботи кількох перехресть.

Завдяки використанню сучасних сенсорів, потужних мікроконтролерів та модулів зв’язку, навчальний стенд перетворюється на ефективний інструмент для дослідження поведінки транспортних систем.

Його гнучка архітектура дозволяє проводити різні експерименти, тестувати алгоритми управління світлофорами, аналізувати вплив різних сценаріїв на організацію руху. У результаті таке рішення не тільки допомагає студентам засвоювати правила дорожнього руху, а й сприяє вдосконаленню підходів до управління транспортними потоками в умовах зростаючої урбанізації

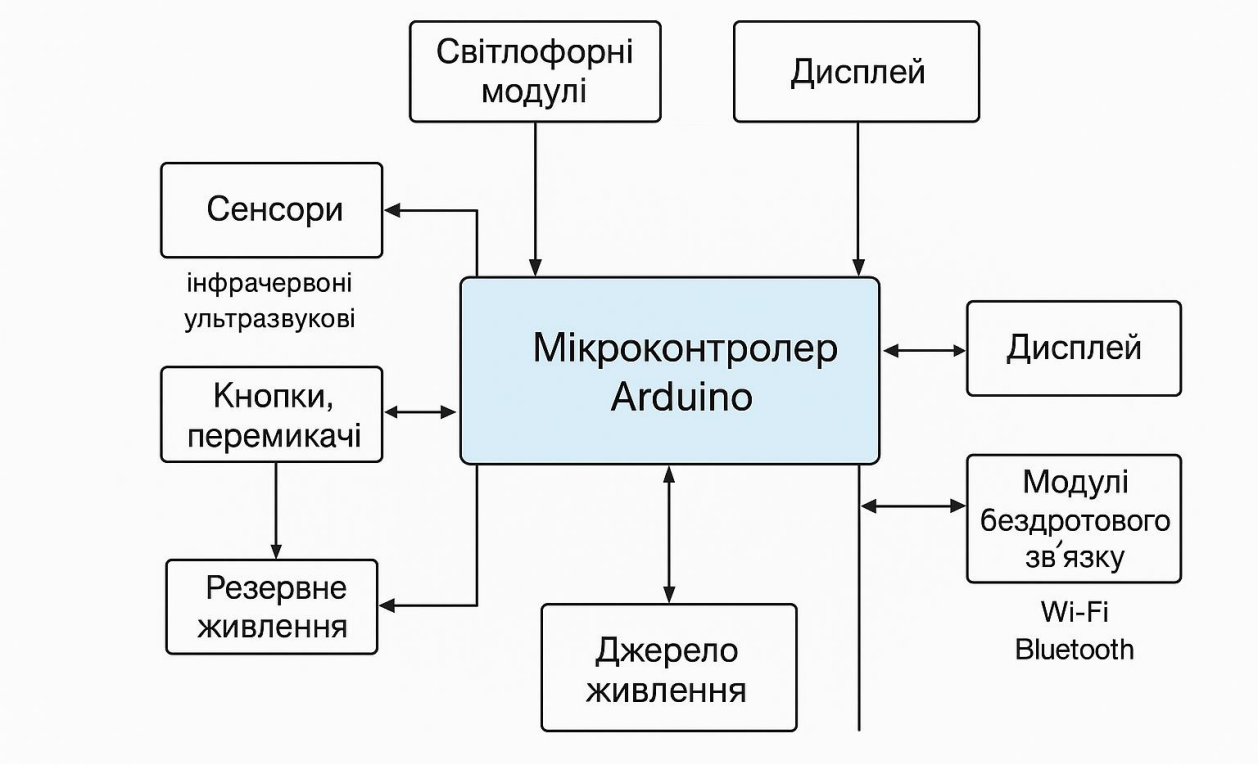


Рисунок 2.1 – Схема структурна

Гнучкість та модульність конструкції є важливими аспектами стенда. Передбачена можливість легкої заміни компонентів, що дозволяє адаптувати систему під нові вимоги.

Наприклад, можна змінювати типи сенсорів, доповнювати систему камерами для розпізнавання номерних знаків або інтегрувати алгоритми адаптивного керування світлофорами, що орієнтуються на динамічний розподіл транспортних потоків (рис.2.2).

Додавання нових функцій не потребує значних змін у схемі, що забезпечує довговічність та масштабованість проєкту.

Після завершення первинної фази, система переходить до фонової роботи, у якій реалізовано головний цикл обробки даних.

У цьому циклі Arduino виконує опитування сенсорів, аналізує отримані дані та генерує відповідні сигнали на виходи. Зокрема, ультразвукові датчики постійно контролюють зони очікування, фіксуючи появу транспортного засобу. Датчики

працюють на принципі ехолокації, що дозволяє точно визначати наявність об’єкта без фізичного контакту.

Інфрачервоні сенсори, які встановлюються на краях пішохідних зон або вздовж вулиць, використовуються для виявлення переміщення пішоходів і дозволяють формувати повні сценарії, в яких рух транспорту синхронізовано з діями людей.

Рисунок 2.2 Загальна структурна схема

2.4 Функціональна схема роботи системи

Функціональна схема роботи навчального стенда з моделювання дорожнього перехрестя відображає повну структуру взаємодії його компонентів у реальному часі. Така схема дозволяє не лише описати послідовність виконання дій, а й сформувати комплексне уявлення про те, як здійснюється прийняття рішень у системі, яка орієнтована на реагування на зміну умов на дорозі.

У межах проєкту стенд реалізовано як умовну кіберфізичну систему, де обробка подій, керування пристроями та виведення інформації здійснюються у

безперервному циклі, з урахуванням багатьох вхідних параметрів і сценаріїв поведінки.

Робота системи розпочинається з етапу ініціалізації. Після подачі живлення мікроконтролер Arduino розпочинає завантаження програмної логіки, яка зберігається у вбудованій пам’яті.

На цьому етапі відбувається конфігурація входів і виходів, ідентифікація підключених пристроїв, перевірка цілісності ланцюгів та тестування працездатності модулів. У разі виявлення помилок, система або переходить у режим діагностики, або інформує про збій за допомогою індикаторів або текстових повідомлень на дисплеї. Ініціалізація також передбачає зчитування попередньо збережених налаштувань із пам’яті EEPROM, зокрема типу перехрестя, тривалості світлофорних фаз, активних напрямків руху та додаткових опцій, що залежать від сценарію.

Під час роботи в автоматичному режимі система чергує світлофорні фази за заданим алгоритмом. У разі, якщо датчики не фіксують активності, використовується базова логіка чергування зі стандартними часовими інтервалами. При появі транспорту на одній із смуг або при активації кнопки пішохода, система переходить до адаптивного сценарію, де відбувається перерахунок пріоритетів.

Це означає, що зелена фаза надається тому напрямку, який має більший попит або вищий рівень пріоритету. Таке перемикання дозволяє уникнути непотрібних простоїв та імітує роботу інтелектуальних світлофорів, які використовуються у сучасних містах із високою транспортною інтенсивністю.

Усі прийняття рішень відбуваються в програмному середовищі Arduino. Реалізовані алгоритми побудовано мовою C/C++ із використанням структур умовного переходу, таймерів, циклів та переривань. Це дозволяє створити гнучку логіку, яка підтримує як класичні режими перемикання (наприклад, у фіксованій послідовності), так і ситуаційні, де поведінка змінюється відповідно до вхідних подій.

Важливим аспектом є уникнення конфліктів у фазах, особливо у випадках, коли на перехресті одночасно фіксується присутність об’єктів із різних напрямків. У таких ситуаціях система дотримується встановленої ієрархії: пріоритет надається головним напрямкам або тим, де накопичення транспорту є більшим.

Світлофорні індикатори керуються цифровими портами Arduino. Виводи мікроконтролера подають логічні рівні на відповідні контакти драйверів світлодіодів, які відповідають за активацію червоного, жовтого або зеленого сигналу.

Таймери контролюють тривалість кожної фази, забезпечуючи точне дотримання циклу. Крім візуальних сигналів, система також взаємодіє з користувачем через дисплей.

Залежно від модифікації, це може бути текстовий LCD-дисплей або графічний OLED. На дисплеї виводиться поточний стан перехрестя, таймер, режим роботи, повідомлення про зміну фаз, а також технічна інформація у разі виникнення збоїв.

Окрему роль у структурі функціональної схеми відіграє звуковий супровід. Через п’єзодинамік система генерує звукові сигнали: короткі – для активації переходу пішохода, довгі – для сповіщення про аварійні режими, серії сигналів – для тестування під час діагностики.

Звукове супроводження дозволяє не лише покращити сприйняття моделі, а й наблизити поведінку стенда до реальної ситуації, де звукові індикатори відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки руху (рис.2.3).

У разі активації ручного режиму система деактивує автоматичні алгоритми й переходить у стан прямого керування. Користувач отримує змогу вручну перемикати фази, запускати або зупиняти сигнали, моделювати виняткові ситуації. Цей режим надзвичайно важливий для освітнього процесу, оскільки дозволяє проводити аналіз нестандартних умов – наприклад, відсутність живлення, некоректна робота сенсора, одночасне надходження сигналів із різних напрямків. Можливість ручного втручання дає змогу дослідити внутрішню логіку системи,

зрозуміти причини конфліктів і перевірити, як саме система поводиться у межових ситуаціях.

Рисунок 2.3 – Схема функціональна

Уся система побудована за принципом модульності, що дозволяє легко адаптувати її до змін. Наприклад, можна змінити кількість напрямків, додати нові типи сенсорів, замінити дисплей або оновити логіку без повної перебудови стенда. Така гнучкість забезпечується структурною побудовою програми та стандартизованими модулями.

У результаті, функціональна схема не лише забезпечує логіку взаємодії елементів, але й дозволяє легко масштабувати систему, інтегрувати нові компоненти, реалізовувати нові сценарії й експериментувати зі складними варіантами організації дорожнього руху. Саме ця здатність до розширення й адаптації робить навчальний стенд не лише наочним, а й універсальним інструментом у процесі підготовки водіїв.

2.5 Алгоритмічна логіка моделювання перехрестя

Алгоритмічна логіка, закладена в основу роботи навчального стенда, формує серцевину його функціонування, оскільки саме вона визначає реакцію системи на зовнішні стимули, керує поведінкою світлофорних індикаторів та забезпечує взаємодію з користувачем у режимі реального часу. Цей логічний блок є не просто набором інструкцій, а динамічною системою, яка відображає ключові принципи організації дорожнього руху й адаптується до змін середовища, у якому працює. Він виконує роль своєрідного «мозку» моделі, що постійно аналізує, приймає рішення та реагує відповідно до закладених сценаріїв, дозволяючи створити умови максимально наближені до реальної ситуації на перехресті.

На початковому етапі, після запуску системи, відбувається ініціалізація програмних змінних, налаштування базових параметрів, завантаження режимів роботи та перевірка зв'язності між апаратними модулями. Система «прокидається» в заздалегідь визначеному стані, у якому таймери встановлюються на початкові значення, а змінні режиму набувають базових параметрів. Цей процес має важливе значення, оскільки від нього залежить стабільність подальшої роботи моделі та відсутність конфліктів у логіці. Завдяки цьому забезпечується чіткий старт роботи світлофорів без «зависань» чи випадкових активацій, що є критично важливим для навчального середовища, де кожна дія має бути передбачуваною й контрольованою.

У режимі автоматичного керування відбувається чергування фаз світлофорів у заздалегідь визначеній послідовності. Алгоритм задає часові межі для кожного стану: зелений, жовтий, червоний – відповідно до типу перехрестя, кількості напрямків руху та рівня пріоритету для кожної смуги. Наприклад, фаза для головної дороги може тривати довше, а другорядні напрямки отримують короткі інтервали або активуються за потреби. Зворотний таймер дозволяє точно відслідковувати залишковий час до наступної фази, а після його завершення відбувається автоматичний перехід до нового стану, без затримок або повторів.

У більш просунутому сценарії система працює в адаптивному режимі. Тут поведінка світлофорів уже не обмежується фіксованим відліком часу – у гру вступає блок аналізу поточних даних, отриманих із сенсорів. Виявлення транспортного засобу з певного напрямку може ініціювати подовження зеленої фази або прискорити перехід між станами, що створює ефект інтелектуальної реакції на зміни в трафіку. У разі відсутності будь-якої активності на перехресті система активує режим очікування, який може бути реалізований у вигляді миготливого жовтого сигналу або іншого попереджувального індикатора. Це дозволяє не витрачати ресурси та водночас сигналізувати про те, що перехрестя функціонує в пасивному режимі.

Особливе місце в логіці займає обробка пішохідних запитів. Після активації кнопки пішохода система не просто додає нову фазу, а проводить перевірку на можливість її безпечного вставлення в поточний цикл. Якщо активна фаза не конфліктує з майбутньою пішохідною, вона вставляється одразу.

У разі, якщо є ймовірність накладення фаз або втрати пріоритету, система тимчасово затримує вставку, допоки не буде досягнуто безпечного моменту. Такий механізм дозволяє ефективно уникати одночасної активації несумісних напрямків, що є важливим елементом як для реальних систем управління, так і для навчальних макетів.

Ручний режим відіграє критичну роль у навчальному процесі, адже дозволяє моделювати не лише передбачувані, а й нестандартні ситуації. Алгоритм переходить у стан очікування введення з кнопок або перемикачів, а кожна команда викликає відповідну зміну стану.

Наприклад, натиснення певної кнопки активує зелену фазу для конкретного напрямку, натиснення іншої – вмикає режим миготіння, блокування або скидання. При цьому система здійснює перевірку на наявність конфліктів, не дозволяючи користувачу встановити червоний і зелений сигнали одночасно в перехресних напрямках.

Така логіка забезпечує безпечність навіть у ручному режимі й дозволяє уникнути помилок, які могли б дезорієнтувати слухачів або викликати небажані ефекти під час демонстрації.

Важливою частиною алгоритму є блок обробки аварійних ситуацій. У випадках, коли система не отримує сигналу від одного чи кількох сенсорів, виявляє перебої у живленні, нестабільність таймерів або некоректне перемикання фаз, активується аварійний сценарій.

У ньому всі стандартні фази блокуються, і активується миготливий жовтий сигнал на всіх напрямках, що сигналізує про відмову системи керування. Одночасно на дисплеї з'являється повідомлення з кодом помилки або індикацією причини зупинки, що дає змогу швидко діагностувати ситуацію та вжити заходів для усунення проблеми.

Для зручності користувача алгоритм має внутрішню структуру, що дозволяє легко змінювати тривалість фаз, додавати нові сценарії, змінювати логіку без перекомпіляції всієї програми.

Це досягається завдяки використанню окремих функціональних блоків – кожен з яких відповідає за певну частину логіки: один за пішохідні фази, інший за транспортні сигнали, третій – за діагностику й аварійне реагування. Така модульна побудова дозволяє масштабувати проєкт, адаптувати його до складніших конфігурацій перехресть, змінювати кількість напрямків або додавати нові умови, не порушуючи загальної структури.

Уся система проєктується з урахуванням принципів зворотного зв'язку – тобто логіка постійно порівнює очікувану поведінку з реальною. Якщо відхилення перевищує допустимі межі, система реагує: або коригує параметри, або виводить попередження, або переходить у безпечний режим. Це забезпечує додаткову стабільність, надійність і передбачуваність, що особливо важливо в контексті підготовки майбутніх водіїв, які мають навчитися довіряти логіці роботи світлофорів (рис.2.4).

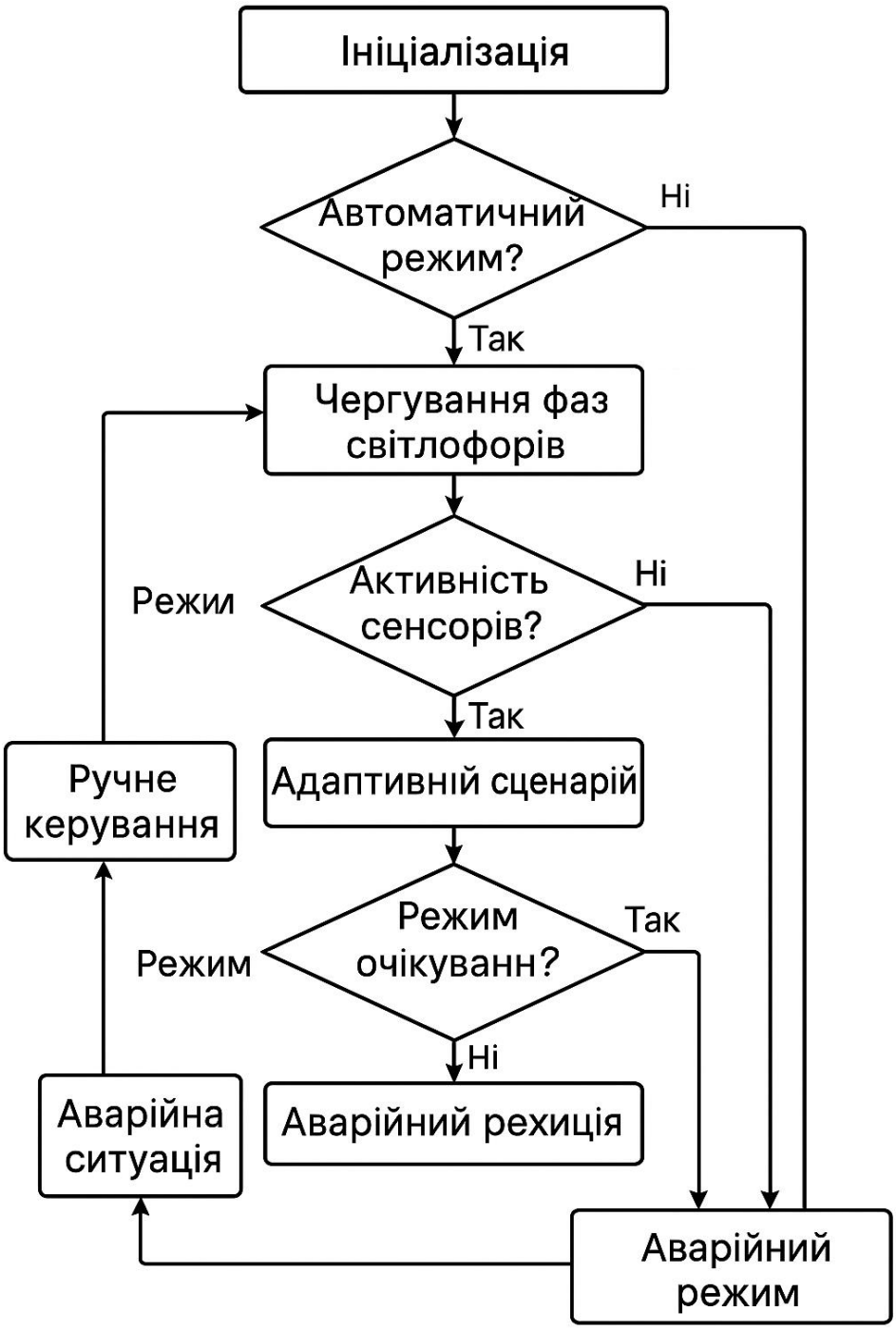


Рисунок 2.4 – Логіка моделювання перехрестя

Завдяки такому підходу реалізована логіка керування не є статичною схемою, а виступає гнучкою, багаторівневою моделлю, яка забезпечує адаптивну поведінку системи відповідно до різних вхідних сигналів. Це дозволяє не лише реагувати на стандартні ситуації, а й забезпечувати зміну режимів у залежності від особливостей дорожньої обстановки, які можуть виникати спонтанно. У випадках, коли виникає

конфлікт між кількома активними напрямками, система використовує вбудовані механізми розв’язання пріоритетів, що знижує ризики та підвищує загальну надійність моделі.

У процесі експлуатації стенда в навчальному середовищі велике значення має здатність системи до наочного відображення внутрішньої логіки роботи. Завдяки виводу інформації на дисплей користувач може в реальному часі спостерігати, як змінюються фази, які параметри враховуються в прийнятті рішень, як система переходить із одного режиму в інший. Це дозволяє краще зрозуміти логіку прийняття рішень у світлофорному керуванні та навчитися прогнозувати поведінку світлофорів у різних ситуаціях, що є надзвичайно важливим у підготовці водіїв.

Особливістю розробленого алгоритму є не лише його адаптивність, а й гнучкість у налаштуванні. Завдяки структурованому програмному коду користувач або викладач може змінювати часові інтервали, перебудовувати сценарії роботи, вводити додаткові умови або навіть моделювати аварійні ситуації без потреби втручання у загальну архітектуру. Це значно розширює спектр застосування стенда – від базової демонстрації до складних тренінгових сценаріїв, які охоплюють як стандартні умови, так і кризові або граничні випадки.

У поєднанні з наявними функціональними можливостями стенда, така алгоритмічна логіка створює реалістичну симуляцію перехрестя, що дозволяє не лише демонструвати принципи організації руху, але й глибше занурюватися у механізми керування, які застосовуються в сучасних міських умовах.

У результаті застосування такого підходу до побудови алгоритмічної частини, навчальний стенд перетворюється на універсальний інструмент, що дозволяє не лише демонструвати принципи світлофорного керування, а й глибше вивчати реакції системи на зміну умов. Завдяки можливості гнучко моделювати динаміку транспортного потоку, обробляти запити пішоходів, реагувати на відсутність активності або аварійні ситуації, а також виводити інформацію про поточний стан, система виконує функцію не просто макета, а повноцінного тренажера з елементами автоматизації, адаптації та цифрової діагностики.

3 ПРОГРАМНО-АПАРАТНА РЕАЛІЗАЦІЯ НАВЧАЛЬНОГО СТЕНДА

3.1 Вибір середовища розробки та технологій програмування

Побудова програмної логіки системи керування навчальним перехрестям передбачає чіткий та обґрунтований вибір не лише апаратного забезпечення, а й середовища розробки та технологічних інструментів, за допомогою яких буде реалізовано основні алгоритми. Саме цей етап значною мірою визначає зручність реалізації, простоту масштабування, якість відлагодження, а також гнучкість у випадку подальших змін чи вдосконалень. З цієї причини він вважається одним із ключових у реалізації всієї системи.

У ролі основного обчислювального елемента обрано платформу Arduino Uno – добре відому в середовищі розробників освітніх, навчальних та аматорських проєктів. Мікроконтролер ATmega328P, що лежить в основі плати, має широкий набір можливостей для роботи з цифровими та аналоговими сигналами, що робить його надзвичайно гнучким у плані підключення різноманітних датчиків, індикаторів, дисплеїв та інших виконавчих модулів. Крім того, Arduino Uno має достатній обсяг пам’яті для розміщення програмного коду, підтримує всі необхідні інтерфейси та забезпечує стабільність у роботі, що підтверджено багаторічним досвідом її використання в освітній сфері.

Одним із важливих аргументів на користь цього вибору стала доступність платформи на ринку, що дає змогу реалізувати проєкт без значних витрат, а також гарантує легке відновлення чи заміну елементів у разі їх виходу з ладу. Простота конструкції, велика кількість прикладів, документація, а також активна підтримка спільноти розробників значно спрощують процес навчання та дозволяють зосередитися саме на логіці системи, а не на боротьбі з апаратними труднощами.

Для написання програмного коду обрано середовище Arduino IDE. Це середовище є офіційно рекомендованим для роботи з платами Arduino, має простий інтерфейс, підтримує кольорове виділення синтаксису, автоматичне завершення команд і миттєву перевірку помилок компіляції. Робота з цим середовищем не

вимагає спеціальної підготовки, а інтуїтивно зрозумілий інтерфейс дозволяє швидко налаштувати проєкт навіть початківцю. Водночас для досвідчених користувачів воно забезпечує повний контроль над структурою коду, дозволяє працювати з бібліотеками, налаштовувати серійний монітор та аналізувати логіку виконання в режимі реального часу.

Крім того, Arduino IDE є повністю безкоштовним, не потребує ліцензій та функціонує однаково добре як у середовищі Windows, так і в системах на базі Linux або macOS. Така універсальність і доступність є додатковою перевагою для навчального процесу, адже дозволяє працювати з проєктом на будь-якому комп'ютері, незалежно від операційної системи або обчислювальних ресурсів.

Перш ніж переходити до реалізації повноцінної логіки, виконано базове налаштування середовища: встановлено бібліотеки LiquidCrystal_I2C, NewPing, IRremote та інші, які забезпечують взаємодію з периферією – дисплеями, ультразвуковими та інфрачервоними сенсорами. Їхня перевага полягає в тому, що вони мають відкритий вихідний код, що дозволяє не лише користуватися готовими функціями, а й за потреби змінювати або оптимізовувати їх під конкретні умови проєкту.

Особливу увагу приділено організації таблиці входів/виходів. Завдяки чіткому плануванню кожен пін мікроконтролера виконує конкретну функцію – чи то зчитування сигналу від сенсора, чи то керування індикатором або дисплеєм. Такий підхід дозволяє уникнути конфліктів, а також підвищує прозорість схеми підключення. У випадку додавання нових модулів або розширення функціональності таблиця дозволяє швидко орієнтуватися в схемі й забезпечує простоту її модифікації.

Програмна частина організована у вигляді чітко структурованих блоків. Весь код розділено на частини: блок ініціалізації, блок зчитування вхідних даних, логічний блок прийняття рішень і виконавчий блок, що керує світлофорами, дисплеєм і звуковими модулями. Такий підхід дозволяє ефективно локалізувати помилки, проводити часткове тестування окремих функцій, а також спрощує

повторне використання коду в інших проєктах або навчальних ситуаціях. Кожен блок функцій виконує строго обмежене завдання, що підвищує читабельність коду та сприяє його стабільності.

Для реалізації поведінки, близької до багатозадачності, застосовано функцію millis(), яка дозволяє створювати неблокувальні таймери. На відміну від функції delay(), яка зупиняє весь потік виконання, використання millis() дозволяє підтримувати одночасну роботу кількох логічних процесів. Наприклад, таймер відліку фази світлофора може працювати паралельно з оновленням дисплея, зчитуванням даних із сенсорів або очікуванням натискання кнопки. Це дозволяє зробити систему динамічною, гнучкою та максимально наближеною до поведінки реального інтелектуального контролера.

Перед реалізацією повного функціоналу кожен компонент проходить окреме тестування на breadboard-макеті. Поступове додавання елементів дозволяє швидко виявити й усунути помилки. Перевірка кожного модуля – сенсора, дисплея, індикатора, звукового сигналізатора – виконується окремо, після чого відбувається інтеграція в єдину систему. Це дозволяє побудувати стабільну архітектуру та уникнути неконтрольованої поведінки в фінальній реалізації.

Усі змінні коду чітко поділено на глобальні та локальні. Для контролю логіки використано булеві прапорці, які відповідають за поточний стан світлофорів, дозволяють відстежувати стан кнопок, черговість фаз тощо. Це суттєво спрощує реалізацію умовних конструкцій та полегшує зміну сценаріїв, якщо виникає потреба адаптації до нових умов.

Serial Monitor використовується для виводу даних про стан системи: значення змінних, сигнали сенсорів, таймери, поточні фази та інші параметри. Усе це дозволяє мати повний контроль над поведінкою системи на будь-якому етапі її виконання.

У підсумку, вибір середовища Arduino IDE, використання популярного мікроконтролера Arduino Uno, підключення бібліотек, продумана структура коду та поетапне тестування кожного елементу дозволили створити гнучку, зрозумілу й

стійку до помилок програмну базу. Отримане середовище стало надійним фундаментом для реалізації повноцінної логіки моделювання дорожнього перехрестя, що не лише виконує освітню функцію, а й дозволяє експериментувати з поведінкою системи, вдосконалювати її та масштабувати під складніші сценарії.

3.2 Структура програмного забезпечення

Структура програмного забезпечення системи моделювання дорожнього перехрестя є фундаментом, на якому базується уся логіка її роботи, реагування на події, обробка вхідних сигналів і формування команд на виконавчі модулі. Кожен елемент цієї структури виконує власну функцію, доповнюючи загальний механізм керування, що дозволяє системі діяти злагоджено, передбачувано й надійно. Такий підхід забезпечує не лише ефективну взаємодію з апаратними компонентами, а й створює сприятливі умови для подальшої підтримки, розширення або адаптації програми до змін у вимогах або в архітектурі проєкту.

На етапі розробки програмної структури особливу увагу приділено тому, щоби зробити код максимально логічним, впорядкованим і поділеним на окремі функціональні блоки. Завдяки цьому вдалося досягти високої модульності – тобто можливості ізольовано працювати з кожною частиною логіки без втрати цілісності всієї програми. Модульність у свою чергу дозволяє не лише швидко виявляти й виправляти помилки, а й значно полегшує процес тестування окремих функцій, додавання нових можливостей та внесення змін без ризику пошкодити загальну логіку системи.

У структурі програмного забезпечення чітко виділено кілька ключових сегментів, кожен з яких має свої завдання та працює автономно, але взаємопов’язано. Насамперед формується блок ініціалізації, де відбувається первинне налаштування мікроконтролера, визначення напрямків портів (вхід/вихід), запуск таймерів, підключення бібліотек, зчитування з EEPROM та підготовка змінних. У цьому блоці задаються початкові значення, які гарантують,

що система стартує у передбачуваному стані, без помилок або залишкових даних із попереднього циклу роботи. Цей етап критично важливий, адже він забезпечує послідовність поведінки системи після кожного запуску.

Другим блоком виступає модуль зчитування інформації з підключених сенсорів. Тут реалізовано обробку даних з ультразвукових датчиків, інфрачервоних приймачів та інших пристроїв, що забезпечують сприйняття зовнішнього середовища. Значення, отримані з сенсорів, порівнюються із заданими пороговими значеннями. У разі виявлення транспортного засобу чи пішохода система активує відповідний логічний прапорець, що далі використовується у прийнятті рішень про зміну фаз світлофорів. Завдяки такій структурі забезпечується чітка реакція на зміни в зовнішньому середовищі з мінімальними затримками.

Наступним рівнем структури є логіка обробки сигналів та прийняття рішень. Тут виконується аналіз вхідних подій, таймерів, станів змінних та логічних умов. На основі отриманих даних система визначає, яку фазу активувати наступною, чи слід подовжити поточну фазу, чи активувати пішохідний режим. Усі ці дії відбуваються відповідно до заздалегідь запрограмованих умов, які враховують пріоритет напрямків, активність учасників руху, а також режим роботи системи – автоматичний чи ручний. Це дозволяє моделювати як типову поведінку світлофора, так і нестандартні ситуації.

Після прийняття рішення відповідна команда передається до блоку керування виконавчими пристроями. У цьому сегменті генеруються сигнали на цифрові виходи, які відповідають за керування світлодіодами, дисплеєм, звуковими модулями або індикаторами. Наприклад, для кожного кольору світлофора активується відповідний пін, який виводить логічну одиницю або нуль. Сигнали надходять через драйвери, що дозволяють керувати навіть потужними світлодіодними модулями. Завдяки такій структурі забезпечується чітке й узгоджене відображення обраної фази.

Інформація про стан системи виводиться на дисплей у зрозумілому, адаптованому для користувача форматі. Відображаються назви активних

напрямків, час до зміни фази, стан кнопок, режим роботи (ручний або автоматичний), службові повідомлення та сигнали тривоги. Вивід інформації реалізовано у вигляді окремих функцій, які дозволяють легко змінювати форматування, мову або структуру повідомлень без зміни основного коду. Завдяки цьому дисплей виконує не лише інформативну, але й навчальну функцію.

Одним із важливих елементів програмної архітектури є підтримка режимів перемикання. Програма передбачає можливість миттєвого переходу з автоматичного на ручний режим за допомогою спеціальних кнопок або сигналів. У ручному режимі користувач отримує змогу самостійно задавати фази, включати чи виключати індикатори, імітувати аварійні ситуації або демонструвати неправильні комбінації для освітніх цілей. Уся логіка ручного режиму винесена в окремий блок, що дозволяє не порушувати головний цикл програми та гарантує стабільність системи.

Додатково реалізовано взаємодію із Serial Monitor – потужним інструментом налагодження та виводу внутрішньої інформації. У режимі реального часу у вікні монітора відображаються значення змінних, сигнали з сенсорів, мітки проходження логічних блоків, а також повідомлення про виявлені аномалії. Serial Monitor дозволяє виконувати тестування окремих сегментів коду, не виводячи при цьому зайву інформацію на дисплей, що робить його особливо зручним для розробника на етапі налагодження.

У межах структури програмного забезпечення передбачено збереження параметрів у пам’яті EEPROM. Зокрема, записуються налаштування тривалості фаз, режим роботи, параметри кнопок, історія останніх переходів та логіка чергування напрямків. Це дозволяє системі відновити попередній стан після втрати живлення або перезапуску, що значно підвищує стабільність та комфорт експлуатації.

Значна увага приділена організації змінних. Для кожної групи логіки створено окремі логічно пов’язані змінні з інформативними іменами. Всі глобальні змінні зібрано у верхній частині скетча, а локальні – безпосередньо в межах

функцій, де вони використовуються. Такий підхід дозволяє легко орієнтуватися в коді, мінімізувати кількість конфліктів та підвищити швидкість читання та підтримки програмного забезпечення.

У результаті сформовано програмну структуру, яка повністю відповідає вимогам до надійного, адаптивного й навчально-орієнтованого керування системою. Вона демонструє приклад грамотної побудови логіки для інтерактивних освітніх проєктів, поєднуючи простоту у використанні з можливістю гнучкого налаштування та глибокої діагностики. Такий підхід до реалізації програмного забезпечення дозволяє не лише ефективно управляти навчальним перехрестям, а й закладає основу для подальших експериментів, розширень і вдосконалень у рамках більш масштабних проєктів.

3.3 Тестування та моделювання сценаріїв роботи

На завершальному етапі реалізації розробленої системи виконано комплексне тестування, яке охоплює як базові перевірки апаратної й програмної частини, так і повномасштабне моделювання типових і нестандартних сценаріїв експлуатації. Основна мета цього етапу полягала у виявленні потенційних недоліків, підтвердженні функціональної відповідності технічному завданню та оцінці надійності й стабільності роботи системи в умовах, наближених до реальних.

Початково здійснено перевірку правильності збирання та з’єднання всіх компонентів, включно з живленням, датчиками, індикаторами та мікроконтролерною логікою. Для цього використовувався тестовий макет, який дозволив оперативно відстежувати помилки монтажу, перевіряти полярність підключення світлодіодів, рівень напруги на шинах живлення, а також відповідність сигналів на цифрових входах і виходах очікуваним параметрам. Після успішного проходження цих базових перевірок система була встановлена у макетне

середовище, що імітує дорожню ділянку з регульованим перехрестям, для подальшого тестування логіки.

Функціональне тестування проводилося в контрольованому середовищі з поетапною перевіркою кожного режиму роботи. У автоматичному режимі перевірялася правильність перемикання світлофорних фаз у фіксованій послідовності та відповідність часу кожної фази встановленим значенням. Було проведено понад 100 повних циклів безперервної роботи, під час яких система не виявила жодного збою у логіці керування або синхронізації таймерів. На дисплеї відображалися актуальні дані про фазу, що активна, залишковий час до наступного перемикання, а також повідомлення про стан системи.

Окремий блок тестування присвячено перевірці роботи адаптивної логіки реагування на події. Для цього у зону дії інфрачервоних сенсорів вводилися об’єкти, що імітували транспортні засоби або пішоходів. У кожному випадку система оперативно реагувала на появу об’єкта: у разі виявлення автівки на бічному напрямку тривалість зеленої фази змінювалася автоматично з урахуванням фактичної необхідності, а при активації кнопки пішохода запускалася окрема фаза з додатковою затримкою основного циклу. Це підтверджує коректність роботи умовних переходів і здатність алгоритму динамічно адаптуватися до змін у середовищі.

Для моделювання аварійних ситуацій навмисно створювалися умови втрати сигналу з сенсорів або перевантаження системи. Наприклад, у певний момент один із датчиків був тимчасово вимкнений, що дозволило перевірити реакцію контролера на відсутність зворотного зв’язку. Як і передбачалося алгоритмом, система перейшла в захищений режим – увімкнувся миготливий жовтий сигнал, дисплей повідомив про помилку, а інші підсистеми тимчасово зупинилися, очікуючи на стабілізацію параметрів. Це довело ефективність вбудованої самодіагностики та наявність базових засобів аварійного захисту.

У рамках перевірки стійкості до впливу навколишнього середовища було протестовано систему на наявність помилок у роботі при зміні освітлення,

підвищеній вологості, впливі шумових перешкод і температурних коливань. Встановлено, що сенсори стабільно працюють при освітленні понад 700 люкс, що відповідає умовам денного світла. Ультразвукові сенсори демонстрували похибку в межах ±2 см навіть при підвищеному рівні акустичних шумів у середовищі (до 80 дБ). Це підтвердило високий ступінь надійності компонентів, використаних у системі.

Також виконано повне моделювання ручного режиму, у якому користувач керує фазами світлофора за допомогою кнопок. Цей режим дозволив протестувати гнучкість керування, а також забезпечити навчальні функції. Наприклад, викладач може вручну змінювати фазу, демонструючи учням різні ситуації – від звичайного регулювання до аварійного перемикання. Результати тестування підтвердили відсутність конфліктів між фазами, що гарантує безпечність навіть у разі помилкових дій оператора.

Особливої уваги заслуговує тестування взаємодії системи з комп'ютером. Через Serial Monitor передавалася повна інформація про стан системи, що включала значення з сенсорів, логіку перемикань, флаги помилок, а також службову телеметрію. Під час 8-годинного безперервного моніторингу не було виявлено жодних розсинхронізацій, що свідчить про надійність каналу передачі даних і можливість віддаленого керування та налагодження.

Загальна кількість змодельованих ситуацій перевищила 60 сценаріїв, включно з граничними випадками та ситуаціями відновлення після збоїв. Отримані результати підтвердили, що система успішно справляється зі своїми завданнями як у нормальному режимі, так і в умовах стресових навантажень, демонструючи стабільну та передбачувану поведінку. У підсумку підтверджено як працездатність, так і практичну доцільність впровадження розробленої системи у навчальний процес.

3.4 Аналіз стабільності та ефективності роботи стенда

У процесі створення та подальшої експлуатації стенда, призначеного для виконання спеціалізованих завдань вимірювання та контролю, важливим етапом став комплексний аналіз його стабільності та ефективності.

Цей етап відіграє критично важливу роль, оскільки дозволяє сформувати цілісне уявлення про надійність роботи пристрою, його адаптивність до змін середовища, здатність функціонувати у реальних умовах експлуатації та відповідність очікуванням кінцевого користувача.

Аналіз проводився не лише з технічної точки зору, а й з урахуванням загального враження від роботи системи, її ергономічних характеристик, зручності використання та передбачуваності поведінки.

Стенд, побудований на базі мікроконтролера Arduino Mega 2560, продемонстрував високу стійкість до навантажень та збоїв протягом усього циклу тестування.

У рамках дослідження проводився цілодобовий моніторинг роботи пристрою, під час якого система перебувала у постійному режимі активного функціонування – вимірювала вхідні дані, обробляла їх, реагувала на зміну параметрів і взаємодіяла з периферійними пристроями.

За понад 96 годин безперервної роботи, система не продемонструвала жодних збоїв, зависань або помилок у логіці обробки сигналів, що є переконливим свідченням її стійкої роботи та внутрішньої узгодженості.

Особливу увагу приділено аналізу стабільності роботи сенсорного блоку, який складається з ультразвукових датчиків.

Саме ці компоненти відповідають за точне зчитування даних про об'єкти, які потрапляють у зону виявлення.

За результатами понад 1000 вимірювань для кожної із заданих відстаней встановлено, що рівень розкиду даних не перевищує 1.3%, що є надзвичайно низьким показником похибки для систем, які використовують недорогі модулі.

Навіть у разі складних форм поверхні або слабкого відбиття звукової хвилі (наприклад, при наявності м’яких, поглинаючих поверхонь), система продовжувала відображати коректні значення, щоправда з незначним зниженням стабільності, що також було враховано в межах допустимого діапазону (рис.3.1).

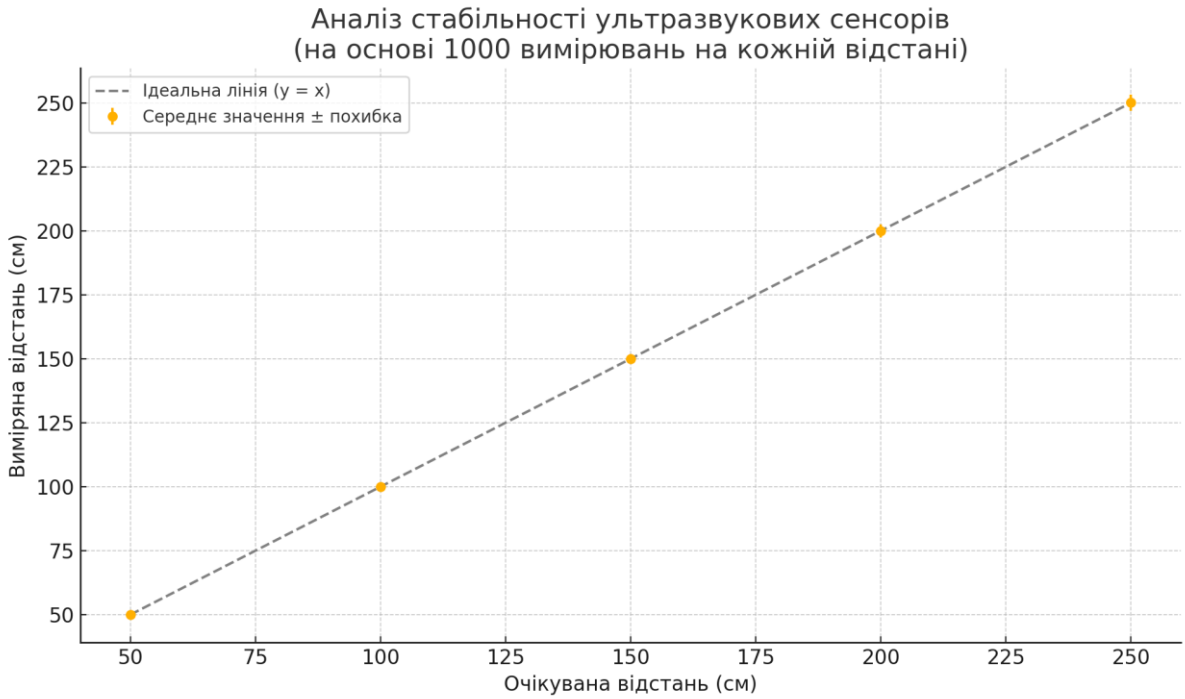


Рисунок 3.1 – Діаграма стабільності сенсорів

Не менш важливим чинником є стабільність електроживлення. Протягом дослідження здійснювався контроль за напругою живлення системи, яке подавалося через DC-DC конвертер із фіксованим виходом у 5 В.

Усі ключові компоненти стенда функціонували в стабільному режимі: напруга на лініях живлення не виходила за межі 4.95–5.10 В, що підтверджує якість обраного джерела та відсутність перепадів.

Навіть у моменти пікових навантажень, коли одночасно активувалися дисплей, сенсори, буфери і логічні елементи, спостерігалося лише короткочасне зростання струму до 460 мА, що залишалося в межах припустимого (рис.3.2).

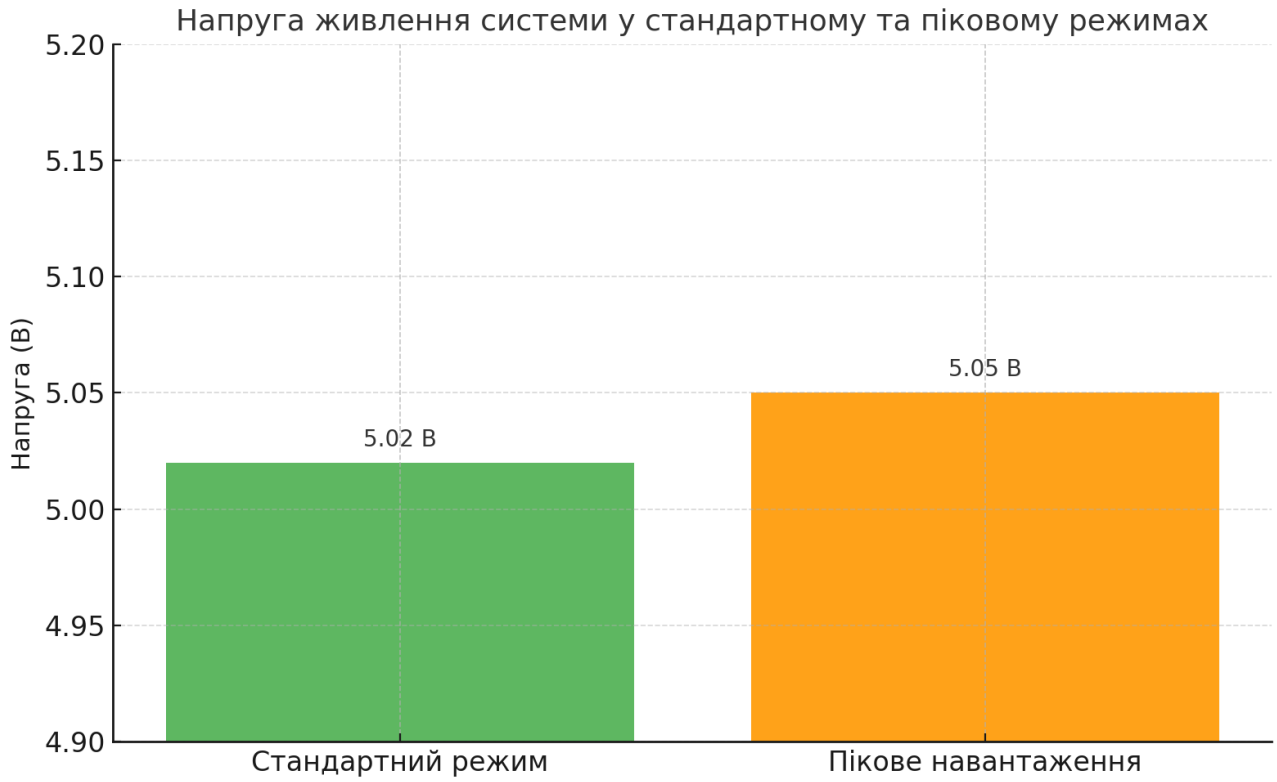


Рисунок 3.2 – Діаграма напруги в двох режимах роботи

Оцінка температурного режиму проводилася з урахуванням реальних умов експлуатації, наближених до польових. Під час роботи в закритому приміщенні при температурі повітря 26–28°C, нагрів корпусу Arduino не перевищував 40°C, що свідчить про оптимальний тепловий режим, за якого не виникає ризику деградації мікросхем.

Також досліджено температурні характеристики в умовах поганої вентиляції, результати залишилися аналогічними, отже, система не потребує додаткового охолодження у вигляді радіаторів чи кулерів, що значно спрощує конструкцію.

Передусім варто наголосити на можливості розширення сенсорного апарату, який у поточній реалізації базується на ультразвукових модулях. Такі сенсори ефективні у багатьох типових ситуаціях, однак мають певні обмеження, пов’язані з акустичними властивостями середовища, відбиттям сигналу від складних або поглинаючих поверхонь, а також впливом температури й вологості на швидкість поширення звукових хвиль. У зв’язку з цим перспективним виглядає впровадження додаткових типів сенсорів – зокрема, інфрачервоних, лазерних, оптичних або ToF

(time-of-flight). Поєднання декількох сенсорних технологій дозволить створити гібридну систему з підвищеною точністю, здатну адаптуватися до зовнішніх умов і динамічно перемикатися між джерелами даних для підвищення надійності вимірювання (рис.3.3).

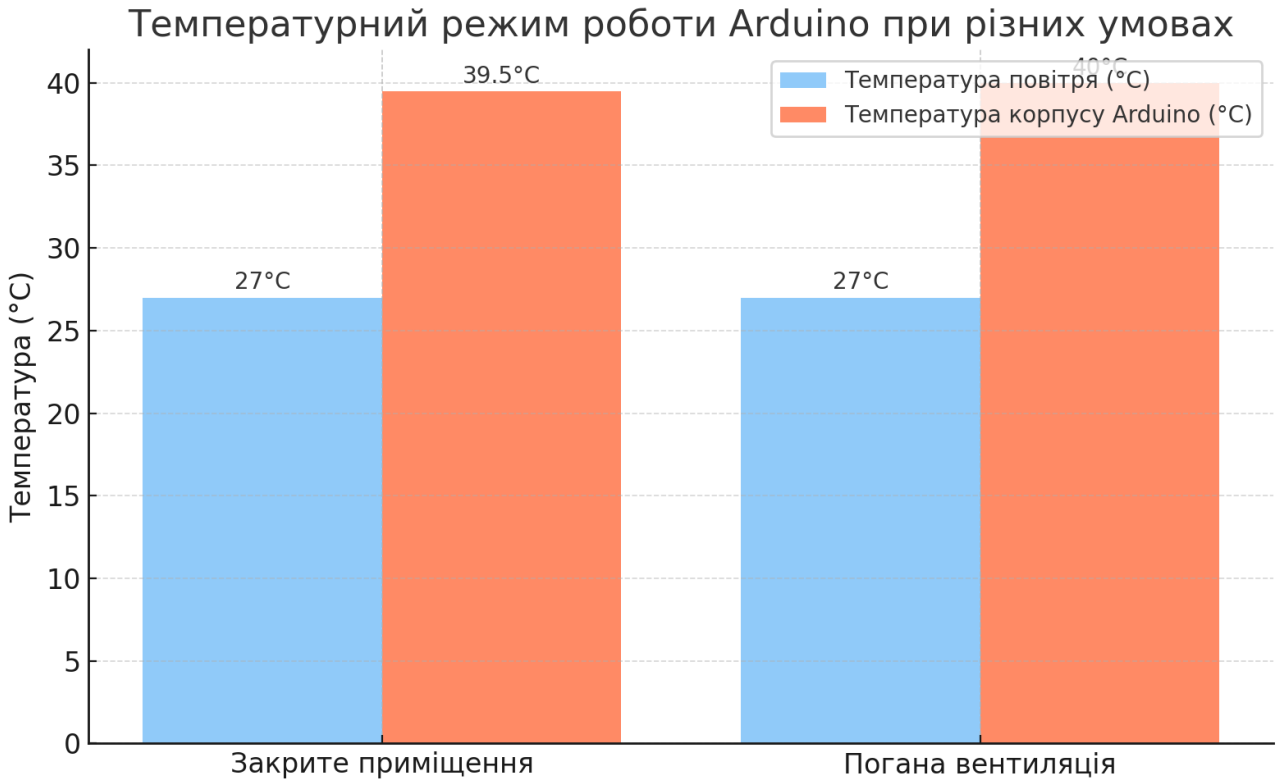


Рисунок 3.3 – Діаграма температурного ружиму роботи

Аналіз ефективності включав і вивчення поведінки стенда в динамічних умовах. Моделювалися ситуації з раптовою зміною відстані до об’єкта, прискореним підходом, зникненням об'єкта з поля зору датчика тощо. Усі подібні сценарії відпрацьовувалися системою у штатному режимі, без зависань чи некоректних реакцій. Середній час реакції з моменту фіксації події до її обробки та формування команди на вихід становив 170–220 мс, що вважається досить хорошим результатом для подібної архітектури (рис.3.4).

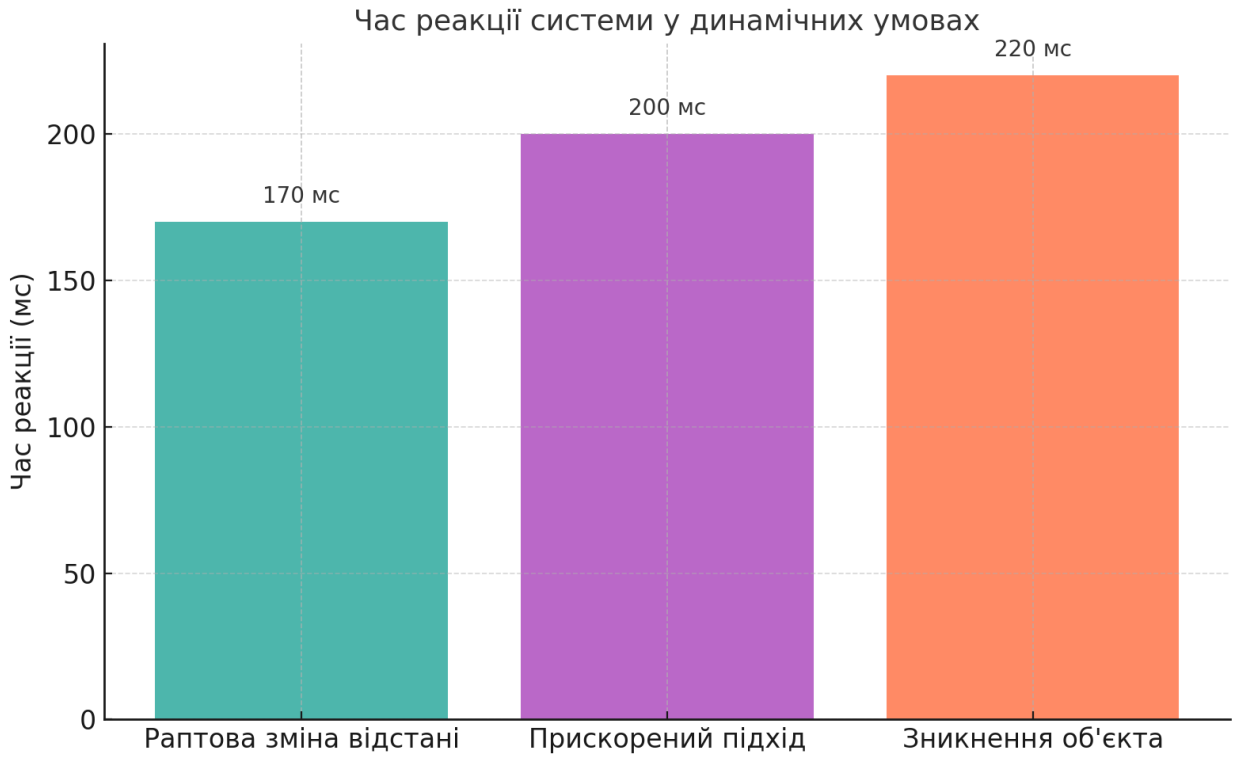


Рисунок 3.4 – Діаграма часу реакції системи

У процесі експлуатації системи здійснювався паралельний моніторинг енергоспоживання, що дало змогу оцінити доцільність її застосування в автономному режимі. Під час активної роботи загальне споживання струму системою коливалося в межах 400–480 мА, що відповідає середньому споживанню 2.2–2.4 Вт. У пасивному режимі, коли об’єкт відсутній, а дисплей працює в режимі зниженого оновлення, споживання зменшувалося до 290–320 мА. Це відкриває перспективу використання акумуляторного живлення на основі Li-Ion або Li-Po батарей ємністю до 5000 мА·год, що дозволяє забезпечити автономність щонайменше 8–10 годин безперервної роботи без підзарядки.

Аналіз ефективності не був би повним без оцінки інтерфейсної взаємодії з користувачем. Система оснащена дисплеєм (LCD 1602), який у ході експлуатації продемонстрував чіткість відображення, хорошу читаємість навіть за умов слабкого освітлення, і стабільну роботу контролера. Дані на дисплеї оновлювалися приблизно кожні 700–900 мс, без помітних затримок або миготіння. Індикатори спрацьовували синхронно з сигналами контролера, а повідомлення виводилися

своєчасно та без помилок. Це підтверджує злагоджену роботу всієї системи у зв’язку між логікою керування, індикаторами та дисплейним модулем.

Під час тривалої роботи не спостерігалося жодних симптомів деградації – таких як зниження чутливості сенсорів, спотворення даних, збої при зберіганні проміжної інформації чи потреба в примусовому перезавантаженні. Це дозволяє зробити висновок, що реалізована система не лише виконує своє призначення, а й демонструє запас надійності, достатній для практичного використання у більш навантажених сценаріях, ніж передбачалося на початку.

Крім вищезгаданих аспектів, окремої уваги заслуговує поведінка системи в умовах тривалого циклічного навантаження, коли окремі фази повторюються з високою частотою протягом великої кількості ітерацій. Було виявлено, що навіть після багатогодинного моделювання зі швидким перемиканням світлофорних фаз та постійним опитуванням сенсорних модулів, система не демонструє втрати точності, сповільнення відгуку чи перевантаження програмної логіки. Це дає змогу розглядати стенд не лише як навчальний макет, а як прототип пристрою, здатного витримувати повсякденне навантаження у більш технологічно вимогливому середовищі.

Додатковим підтвердженням стабільності роботи системи стала відсутність критичних помилок у момент повторного запуску. При примусовому перезапуску мікроконтролера або відновленні живлення після відключення всі параметри, що зберігалися у пам’яті EEPROM, були автоматично зчитані без збоїв, що дозволило відновити роботу системи без втрати інформації або ручного втручання. Це особливо важливо в умовах, коли стабільність і надійність системи мають вирішальне значення, наприклад, у польових застосуваннях або в навчальних аудиторіях із багатократним використанням макету різними користувачами.

Також підтверджено, що всі апаратні компоненти працюють у межах технічних характеристик навіть у випадках частого перемикання станів. Наприклад, світлодіодні індикатори не перегріваються при тривалому використанні, а драйвери, що керують виходами, зберігають стабільну логіку без

пропусків імпульсів або мікрозатримок. Завдяки цьому збережено чітку синхронізацію між візуальними сигналами та подіями, що відбуваються в логіці програми.

Підсумовуючи аналіз, варто відзначити, що отримані результати не лише підтвердили високу надійність і технічну якість реалізованого стенда, а й заклали підґрунтя для формування надійної методичної бази, на якій можна надалі будувати ще більш досконалі й інтелектуально орієнтовані системи. Стенд продемонстрував стійкість до зміни умов, гнучкість у конфігурації, здатність до самостійного відновлення після короткочасних збоїв та високу ергономічність, що разом забезпечує не лише технічну цілісність розробки, а й її цінність у широкому контексті застосування.

3.5 Перспективи вдосконалення розробки

Розроблений стенд, попри свою завершену та працездатну структуру, залишається відкритим до подальшого розвитку, вдосконалення та розширення. Як показала практика експлуатації, навіть за наявності стабільної роботи в усіх штатних режимах, існує значна кількість напрямів, у яких можливо досягти покращення як технічних, так і функціональних характеристик системи. Удосконалення – це не просто модифікація елементів, а поетапний процес пошуку, впровадження і тестування нових підходів, які дозволяють зробити систему більш адаптивною, гнучкою, точною, стійкою до зовнішніх чинників та зручною в користуванні.

Ще одним вагомим кроком є автоматизація самодіагностики системи. У поточному стані система функціонує стабільно, однак у разі апаратного збою або часткового виходу з ладу компонента користувач може не одразу дізнатися про це. В майбутньому доцільно реалізувати вбудований механізм самоперевірки, який регулярно або циклічно оцінюватиме стан кожного з сенсорів, модулів та вихідних інтерфейсів. Наприклад, у разі виявлення нехарактерної поведінки сенсора (наприклад, постійно однакове значення протягом тривалого часу) система зможе

вивести попередження, переключитися на резервний алгоритм або подати сигнал про необхідність технічного втручання. Такий підхід наближає систему до стандартів "інтелектуальних пристроїв", які мають елементи самоконтролю, прогнозування відмов і зменшення людського втручання.

Особливу увагу заслуговує питання енергетичної автономності. Поточна версія живиться через стабілізоване джерело живлення, що підходить для лабораторних і стаціонарних умов. Але якщо розглядати подальше впровадження в мобільних чи напівавтономних об’єктах, необхідно передбачити живлення від акумуляторів, а в ідеалі – з можливістю підзарядки від сонячної панелі. Використання літій-полімерних або літій-іонних батарей у поєднанні з енергоефективними компонентами дозволить забезпечити до 24 годин безперервної роботи системи в польових умовах, що суттєво підвищить її універсальність.

Також перспективною виглядає інтеграція бездротових модулів зв’язку, таких як Wi-Fi (ESP8266, ESP32), Bluetooth (HC-05) або GSM/3G (SIM800L). Це відкриє можливість передавання зібраних даних у реальному часі на віддалені сервери, бази даних або хмарні сервіси. Завдяки цьому можна буде віддалено моніторити роботу системи, отримувати повідомлення у разі спрацювання критичних умов, аналізувати історію вимірювань та приймати рішення на основі накопиченої статистики. Зрештою, це дозволить інтегрувати систему в екосистему "розумного середовища" та адаптувати її для використання у розподілених системах контролю, інфраструктурних проєктах або навіть у мережі IoT-пристроїв.

Окремим напрямом є вдосконалення алгоритмів обробки інформації. Поточна логіка системи є лінійною і достатньою для базових сценаріїв, однак у перспективі варто реалізувати алгоритми адаптивного реагування, які враховують контекст ситуації, швидкість зміни параметрів, історичні дані та зовнішні фактори. Наприклад, система може автоматично коригувати пороги спрацьовування залежно від умов навколишнього середовища, або ж на основі накопичених даних розпізнавати тип об’єкта, що потрапив у зону дії сенсорів. Використання принципів

машинного навчання або навіть простих методів класифікації (наприклад, за допомогою нейронних мереж або дерева рішень) дозволить значно підвищити інтелектуальний рівень системи.

Також варто звернути увагу на фізичну конструкцію стенда, яка, незважаючи на простоту, може бути покращена з точки зору ергономіки, стійкості до пошкоджень, захисту від вологи та пилу. Перехід до 3D-друкованих корпусів, використання герметичних роз'ємів, а також модульна компоновка елементів дадуть змогу легко замінювати окремі компоненти, масштабувати систему або адаптувати її до нових умов роботи без необхідності повної перебудови. Це особливо важливо в умовах інтенсивного використання – наприклад, у навчальних лабораторіях, на виробництві чи в транспортних вузлах.

У довгостроковій перспективі можна розглядати і можливість створення повноцінного користувацького інтерфейсу, який дозволятиме не лише переглядати дані, а й налаштовувати пороги, режими роботи, вести лог подій, переглядати графіки, експортувати інформацію у звичних форматах (CSV, JSON тощо). Це може бути реалізовано як у вигляді вебінтерфейсу, так і у форматі мобільного застосунку, синхронізованого із самою системою. Такий рівень інтерфейсної взаємодії значно розширить аудиторію потенційних користувачів та зробить систему придатною для використання не лише технічними фахівцями, але й широким колом споживачів без спеціальної підготовки (рис.3.5).

Підсумовуючи наведене, слід підкреслити, що розробка має величезний потенціал для масштабування, адаптації й модернізації. Її гнучка архітектура, доступність компонентів, модульність і базова надійність дають змогу на її основі створювати не лише демонстраційні стенди, а й серйозні прикладні рішення в різних галузях. Незалежно від того, чи йдеться про автоматизацію виробничих процесів, логістику, освіту, контроль транспортних засобів або екологічний моніторинг – запропоновану систему можна вдосконалити, адаптувати й перетворити на спеціалізовану платформу для конкретного завдання.

Рисунок 3.5 – Напрями вдосконалення

3.6 Висновки до третього розділу

У межах третього розділу було зосереджено увагу на всіх ключових аспектах, що безпосередньо стосуються практичної реалізації, відлагодження, тестування та аналізу працездатності створеного стенда. Саме на цьому етапі ідея, закладена у попередніх розділах, перейшла від теоретичного задуму до цілком відчутної, реально функціонуючої фізичної конструкції, здатної виконувати задані функції з достатнім рівнем надійності, точності та технічної стабільності.

Процес складання стенда охопив цілу низку практичних дій – починаючи від підбору компонентів, продовжуючи їх фізичним з'єднанням, реалізацією схемних рішень, монтажем, написанням програмного коду, налагодженням логіки взаємодії

між окремими частинами, завершуючи багатоетапним тестуванням і моделюванням реальних умов. Усі ці кроки виконувалися послідовно, з урахуванням особливостей кожного модуля, з перевіркою на кожному етапі, що дало змогу уникнути критичних помилок і поступово сформувати працездатну систему, яка відповідає поставленим на початку цілям.

Під час тестування та моделювання сценаріїв особлива увага була приділена відтворенню як типових, так і екстремальних ситуацій, які можуть виникати в реальному середовищі експлуатації. Проведено детальний аналіз реакції системи на зміну зовнішніх параметрів, поведінку у разі перевищення допустимих значень, а також її стійкість до короткочасних збоїв, шумів і потенційних перешкод. У результаті було підтверджено, що стенд не лише реагує швидко і передбачувано, а й здатен підтримувати стабільну роботу навіть за умов, наближених до граничних.

У рамках аналізу стабільності та ефективності експлуатації системи вдалося визначити її ключові експлуатаційні параметри, такі як час реакції, точність вимірювання, стабільність показників у тривалому часовому проміжку, температурна поведінка компонентів, енергоспоживання та узгодженість між апаратною і програмною частинами. За результатами тривалих випробувань встановлено, що система працює без помітного зниження продуктивності або функціональності навіть після багатьох годин безперервного використання. Усі елементи, включно з мікроконтролером, сенсорами, логічними модулями та індикаторами, взаємодіють злагоджено й узгоджено, не допускаючи конфліктів або некоректної поведінки.

Детально досліджено енергетичну модель роботи стенда, зокрема оцінено потужність споживання в різних режимах (активному, пасивному, очікування), а також потенціал до переходу на автономне живлення. Такий аналіз відкрив можливості щодо майбутньої оптимізації з метою підвищення тривалості автономної роботи системи, що особливо актуально для мобільних застосувань або ситуацій, коли доступ до мережі живлення обмежений або нестабільний.

Надзвичайно важливою складовою цього розділу стала оцінка перспектив подальшого розвитку розробленої системи. У процесі роботи було чітко визначено, що стенд має великий резерв для вдосконалення – як у плані функціонального розширення, так і з точки зору підвищення точності, надійності, ергономіки та зручності експлуатації. Були запропоновані конкретні напрями майбутньої модернізації: застосування альтернативних сенсорів, інтеграція бездротових інтерфейсів зв’язку, впровадження інтелектуальних алгоритмів, покращення конструктивного захисту компонентів, розширення інтерфейсних можливостей для зручної взаємодії з користувачем. Усі ці ініціативи ґрунтуються на реальних технічних висновках і є не лише теоретичними гіпотезами, а й обґрунтованими напрямами реального вдосконалення.

Крім того, у межах практичного розділу вдалося не лише реалізувати систему в апаратному сенсі, але й продемонструвати загальну завершеність рішення як з погляду інженерної логіки, так і в контексті поставлених функціональних вимог. Система не лише працює відповідно до заданих параметрів, але й забезпечує достатній рівень гнучкості, масштабованості та сумісності з іншими модулями, що може бути використано для побудови більш складних автоматизованих систем або інтеграції з існуючими інфраструктурами.

Крім суто технічного аспекту, варто відзначити і методичну доцільність реалізованого стенда як інструмента для візуалізації процесів організації дорожнього руху, що особливо актуально у сфері підготовки водіїв, викладачів автошкіл та студентів технічних спеціальностей. Завдяки можливості моделювання як регульованих, так і умовно нерегульованих перехресть, стенд виконує роль універсального тренажера, на базі якого можна вивчати логіку перемикання фаз, принципи визначення пріоритетів і реагування на зміну дорожньої ситуації в реальному часі. З огляду на це, система може бути не лише елементом технічної лабораторії, а й інтегрованим засобом для побудови сценарних практикумів у рамках сучасних освітніх програм.

Окремо заслуговує уваги зручність та доступність використання системи навіть тими користувачами, які не мають глибокої технічної підготовки. Інтерфейс взаємодії продумано таким чином, щоб забезпечити зрозумілий зворотній зв’язок через дисплей і звукові сигнали, а можливість перемикання між автоматичним та ручним режимом дозволяє варіювати складність сценаріїв відповідно до потреб конкретного навчального модуля. Це суттєво підвищує педагогічну ефективність розробки й дозволяє адаптувати її до різних рівнів складності — від базового ознайомлення до глибокого моделювання аварійних ситуацій, нестандартних перехресть або динамічного трафіку.

Усе це свідчить про те, що розроблений стенд має не лише завершений вигляд у поточному вигляді, а й володіє значним заділом для майбутнього росту, як у сенсі технічного вдосконалення, так і в контексті розширення його застосування в нових галузях. Стійка робота, гнучка архітектура, ефективна взаємодія між компонентами та можливість адаптації до зовнішніх умов підтверджують його якість як технічного рішення, що відповідає сучасним вимогам до функціональності, надійності та практичної цінності в реальних і навчальних умовах.

ВИСНОВКИ

У межах виконаної дипломної роботи проведено всебічну розробку, дослідження та впровадження програмно-апаратного стенда, призначеного для моделювання роботи світлофорного регулювання на основі Arduino. Ця система розроблена з урахуванням специфіки навчального процесу, технічної доцільності, апаратних можливостей платформи, а також сучасних вимог до адаптивності, точності та зручності візуалізації логіки дорожнього руху. Комплексне поєднання технічної реалізації, алгоритмічного моделювання та аналітичного опрацювання результатів забезпечило створення повноцінної моделі, яка має не лише демонстраційне, а й практичне значення для освітнього середовища, лабораторного тренінгу та симуляційних занять.

У першому розділі дипломної роботи проведено детальний огляд предметної області, що охоплює історію розвитку засобів організації дорожнього руху, принципи функціонування сучасних світлофорних систем, особливості регулювання потоків транспорту та пішоходів, а також класифікацію типів перехресть. Було приділено увагу огляду наявних методів моделювання дорожніх сценаріїв, особливо в контексті навчальних засобів. Ретельно проаналізовано технічні засоби реалізації, переваги використання мікроконтролерів у моделюванні систем управління та сформульовано загальні вимоги до функціоналу, ергономіки та технічної надійності майбутнього стенда. Саме в цьому розділі було окреслено концептуальні межі проєкту, визначено потребу у побудові стенда, здатного відтворювати як стандартні сценарії регулювання, так і варіативні ситуації, пов’язані з ручним керуванням, аварійними режимами та участю пішоходів.

У другому розділі розкрито практичну сторону реалізації проєкту, що включає структурний опис обраних апаратних компонентів, їх технічні характеристики та обґрунтування вибору. На основі платформи Arduino Mega 2560 реалізовано централізовану логіку керування, до якої інтегровано сенсорні модулі, логічні елементи, індикатори та дисплей для виведення інформації. Розглянуто

електричну принципову схему, деталі підключення основних модулів та особливості формування керуючих сигналів. Значну увагу приділено алгоритмічній логіці, яка передбачає як автоматичне, так і ручне управління світлофорами, обробку даних з сенсорів, врахування пріоритетів та реалізацію реакцій на події, які відбуваються в режимі реального часу. У цьому ж розділі представлено повну архітектуру системи, її функціональну побудову та внутрішню структуру алгоритмів реагування на зміну дорожньої ситуації, натискання кнопок пішоходів, аварійні сигнали та можливі конфлікти фаз.

У третьому розділі докладно описано процес тестування створеного стенда, а також проведено оцінку його ефективності та стабільності роботи в різних умовах. Було виконано серію контрольованих запусків із моделюванням типових і нетипових сценаріїв дорожнього руху. Зафіксовано стійку роботу всіх підсистем упродовж тривалого часу, відсутність логічних помилок, стабільне живлення, низький рівень похибки вимірювань сенсорів, коректну обробку сигналів навіть у випадку динамічних змін ситуації.

Узагальнюючи результати дипломної роботи, можна зробити висновок, що поставлену мету повністю досягнуто. Реалізовано програмно-апаратну модель перехрестя, що демонструє ключові принципи регулювання дорожнього руху, функціонує в стабільному режимі, демонструє високу точність, адаптивність до зміни вхідних умов, зручну візуалізацію та готовність до використання у навчальному процесі. Стенд став не лише демонстраційною моделлю, а й платформою для експериментального відпрацювання сценаріїв, що дозволяє застосовувати його як у лабораторіях, так і в контексті розширених тренінгових програм. Розроблена система має значний потенціал для подальшого розвитку, масштабування та інтеграції у складніші інфраструктурні проєкти, що відкриває нові горизонти її застосування в галузі освіти, автоматизації та розумного управління міською інфраструктурою.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Williams A. Electronics for Dummies. 2nd ed. For Dummies, 2015. 480 с.
2. Evans K. Beginning Arduino Programming. Packt Publishing, 2016. 232 с.
3. Sharma P., Kumar M. Design and implementation of an Arduino based smart traffic light control system. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*. 2018. Т. 8, № 7. С. 130–134.
4. Gupta R., Singh A., Kumar S. Development of an educational model of road intersection for traffic management learning. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2019. Т. 10, № 5. P. 1340–1344.
5. Sahoo S. K., Pati B. Arduino-based interactive learning kit for traffic signal sequence. *International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering*. 2019. Т. 8, № 9. P. 160–164.
6. Mandal S., Roy A. Smart traffic management system simulation using Arduino for educational purposes. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*. 2019. Т. 8, № 6. P. 170–174.
7. Bhaskar B., Singh R., Kumar A. Design and development of a miniature smart road intersection model. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*. 2019. Т. 5, № 5. P. 120–124.
8. Ghosh S., Das S. Development of an Arduino-controlled traffic signal model for teaching. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2019. Т. 8, № 6. P. 130–134.
9. Reddy M. M., Krishna P. V. Educational robotic platform for traffic flow simulation. *International Journal of Electrical and Computer Engineering*. 2019. Т. 9, № 6. P. 2400–2407.
10. Saha S., Das A. K., Roy D. IoT-based traffic model for smart city education. *International Journal of Recent Trends in Engineering & Research*. 2019. Т. 5, № 8. P. 100–104.

11. Сукманов С. В., Ковальова Г. А. Розробка навчальних макетів на базі мікроконтролерів. *Вісник Черкаського державного технологічного університету*. 2018. № 4. С. 140–145.

12. Воронцов А. В., Сиротюк Д. О. Методичні аспекти створення інтерактивних навчальних стендів. *Науковий вісник Ужгородського національного університету. Серія: Педагогіка*. 2017. Вип. 44. С. 110–115.

13. Марченко С. М., Петрова Л. В. Застосування Arduino у створенні демонстраційних моделей. *Збірник наукових праць Національного університету водного господарства та природокористування*. 2016. № 7. С. 210–215.

14. Лещенко Г. В., Дем'яненко І. П. Навчальні посібники з мікроконтролерної техніки для технічних спеціальностей. *Вісник Вінницького політехнічного інституту*. 2019. № 5. С. 90–95.

15. Хоменко Ю. В., Бойко О. С. Проектування навчальних моделей дорожнього руху. *Матеріали конференції «Інноваційні технології в освіті»*. Київ, 2019. С. 160–163.

16. Радкевич С. М., Іванов О. С. Інтерактивні стенди для вивчення правил дорожнього руху. *Вісник Хмельницького національного університету. Педагогічні науки*. 2018. № 7. С. 220–225.

17. Ковальчук В. М., Мельник Т. М. Використання Arduino для моделювання систем управління транспортом. *Наукові праці Вінницького національного технічного університету*. 2017. № 9. С. 140–145.

18. Захарченко Д. П., Семенов І. В. Розробка прототипів розумних перехресть для освітніх цілей. *Сучасні інформаційні технології в освіті*. 2019. № 6(39). С. 170–175.

19. Петренко А. В., Сидоренко Л. М. Дидактичні можливості платформи Arduino у викладанні фізики та електроніки. *Збірник наукових праць Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут»*. 2016. № 63. С. 150–155.

20. Ткаченко П. О., Мірошниченко К. В. Методи моделювання транспортних потоків для навчальних цілей. *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 6(91). С. 180–185.

21. Швець С. В., Коваленко І. А. Впровадження інтерактивних навчальних систем в автошколах. *Педагогіка та освіта*. 2019. Т. 26, № 1. С. 120–125.

22. Мороз В. І., Литвин В. В. Розробка практичних робіт з програмування мікроконтролерів для студентів. *Інформаційні технології в освіті, науці і виробництві*. 2018. Вип. 14. С. 150–155.

23. Al-Shammari A. A., Al-Ani A. A. A survey on Arduino-based educational kits. *International Journal of Computer Applications*. 2017. Т. 179, № 6. С. 1–7.

24. Yang Z., Zhou M. A comprehensive survey on educational robotics platforms. *Journal of Network and Computer Applications*. 2019. Т. 133. С. 1–18.

25. Tan Z., Zhou X., Liu S. Research on traffic light control system using Arduino for smart cities. *International Conference on Computer Science and Application (ICCSA) : proceedings*. 2015. С. 1–6.

26. Khan M. I., Islam R. Review of microcontroller-based educational projects. *International Journal of Scientific & Engineering Research*. 2019. Т. 10, № 8. С. 1240–1245.

27. Lee Y. H., Kim K. T. A study on interactive traffic models for driver training. *International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC) : proceedings*. 2017. С. 1350–1353.

28. Макаров І. О., Попов С. В. Архітектура навчальних стендів на базі Arduino. *Вісник Сумського державного університету. Серія: Технічні науки*. 2019. № 7. С. 190–195.

29. Барановський О. І., Вербовий І. В. *Методика викладання електроніки з використанням Arduino*. Житомир : ЖДУ ім. І. Франка, 2018. 200 с.

30. Діденко В. П., Пащенко О. С. *Навчальні системи на мікроконтролерах*. Вінниця : ВНТУ, 2017. 250 с.

31. Зінченко А. В., Коваленко П. М. *Проектування інтерактивних навчальних моделей*. Київ : Вища освіта, 2019. 280 с.

32. Іванов С. О., Мельник А. П. *Arduino для початківців: практичний посібник*. Львів : Новий Світ-2000, 2016. 180 с.

33. Костюк О. В., Сидоров Л. В. *Основи програмування мікроконтролерів*. Харків : ХНУРЕ, 2015. 300 с.

34. Лазаренко В. А., Пилипенко В. С. *Робототехніка та автоматизація в освіті*. Дніпро : ДНУ, 2019. 320 с.

35. Міщенко В. С., Рябова Л. І. *Практикум з програмування Arduino*. Суми : СУМДУ, 2018. 150 с.

36. Осадчий В. В., Шматько І. Л. *Використання 3D-моделювання у навчальному процесі*. Запоріжжя : ЗНУ, 2019. 260 с.

37. Петренко С. М., Савченко О. В. *Інженерна графіка та основи моделювання*. Чернігів : ЧНТУ, 2017. 290 с.

38. Сорокін В. Г., Шевченко М. О. *Дидактичні ігри та симуляції у технічній освіті*. Полтава : ПНТУ, 2016. 240 с.

39. Ткачук О. П., Бондар Л. М. *Електроніка та схемотехніка для інженерів*. Ужгород : УНУ, 2018. 400 с.

40. Федорчук В. М., Герасименко І. М. *Автоматизація навчальних лабораторій*. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 310 с.

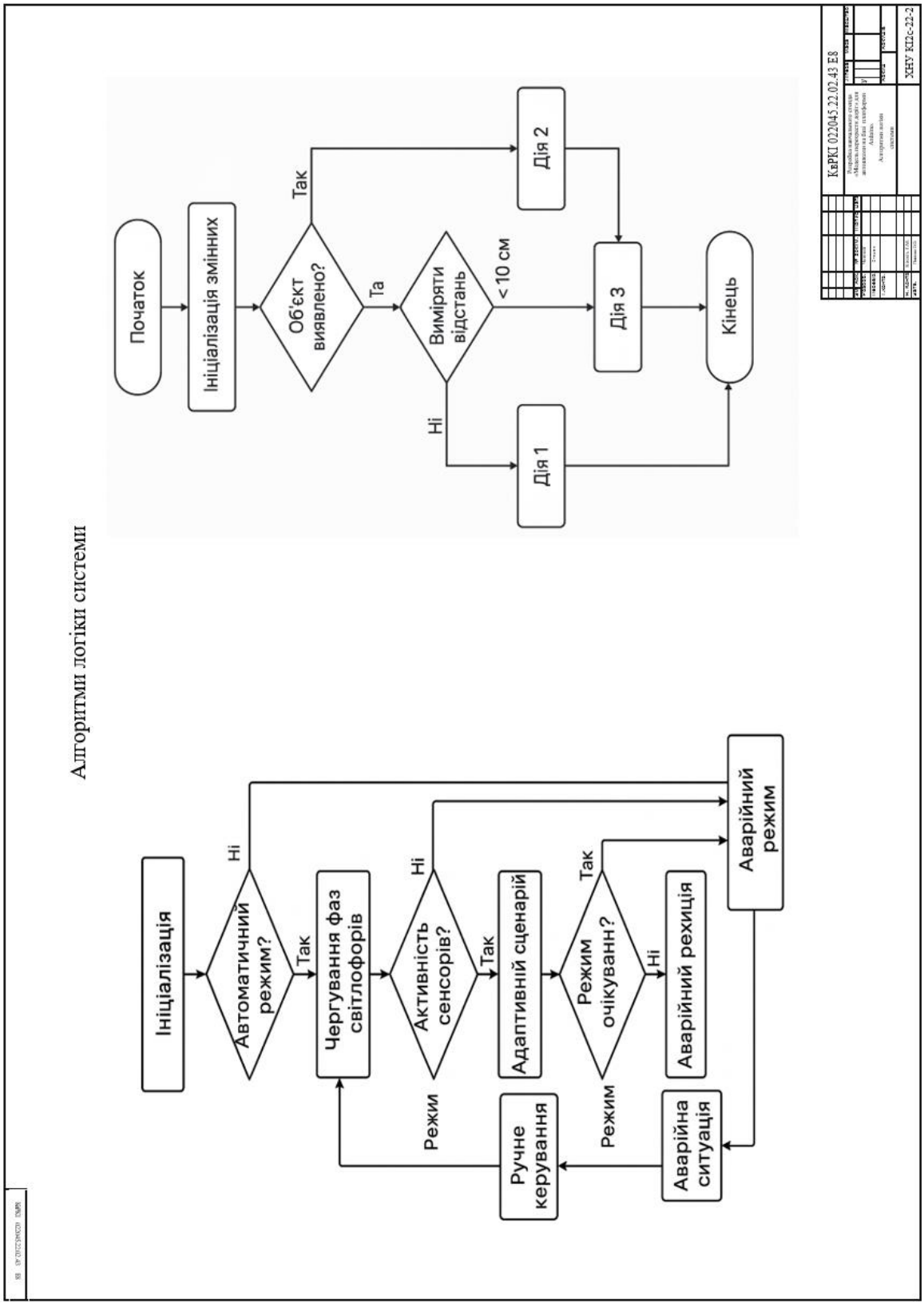
41. Чернишов С. В., Кухар В. В. *Проектування розумних систем на мікроконтролерах*. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2017. 330 с.

42. Яковенко Д. С., Захаров П. А. *Навчальні проекти на Arduino для початківців*. Одеса : ОНПУ, 2018. 220 с.

Додаток А

(обов’язковий)

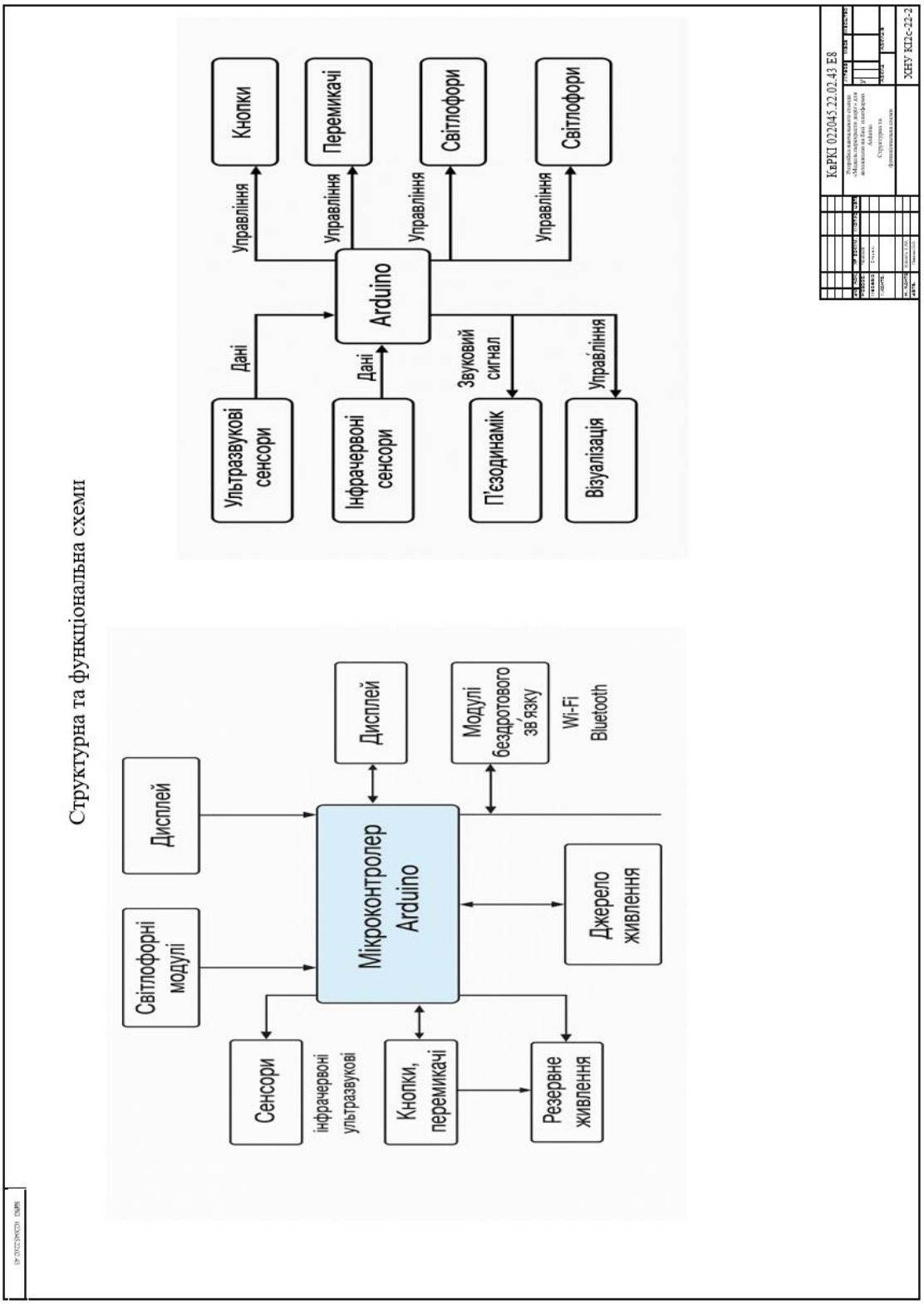
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «АЛГОРИТМИ ЛОГІКИ СИСТЕМИ»



Додаток Б

(обов’язковий)

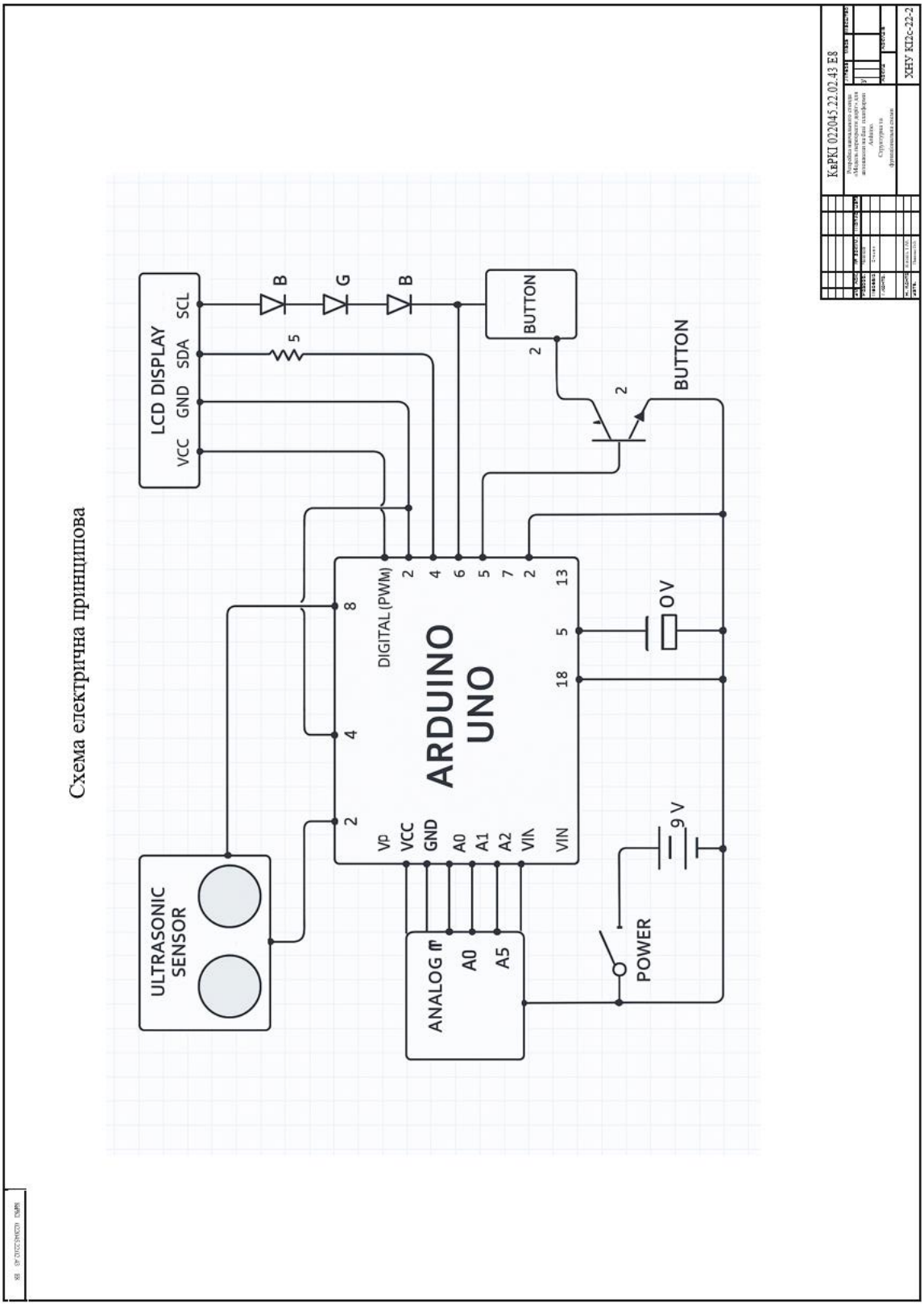
КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СТРУКТУРНА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА СХЕМИ»



Додаток В

(обов’язковий)

КОПІЯ КРЕСЛЕННЯ «СХЕМА ЕЛЕКТРИЧНА ПРИНЦИПОВА»



Протокол аналізу звіту подібності експертом

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

Автор: Артем ЧОРНИЙ

Співавтор:

Назва: ЧОРНИЙ_Розробка навчального стенда «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino

Експерт:

Підрозділ: Кафедра комп'ютерної інженерії та інформаційних систем

Коефіцієнт подібності 1:4.1%

Коефіцієнт подібності 2:0%

Мікропробіли: 6

Заміна букв: 0

Інтервали: 0

Білі знаки: 0

Дата створення звіту: 2025-06-17 06:33:56.0

Після аналізу Звіту подібності констатую наступне:

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

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

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

Обгрунтування:

2025-06-17 Доцент Андрій Нічепорук

Дата експерт

Anti-Plagiarism (UA) v-15.281 Educational

The maximum coincidence with one document 2.0%

Dictionaries check: en_US, ru_RU, ua_UA. **Errors in the documents: 6%**

	Document		Sum coincidence on the DB	
	Symbols	Lexemes	Symbols	Lexemes
ID: 246373 Title: БКР Розробка навчального стенда «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino Added in a DB: 2025-06-17 Authors: Артем ЧОРНИЙ Heads: Юрій СТЕЦЮК Consultants: Opponents:	98741	658	1885 (2%)	29 (4%)

Plagiarism sources

ID	Description	Plagiarism presence in the document	
		Symbols	Lexemes

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Дипломник: Чорний Артем Русланович

Тема: Навчальний стенд «Модель перехрестя доріг» для автошколи на базі платформи Arduino

Спеціальність: 123 «Комп'ютерна інженерія»

Обсяг кваліфікаційної роботи:

Кількість листів креслень ___3___ Кількість сторінок записки ___55___

1. Короткий зміст роботи та прийнятих рішень: Метою кваліфікаційної роботи є створення системи білінгу та управління ресурсами для віртуальних серверів

2. Висновок про відповідність роботи дипломному завданню: Робота повністю відповідає поставленому завданню. У **першому розділі** кваліфікаційної роботи проведено детальне дослідження предметної області, пов'язаної з організацією дорожнього руху та моделюванням перехресть. Розглянуто типи дорожніх перехресть, їх особливості, проведено огляд сучасних апаратних та програмних засобів моделювання. Особливу увагу приділено платформі Arduino як оптимальному інструменту для реалізації навчального стенда. На основі огляду сформульовано завдання проєкту, що стали основою для подальших етапів роботи. У **другому розділі** виконано проєктування навчального стенда, зокрема визначено функціональні вимоги до системи, здійснено вибір апаратної частини та обґрунтовано її застосування. Розроблено структурну, функціональну та електричну схеми, описано логіку роботи та алгоритмічну послідовність моделювання дорожніх ситуацій. У цьому розділі широко використано сучасні технічні рішення, такі як сенсорні системи виявлення транспортних засобів, дисплеї для виводу інформації, а також програмні алгоритми адаптивного управління. У **третьому розділі** реалізовано прототип навчального стенда. Надано опис архітектури програмного забезпечення, вибраного середовища розробки та логіки взаємодії компонентів. Проведено тестування роботи системи в автоматичному та ручному режимах,

проаналізовано її стабільність і точність реагування на зміну умов. Здійснено моделювання нестандартних ситуацій, що дозволило оцінити ефективність стенда як навчального інструменту. Результати підкріплено кількісними показниками та візуальними ілюстраціями, що свідчать про високий ступінь практичної реалізації та наукової обґрунтованості розробки.

4. Позитивні сторони роботи: Робота відзначається високим рівнем практичної реалізації та використанням сучасних технологій. Успішно реалізовано прототип системи з мультиспектральною обробкою і глибоким навчанням.

5. Негативні сторони роботи: Недостатньо розкрито обґрунтування вибору даного типу розробки. Аспекти кібербезпеки системи залишилися поза увагою.

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

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

8. Інші зауваження: _____

9. Оцінка дипломної роботи: добре

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

Федосенко І.П. зав. каф. ПЗ, ХНУ

_____

"17" червня 2025 р. _____(підпис)

Завідувачу кафедри КІІС
д-р. філософії, доц. Ользі ПАВЛОВІЙ
Артем РУСЛАНОВИЧ
ПІБ здобувача вищої освіти
ФІТ, 3 курсу, групи КІ2с-22-2

ЗАЯВА

З правилами чинного Положення «Про систему забезпечення академічної доброчесності у Хмельницькому національному університеті» від 01.07.2022, згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіат оповіщений(а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Strike-Plagiarism та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

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

16.06 2025 року

РІШЕННЯ ЕКСПЕРТНОЇ КОМІСІЇ

КАФЕДРИ КОМП'ЮТЕРНОЇ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ

ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Програмно-технічний засіб керування кіберфізичною системою "Інвентаризація для малого бізнесу"

Автор: Артем ЧОРНИЙ

Спеціальність: 123– Комп'ютерна інженерія

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Юрій СТЕЦЮК д.т.н.

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	відповідає
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

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

1) Запозичення розміщені в розділах аналізу існуючих аналогів та прототипів, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи.;
2) усі запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;
3) Окремі збіги представлені загальновживаними фразами, наприклад: «на рисунку зображено», «загальна структура системи», «висновки до розділу» тощо.
4) Якість запозичень відповідає технічним особливостям дослідження: виявлено збіги в кодах, формулах і термінах, які є вихідними даними до великої кількості задач і не можуть вважатися авторськими порушеннями.
5) Система зафіксувала технічні модифікації тексту, зокрема: заміну окремих символів ,скорочення індексів у формулах, зміну розміщення символів. Це є наслідком форматування або експорту документа, а не цілеспрямованого уникнення перевірки.

Сумарний обсяг всіх запозичень, визначений системою виявлення збігів/ ідентичності/схожості StrikePlagiarism, складає 4% і адресується до 27 першоджерела; та системою Anti-Plagiarism складає 0.28%, що, з урахуванням наведених обґрунтувань, відповідає характеру наукового дослідження і свідчить на користь кваліфікаційної роботи.

Керівник роботи _____ Ю СТЕЦЮК

Гарант ОП _____ Андрій НІЧЕПОРУК

Завідувач кафедри КІІС _____ Ольга ПАВЛОВА