

# КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям  
на основі аналізу відеопотоків

Виконав: студент IV курсу, групи СІ-41

спеціальності 123 «Комп'ютерна інженерія»

(шифр і назва спеціальності)

Адам'як Р.А.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Ясній О.П.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Луцик Н.С.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Осухівська Г.М.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Петрик М.Р.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України  
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії  
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерних систем та мереж  
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Осухівська Г.М.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

«25» квітня 2026 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня бакалавр  
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

студенту Адам'яку Роману Андрійовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків

Керівник роботи Ясній Олег Петрович, д.т.н., професор  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «24» квітня 2026 року № 4.9-188

2. Термін подання студентом завершеної роботи 19.06.2026 р.

3. Вихідні дані до роботи Характеристики систем керування перехрестями, мікроконтролер STM32, IP-камера, модель YOLOv5 для розпізнавання транспортних засобів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз особливостей та вимог до систем керування потоками на транспортних перехрестях. 2. Проектування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків 3. Алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям. 4. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

Висновки

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

1. Архітектура систем при централізованому та децентралізованому керуванні транспортними перехрестями.

2. Архітектурні рівні при децентралізованому керуванні транспортним перехрестям.

3. Архітектура комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків

4. Алгоритм функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Сенчишин В.С., к.т.н., доц., каф. МТ</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	<i>Розробка технічного завдання</i>	<i>26.01 – 02.02</i>	
2.	<i>Робота над першим розділом «Аналіз особливостей та вимог до систем керування потоками на транспортних перехрестях»</i>	<i>03.02 – 15.02</i>	
3.	<i>Робота над другим розділом «Проектування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків»</i>	<i>20.04 – 25.04</i>	
4.	<i>Робота над третім розділом «Алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям»</i>	<i>26.04 – 05.05</i>	
5.	<i>Робота над четвертим розділом «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці»</i>	<i>07.05 – 25.05</i>	
6.	<i>Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу</i>	<i>26.05 – 7.06</i>	
7.	<i>Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами</i>	<i>8.06 – 14.06</i>	
8.	<i>Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>15.06 – 21.06</i>	
9.	<i>Захист кваліфікаційної роботи бакалавра</i>	<i>26.06.2026</i>	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

*Адам'як Роман Андрійович*

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

(підпис)

*Ясній Олег Петрович*

\_\_\_\_\_

(прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

Адам'як Р.А. Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків: робота на здобуття ступеня бакалавра: спец. 123 – комп'ютерна інженерія. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя. 2026.

Ключові слова: комп'ютерна система, керування, перехрестя, аналіз, відеопотік.

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження принципів побудови комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків. В основі роботи запропонованої комп'ютерної системи лежить використання IP-камер для отримання відеопотоків, обчислювального модуля Raspberry Pi 4 Model B для аналізу зображень і мікроконтролера STM32F103C8T6 Blue Pill для безпосереднього керування світлофорними секціями. Для виявлення транспортних засобів у контрольованих зонах запропоновано застосування попередньо навченої моделі YOLOv5n, яка дає змогу ідентифікувати легкові автомобілі, автобуси, вантажні автомобілі та мотоцикли.

Програмна логіка системи передбачає отримання відеопотоків, попередню обробку кадрів, виділення областей контролю, виявлення транспортних засобів, підрахунок об'єктів на кожному напрямку, визначення пріоритетного транспортного потоку та формування керуючої команди для STM32. У роботі також передбачено резервний і аварійний режими функціонування, що забезпечують безпечне перемикання світлофорних сигналів у разі втрати відеопотоку, помилки команди або порушення зв'язку між модулями.

## ANNOTATION

Adamiak R.A. Computer-Controlled Traffic Intersection Management System Based on Video Stream Analysis: Bachelor's Graduation Thesis: speciality 123 — computer engineering. Ternopil: Ternopil Ivan Puluj National Technical University, 2026.

Keywords: computer system, control, traffic intersection, analysis, video stream.

In the thesis, a comprehensive study of the principles of developing a computer system for traffic intersection control based on video stream analysis was carried out. The operation of the proposed computer system is based on the use of IP cameras for obtaining video streams, a Raspberry Pi 4 Model B computing module for image analysis, and an STM32F103C8T6 Blue Pill microcontroller for direct control of traffic light sections. To detect vehicles in controlled zones, the use of a pre-trained YOLOv5n model is proposed, which makes it possible to identify passenger cars, buses, trucks, and motorcycles.

The software logic of the system involves receiving video streams, preprocessing frames, defining control areas, detecting vehicles, counting objects in each direction, determining the priority traffic flow, and generating a control command for the STM32. The work also provides for backup and emergency operating modes, which ensure safe switching of traffic light signals in the event of video stream loss, command errors, or communication failure between the modules.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	8
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ВИМОГ ДО СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ НА ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ.....	10
1.1 Особливості організації та керування транспортними потоками на перехрестях.....	10
1.2 Аналіз сучасних інтелектуальних систем керування дорожнім рухом .....	15
РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДЕОПОТОКІВ	22
2.1 Формування вимог до комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям .....	22
2.2 Узагальнена архітектура комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям .....	26
2.3 Вибір апаратного забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям.....	30
2.3.1 IP-відеокамери.....	31
2.3.2 Комутатор TP-Link TL-SF1005D.....	33
2.3.3 Обчислювальний вузол Raspberry Pi 4 Model.....	35
2.3.4 Мікроконтролер STM32F103C8T6 Blue Pill .....	36
2.4 Організація зв'язку між Raspberry Pi та STM32 .....	38
2.5 Виконавчий рівень системи керування транспортним перехрестям .....	40
2.5.1 Релейний модуль SRD-05VDC-SL-C.....	40

					КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.	Адам'як Р.А.				Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.	Ясній О.П.					6	
Реценз.	Петрик М.Р.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
Н. Контр.	Луцик Н.С.						
Затверд.	Осухієська Г.М.						
					Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків		

2.5.2	Світлофорні LED-секції 12 В .....	41
2.5.3	Схема підключення STM32 до релейного модуля та світлофорних секцій	42
2.6	Система живлення компонентів комп'ютерної системи керування потоками транспортного перехрестя .....	43
<b>РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМ.....</b>		
<b>46</b>		
3.1	Алгоритм функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям .....	46
3.2	Програмний модуль аналізу відеопотоків .....	50
3.3	Алгоритм прийняття рішень при керуванні фазами світлофорів.....	56
3.4	Програмне забезпечення STM32 для керування світлофорними секціями	60
<b>РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ ....</b>		
<b>66</b>		
4.1	Вимоги до режимів праці і відпочинку при роботі з ВДТ .....	66
4.2	Вплив діяльності людини на довкілля.....	68
<b>ВИСНОВКИ .....</b>		<b>73</b>
<b>СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....</b>		<b>74</b>
Додаток А Технічне завдання		

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

Сучасний розвиток транспортної інфраструктури супроводжується постійним збільшенням кількості транспортних засобів, що призводить до перевантаження міських доріг, утворення заторів та зниження ефективності функціонування транспортних вузлів. Особливо актуальною дана проблема є для регульованих транспортних перехресть, де використання світлофорних систем із фіксованими часовими інтервалами не дозволяє оперативно реагувати на зміну інтенсивності транспортних потоків. У зв'язку з цим виникає потреба у створенні сучасних комп'ютеризованих систем керування дорожнім рухом, здатних здійснювати адаптивне керування на основі аналізу поточної ситуації на перехресті.

Одним із перспективних напрямів розвитку таких систем є застосування технологій комп'ютерного зору, вбудованих обчислювальних платформ та методів штучного інтелекту для автоматизованого аналізу відеопотоків у режимі реального часу. Використання камер відеоспостереження у поєднанні з апаратно-програмними модулями обробки даних дозволяє виконувати виявлення транспортних засобів, оцінювання інтенсивності руху та формування керуючих сигналів для світлофорних контролерів без застосування додаткових дорожніх сенсорів. Такий підхід забезпечує гнучкість системи, зменшує вартість її впровадження та спрощує масштабування транспортної інфраструктури.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю розроблення ефективних комп'ютерних систем керування транспортними перехрестями, що поєднують сучасні засоби відеоспостереження, embedded-платформи, алгоритми обробки відеоданих та інтелектуальні методи підтримки прийняття рішень. Особливого значення набуває питання оптимального вибору апаратної архітектури системи, забезпечення обробки відеоданих у режимі реального часу та інтеграції периферійних пристроїв керування у єдиний програмно-апаратний комплекс.

					КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метою кваліфікаційної роботи є розроблення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків, яка забезпечує автоматизований збір та обробку відеоданих, оцінювання параметрів транспортного потоку та адаптивне керування режимами роботи світлофорної системи.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати аналіз існуючих рішень у сфері інтелектуальних транспортних систем, спроектувати структуру апаратно-програмного комплексу, обрати засоби комп'ютерного зору та обчислювальну платформу, реалізувати алгоритми аналізу відеопотоків і керування транспортними потоками, а також провести дослідження ефективності функціонування розробленої системи.

					<i>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						9
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

# РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ОСОБЛИВОСТЕЙ ТА ВИМОГ ДО СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПОТОКАМИ НА ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ

## 1.1 Особливості організації та керування транспортними потоками на перехрестях

Транспортні перехрестя є важливими елементами міської дорожньо-транспортної інфраструктури, оскільки саме в цих вузлах відбувається перетин транспортних і пішохідних потоків різних напрямків. Від ефективності організації руху на перехрестях залежить пропускна здатність вулично-дорожньої мережі, тривалість затримок транспорту, рівень безпеки дорожнього руху та загальна якість функціонування міської транспортної системи [1-3]. Особливої актуальності це питання набуває в умовах зростання кількості транспортних засобів, нерівномірного завантаження доріг у різні періоди доби та необхідності підвищення ефективності використання наявної дорожньої інфраструктури.

Основним завданням керування транспортними потоками на перехрестях є забезпечення безпечного, впорядкованого та максимально ефективного пропуску транспортних засобів через зону перетину напрямків руху [4]. Для цього використовують світлофорне регулювання, дорожню розмітку, знаки пріоритету, пішохідні переходи, транспортні контролери та засоби моніторингу дорожньої ситуації. Найбільш поширеним способом організації руху на міських перехрестях є світлофорне керування, яке забезпечує почерговий рух в окремих напрямках відповідно до заданої послідовності фаз [5].

Для кращого розуміння особливостей організації дорожнього руху на регульованому перехресті доцільно розглянути його узагальнену схему. Типове

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Адам'як Р.А.			Аналіз особливостей та вимог до систем керування потоками на транспортних перехрестях	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		Ясній О.П.					10	
<i>Реценз.</i>		Петрик М.Р.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

міське чотиристороннє перехрестя включає смуги руху для різних напрямків, пішохідні переходи, світлофорні об'єкти та транспортні потоки, що взаємодіють у межах спільної зони перетину. На рис. 1.1 показано типову схему перехрестя зі світлофорним регулюванням в межах населеного пункту.

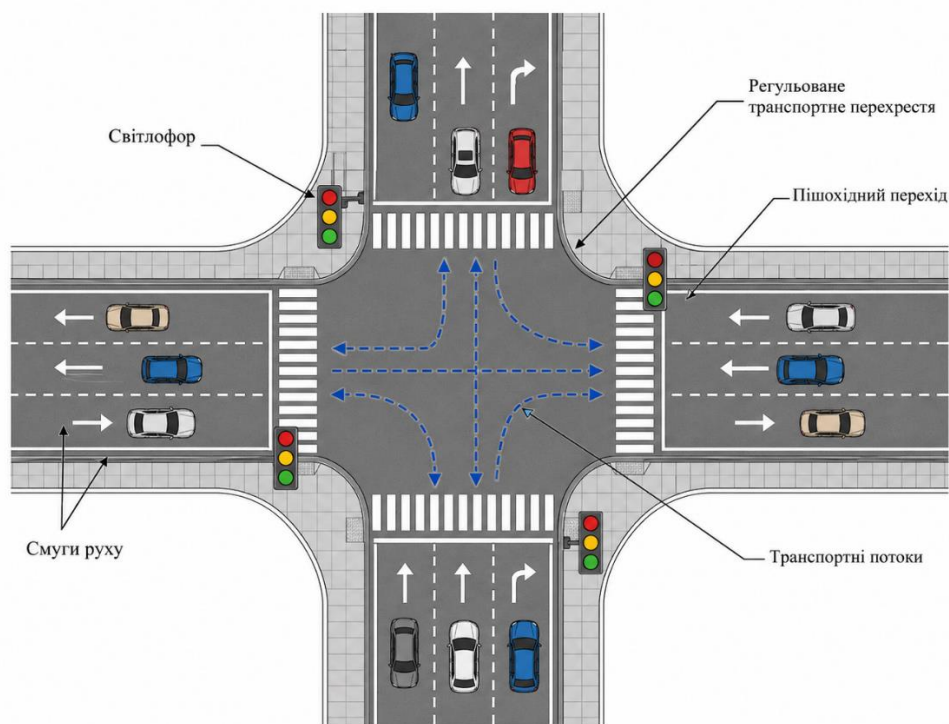


Рисунок 1.1 – Загальна схема регульованого чотиристороннього транспортного перехрестя

Як показано на рис. 1.1, регульоване перехрестя є складним дорожнім вузлом, у якому необхідно узгоджувати рух транспортних засобів з різних напрямків, а також забезпечувати безпечний перехід пішоходів. Основними елементами такого перехрестя є смуги руху, світлофори, пішохідні переходи та зони формування транспортних потоків. Керування рухом здійснюється шляхом почергового надання дозволу на рух окремим напрямкам відповідно до заданих світлофорних фаз.

Світлофорна фаза визначає часовий інтервал, протягом якого дозволяється рух певній групі транспортних потоків [1,2]. Сукупність фаз формує світлофорний цикл, який повторюється з певною періодичністю. У традиційних

системах керування тривалість кожної фази встановлюється заздалегідь і, як правило, залишається сталою протягом тривалого часу. Такий підхід є простим у реалізації, однак не завжди відповідає реальному стану дорожнього руху.

У реальних умовах інтенсивність транспортних потоків може суттєво змінюватися залежно від часу доби, дня тижня, погодних умов, наявності дорожньо-транспортних пригод, ремонтних робіт або інших факторів. Наприклад, у години пік один напрямок руху може бути значно перевантаженим, тоді як інший має низьку інтенсивність. За умови використання фіксованого світлофорного циклу система не враховує таку нерівномірність, тому час зеленого сигналу може розподілятися нерационально.

Однією з основних проблем традиційного світлофорного регулювання є те, що фіксовані часові інтервали не завжди відповідають фактичному навантаженню на різних напрямках руху. У реальних умовах один напрямок може мати значну чергу транспортних засобів, тоді як інший залишається малозавантаженим. Приклад нерівномірного завантаження смуг на перехрестях зі світлофорним регулюванням показано на рис. 1.2. Така ситуація призводить до нерационального використання часу світлофорного циклу.

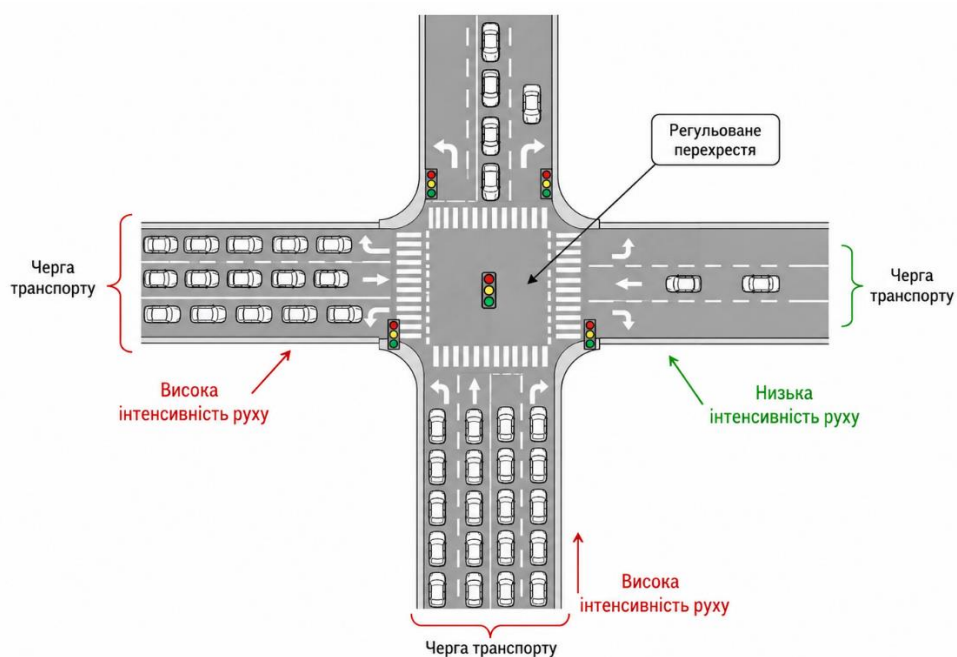


Рисунок 1.2 – Приклад нерівномірного завантаження напрямків руху

На рис. 1.2 наведено приклад нерівномірного розподілу транспортного навантаження на перехресті. За умови використання фіксованого режиму роботи світлофора тривалість зеленого сигналу може залишатися однакою для напрямків із різною інтенсивністю руху. У результаті на перевантажених смугах утворюються черги, тоді як менш завантажені напрямки отримують надлишковий час для проїзду. Це знижує загальну пропускну здатність перехрестя та збільшує середній час очікування транспортних засобів.

Для оцінювання ефективності функціонування перехрестя використовують низку параметрів транспортного потоку [4-6]. До основних з них належать інтенсивність руху, щільність транспортного потоку, середня швидкість руху, довжина черги транспортних засобів, середній час затримки та пропускну здатність окремих напрямків. Аналіз цих параметрів дозволяє визначити, наскільки ефективно працює система керування та чи відповідає режим світлофорного регулювання поточному транспортному навантаженню.

Залежно від способу формування світлофорних фаз системи керування транспортними потоками можна умовно поділити на традиційні та адаптивні. Традиційні системи працюють за попередньо визначеним циклом, тоді як адаптивні враховують поточний стан дорожнього руху. Порівняльну характеристику цих підходів наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Традиційне та адаптивне керування потоками на перехресті

Критерій порівняння	Традиційне світлофорне керування	Адаптивне керування транспортними потоками
Принцип керування	Робота світлофора здійснюється за наперед заданим циклом із фіксованою тривалістю фаз	Тривалість світлофорних фаз змінюється відповідно до поточного стану транспортних потоків
Урахування дорожньої ситуації	Поточна інтенсивність руху зазвичай не враховується або враховується обмежено	Система аналізує поточне навантаження на окремих напрямках руху
Реакція на зміну інтенсивності руху	Низька, оскільки зміна режимів потребує попереднього налаштування	Вища, оскільки режими можуть змінюватися автоматично залежно від ситуації
Ефективність у години пік	Знижується через утворення черг на перевантажених напрямках	Дає змогу раціональніше розподіляти час зеленого сигналу між напрямками

Критерій порівняння	Традиційне світлофорне керування	Адаптивне керування транспортними потоками
Використання даних про транспортний потік	Обмежене або відсутнє в режимі реального часу	Передбачає збір і обробку даних про кількість транспортних засобів, черги та інтенсивність руху
Апаратна складність	Відносно невисока, достатньо світлофорного контролера з фіксованою програмою	Вища, оскільки потребує сенсорів, камер, обчислювальних модулів або інших засобів збору даних
Гнучкість налаштування	Обмежена, зміна режимів часто виконується вручну	Висока, можливе автоматичне або дистанційне коригування режимів роботи
Пропускна здатність перехрестя	Не завжди відповідає реальному навантаженню транспортних потоків	Може підвищуватися завдяки адаптації до поточної дорожньої ситуації
Доцільність застосування	Перехрестя зі стабільним і передбачуваним транспортним потоком	Перехрестя з динамічною, нерівномірною або високою інтенсивністю руху

З табл. 1.1 видно, що традиційне світлофорне керування є простішим з погляду апаратної та програмної реалізації, однак воно має обмежену здатність реагувати на зміну транспортної ситуації. Адаптивне керування є складнішим, оскільки потребує засобів збору та обробки даних, проте воно краще відповідає умовам нерівномірного й динамічного транспортного навантаження. Саме тому подальший розвиток систем керування перехрестями пов'язаний із використанням комп'ютеризованих засобів моніторингу, аналізу транспортних потоків і автоматизованого формування керуючих рішень.

З позиції комп'ютерної інженерії транспортне перехрестя доцільно розглядати не лише як дорожній об'єкт, а як складну керовану систему, у якій поєднуються апаратні засоби збору інформації, обчислювальні модулі, програмні алгоритми аналізу даних та виконавчі пристрої [7-9]. Для побудови ефективної системи керування необхідно забезпечити своєчасне отримання даних про стан транспортного потоку, їх обробку з мінімальною затримкою та формування керуючих сигналів для світлофорного обладнання.

Таким чином, організація та керування транспортними потоками на перехрестях є комплексною задачею, що потребує врахування як дорожньої

ситуації, так і технічних можливостей системи керування. Недоліки традиційного світлофорного регулювання особливо проявляються за умов нерівномірного транспортного навантаження, коли фіксовані часові інтервали не забезпечують оптимального пропуску транспортних засобів. Це обґрунтовує необхідність розроблення комп'ютерних систем, здатних аналізувати поточний стан транспортних потоків і адаптувати режими роботи світлофорів відповідно до реальної ситуації на перехресті.

## 1.2 Аналіз сучасних інтелектуальних систем керування дорожнім рухом

Інтелектуальні системи керування дорожнім рухом поєднують апаратні, програмні та комунікаційні компоненти. До їх складу можуть входити контролери, відеокамери, індукційні датчики, радары, сервери обробки даних, засоби зв'язку, програмні модулі аналізу інформації та інтерфейси диспетчерського керування. З позиції комп'ютерної інженерії такі системи можна розглядати як розподілені апаратно-програмні комплекси, у яких кінцеві пристрої збирають інформацію про транспортну ситуацію, обчислювальні модулі виконують її обробку, а виконавчі пристрої реалізують безпосереднє управління [8].

Одним із базових підходів до побудови інтелектуальних транспортних систем є підхід з централізованим керуванням (рис. 1.3). У такому випадку дані з багатьох перехресть передаються до центрального сервера або диспетчерського центру, де виконується аналіз дорожньої ситуації та формується стратегія керування [10]. Перевагою такого підходу є можливість координувати роботу групи світлофорних об'єктів, враховувати стан декількох транспортних вузлів та реалізовувати комплексні сценарії управління дорожнім рухом. Проте централізована архітектура потребує надійної мережевої інфраструктури, достатньої пропускної здатності каналів зв'язку та стабільної роботи центрального обчислювального вузла. У разі порушення зв'язку або перевантаження сервера ефективність такої системи може знижуватися.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

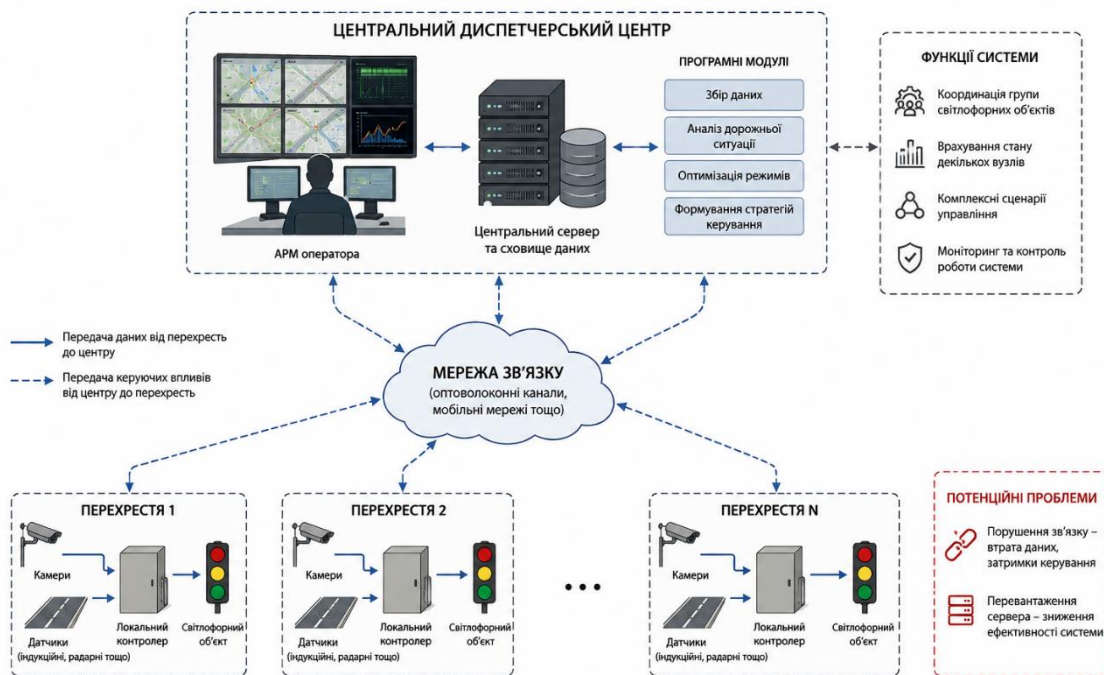


Рисунок 1.3 – Підхід централізованого керування транспортним перехрестям

Іншим підходом є локальне або децентралізоване керування (рис. 1.4), при якому основна обробка даних виконується безпосередньо поблизу транспортного об'єкта. У цьому випадку перехрестя оснащується власним обчислювальним модулем, який отримує дані від сенсорів або камер, аналізує поточну ситуацію та формує сигнали для світлофорного контролера. Такий підхід є особливо важливим для систем, що повинні працювати з мінімальними затримками [11]. Локальна обробка зменшує залежність від центрального сервера, підвищує автономність системи та дозволяє реалізувати керування в режимі реального часу. Останніми роками дедалі більшого значення набуває концепція edge computing, або периферійних обчислень. Її суть полягає у тому, що попередня або повна обробка даних виконується безпосередньо на пристроях, розташованих поблизу джерела інформації. Для транспортних систем це означає, що відеопотік з камер може аналізуватися не на віддаленому сервері, а на вбудованій обчислювальній платформі, встановленій біля перехрестя [13]. Це дозволяє зменшити обсяг переданих даних, скоротити

затримку прийняття рішень та підвищити стійкість системи до проблем мережевого з'єднання.

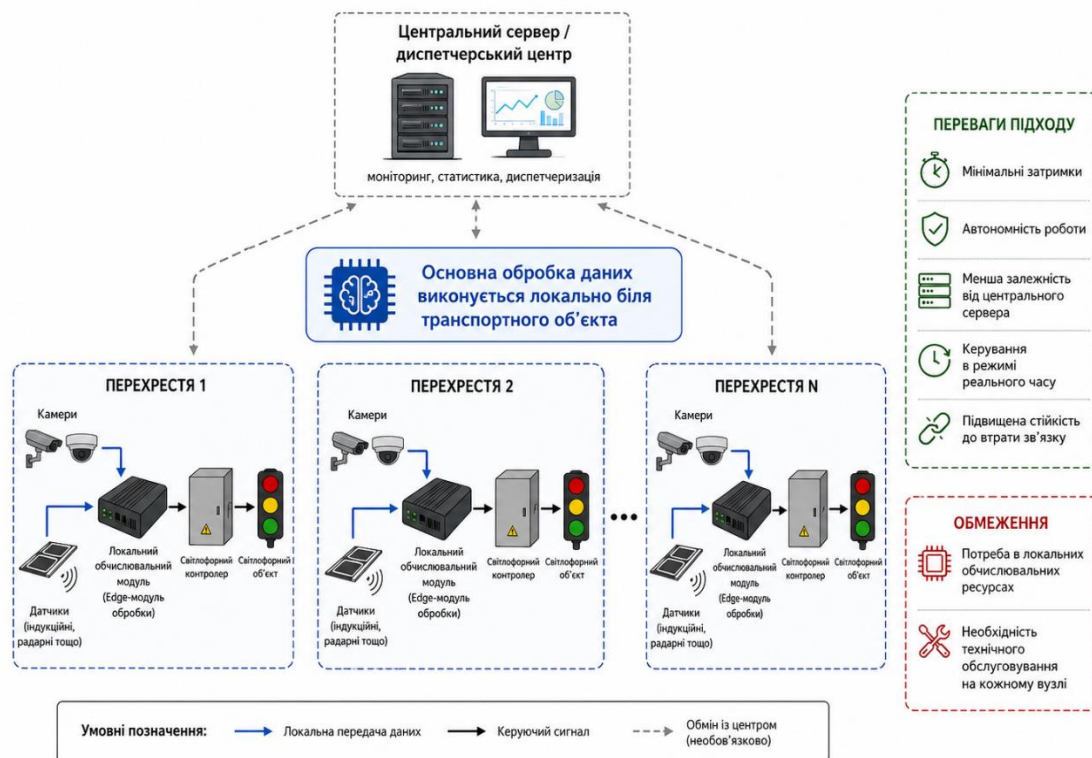


Рисунок 1.4 – Децентралізована система керування транспортним перехрестям

Сучасні інтелектуальні системи керування дорожнім рухом можна умовно поділити на декілька груп залежно від принципу збору та обробки інформації [1].

До першої групи належать системи, що використовують стаціонарні дорожні датчики [9-11]. Вони можуть фіксувати наявність транспортного засобу, інтенсивність руху або швидкість транспортного потоку. Такі рішення є достатньо надійними, однак часто потребують монтажу обладнання безпосередньо в дорожньому покритті або біля проїзної частини, що ускладнює встановлення та обслуговування.

До другої групи належать системи, що базуються на відеоспостереженні. Камери дозволяють отримувати візуальну інформацію про стан перехрестя, кількість транспортних засобів, напрямки їх руху, довжину черги, наявність заторів або аварійних ситуацій. На відміну від точкових датчиків, відеокамера охоплює значну ділянку дорожнього простору і може бути використана для

одночасного аналізу кількох параметрів транспортного потоку [4-8]. Саме тому відеоаналітика є перспективним напрямом для створення комп'ютеризованих систем керування перехрестями.

Третю групу становлять комбіновані системи, у яких поєднуються різні джерела даних: відеокамери, датчики руху, радары, GPS-дані, інформація від громадського транспорту та диспетчерських служб. Такий підхід дозволяє отримати повнішу картину дорожньої ситуації, однак ускладнює архітектуру системи, потребує узгодження форматів даних і підвищує вимоги до обчислювальних ресурсів.

У контексті даної кваліфікаційної роботи найбільший інтерес становлять комп'ютерні системи, що аналізують відеопотоки та використовують алгоритми комп'ютерного зору. Їх перевага полягає в тому, що одна камера може виконувати функції кількох типів сенсорів: виявляти наявність транспортних засобів, підраховувати їх кількість, оцінювати завантаженість смуг руху, визначати напрямок руху та фіксувати нестандартні ситуації. При цьому програмна частина системи може бути оновлена або вдосконалена без значної зміни апаратної інфраструктури.

Разом з тим використання відеоаналітики висуває додаткові вимоги до апаратного забезпечення. Обробка відеопотоків у режимі реального часу потребує досить високого рівня продуктивності процесора або графічного прискорювача, наявності оперативної пам'яті, стабільного каналу отримання відеоданих та ефективних алгоритмів обробки зображень. Якщо система працює на вбудованій платформі, важливими також є енергоспоживання, температурний режим, надійність роботи та можливість підключення периферійних пристроїв.

Загалом архітектуру сучасної інтелектуальної системи керування дорожнім рухом можна подати у вигляді декількох рівнів, як показано на рис. 1.5.

Перший рівень становлять засоби збору даних: камери, датчики, радары та інші пристрої спостереження [12]. Другий рівень включає обчислювальні модулі, що виконують попередню обробку, аналіз та інтерпретацію отриманих

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

даних. Третій рівень відповідає за прийняття керуючих рішень, зокрема визначення тривалості світлофорних фаз або вибір режиму роботи перехрестя. Четвертий рівень містить виконавчі пристрої, тобто світлофорні контролери, інформаційні табло та інші засоби впливу на транспортний потік [12]. Окремо можна виділити рівень моніторингу, який забезпечує відображення статистики, контроль стану системи та можливість втручання оператора.

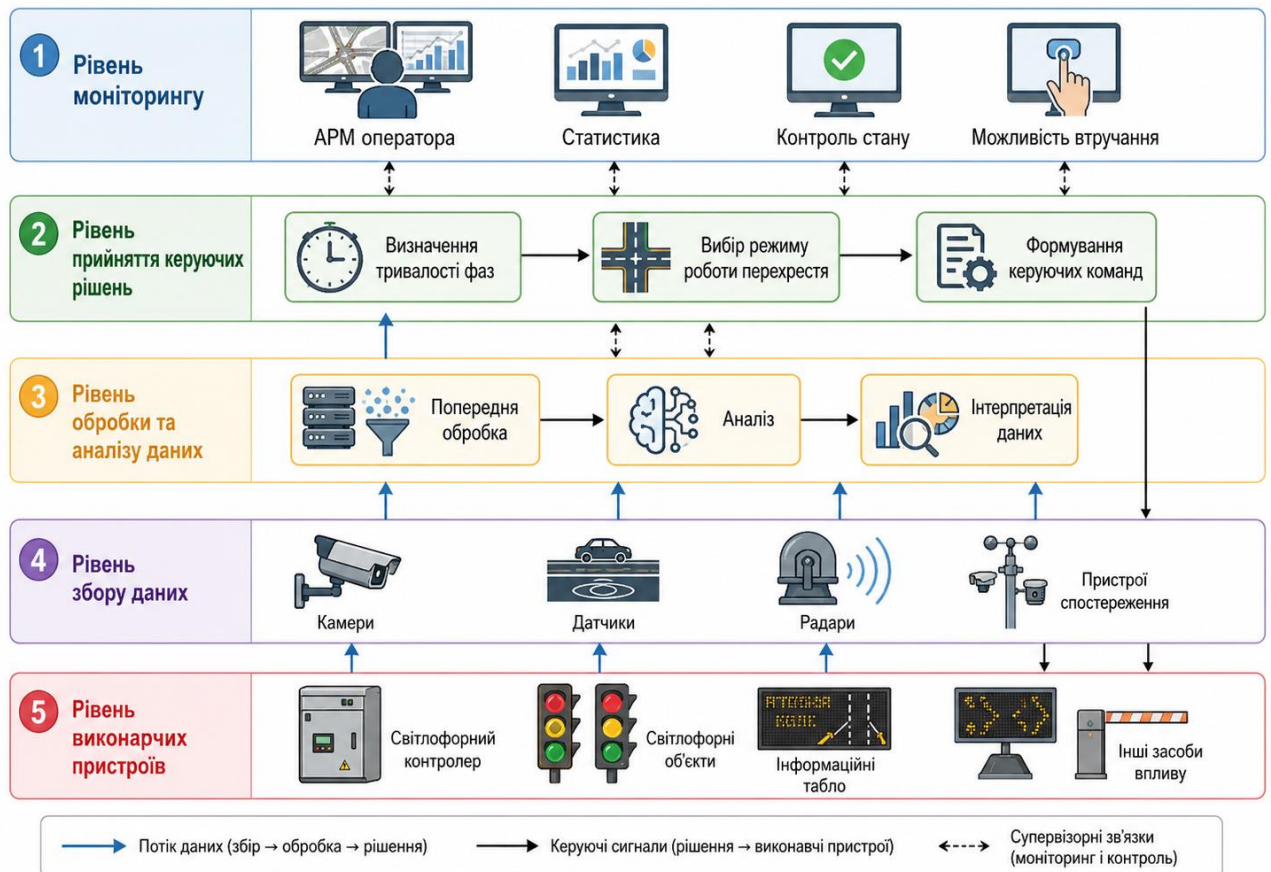


Рисунок 1.5 – Багаторівнева архітектура інтелектуальної системи керування дорожнім рухом

У системі, проілюстрованій на рис. 1.5, ключову роль відіграє не лише сам алгоритм керування світлофором, а й якість отримання та обробки даних. Якщо інформація про транспортний потік надходить із затримкою або має низьку точність, то навіть складний алгоритм прийняття рішень не забезпечить ефективного керування. Саме тому при побудові комп'ютерної системи керування перехрестям необхідно враховувати взаємозв'язок між апаратними

засобами збору даних, обчислювальною платформою, програмним забезпеченням та виконавчими пристроями.

Важливою характеристикою інтелектуальних транспортних систем є здатність працювати в режимі реального часу [15]. Для перехрестя це означає, що система повинна не лише виявити зміну транспортної ситуації, але й достатньо швидко сформулювати відповідне рішення. Наприклад, якщо на одному з напрямків швидко збільшується черга транспортних засобів, система має вчасно зафіксувати цю зміну та скоригувати тривалість світлофорної фази. Затримка в обробці даних або передаванні сигналів може зменшити ефективність адаптивного керування [13].

Ще однією важливою вимогою є надійність. Система керування дорожнім рухом належить до технічних систем, від роботи яких залежить безпека учасників дорожнього руху. Тому навіть у разі відмови окремих компонентів вона повинна переходити у безпечний режим роботи. Наприклад, при втраті відеосигналу або несправності обчислювального модуля світлофорний контролер може перейти до резервної фіксованої програми керування. Такий підхід дозволяє зменшити ризик некоректної роботи перехрестя.

Порівняльну характеристику основних підходів до побудови інтелектуальних систем керування дорожнім рухом наведено в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Інтелектуальні системи керування дорожнім рухом

Підхід	Основна ідея	Переваги	Обмеження
Централізоване керування	Дані з перехресть передаються до центрального сервера або диспетчерського центру	Можливість координації багатьох перехресть, централізований моніторинг, накопичення статистики	Залежність від мережі, потреба у потужному сервері, можливі затримки
Локальне керування	Обробка даних і формування рішень виконуються безпосередньо на рівні перехрестя	Менша затримка, автономність, стійкість до втрати зв'язку з центром	Обмежені ресурси локального обчислювального модуля

Продовження таблиці 1.2

Підхід	Основна ідея	Переваги	Обмеження
Керування на основі сенсорів	Дані отримуються з індукційних, радарних або інших дорожніх датчиків	Відносна стабільність вимірювання, можливість прямого визначення наявності транспорту	Складність монтажу, обмежена зона контролю, витрати на обслуговування
Керування на основі аналізу відеопотоків	Дані отримуються з камер і обробляються алгоритмами комп'ютерного зору	Широка зона спостереження, можливість підрахунку та класифікації транспорту, гнучкість програмної реалізації	Залежність від якості зображення, освітлення, погодних умов і продуктивності обчислювальної платформи
Комбіноване керування	Використовується декілька джерел даних і методів аналізу	Вища точність і надійність оцінювання дорожньої ситуації	Складніша архітектура, потреба в інтеграції різнорідних даних

Як видно з табл. 1.2, кожен підхід має власні переваги та обмеження. Централізовані системи доцільні для великих міських транспортних мереж, де необхідна координація багатьох перехресть. Локальні системи краще підходять для автономного керування окремими транспортними вузлами з мінімальними затримками. Сенсорні рішення забезпечують пряме отримання даних, однак їх встановлення може бути технічно складним і дорогим. Керування на основі аналізу відеопотоків є більш гнучким, оскільки дозволяє отримувати комплексну інформацію про дорожню ситуацію.

У кваліфікаційній роботі пропонується використати підхід, що поєднує локальну обробку відеопотоків, алгоритми комп'ютерного зору та формування керуючих сигналів для світлофорного обладнання. Така архітектура відповідає сучасним тенденціям розвитку edge-систем і дозволяє розглядати транспортне перехрестя як автономний комп'ютеризований об'єкт керування.

## РОЗДІЛ 2 ПРОЄКТУВАННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯМ ТРАНСПОРТНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМ НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДЕОПОТОКІВ

### 2.1 Формування вимог до комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

На основі аналізу особливостей організації дорожнього руху на регульованих перехрестях та огляду сучасних інтелектуальних систем керування транспортними потоками можна сформувати вимоги до комп'ютерної системи, що розробляється.

Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків повинна забезпечувати автоматизоване отримання даних про стан дорожнього руху, їх обробку, визначення рівня завантаженості окремих напрямків та формування керуючих впливів для світлофорного обладнання. На відміну від систем із фіксованими часовими інтервалами, така система має працювати з урахуванням фактичної інтенсивності руху, що дозволить підвищити ефективність використання світлофорних фаз і зменшити час очікування транспорту на перевантажених напрямках.

Систему, що проектується у кваліфікаційній роботі, доцільно розглядати як апаратно-програмний комплекс, до складу якого входять засоби збору відеоданих, обчислювальний модуль, програмні алгоритми аналізу зображень, модуль прийняття рішень, світлофорний контролер та засоби моніторингу. Такий підхід дозволяє сформувати вимоги не лише до функціональності програмного забезпечення, а й до апаратної частини, каналів передавання даних, швидкодії, надійності та можливості подальшого масштабування.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Адам'як Р.А.</i>			<i>Проектування комп'ютерної системи керуванням транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Ясній О.П.</i>					22	
<i>Реценз.</i>		<i>Петрик М.Р.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

Основною функціональною вимогою до системи є можливість отримання відеопотоку з камер спостереження, встановлених у зоні транспортного перехрестя. Камери повинні забезпечувати огляд смуг руху та зон накопичення транспортних засобів [11]. Відеопотік має надходити до обчислювального модуля у форматі, придатному для подальшої обробки алгоритмами комп'ютерного зору. При цьому важливо забезпечити стабільність отримання відеоданих, оскільки втрата кадрів або значні затримки можуть негативно вплинути на правильність оцінювання транспортної ситуації.

Наступною важливою вимогою є автоматичне виявлення транспортних засобів у відеопотоці. Система повинна ідентифікувати об'єкти, що рухаються або перебувають у зоні контролю, відокремлювати транспортні засоби від фону та інших об'єктів, а також визначати їх кількість на кожному напрямку руху. Для цього можуть використовуватися методи комп'ютерного зору, зокрема алгоритми виявлення об'єктів, трекінгу та аналізу зон на зображенні. У межах даної роботи пропонується реалізувати підхід, який дозволяє визначати кількість транспортних засобів або рівень завантаження напрямків без надмірного ускладнення алгоритмічної частини [12].

Система також повинна забезпечувати оцінювання параметрів транспортного потоку. До таких параметрів належать кількість транспортних засобів у кожному з напрямків руху, довжина черги, умовний рівень завантаженості смуги, а також зміна інтенсивності руху в часі. Отримані параметри мають використовуватися для прийняття рішення щодо режиму роботи світлофора. Наприклад, якщо на одному з напрямків формується значна черга, система повинна мати можливість збільшити тривалість зеленого сигналу для цього напрямку або надати йому вищий пріоритет у наступному циклі.

Важливою функціональною вимогою є формування керуючих сигналів для світлофорного контролера. Після аналізу дорожньої ситуації система повинна визначити оптимальну тривалість світлофорної фази або вибрати один із попередньо заданих режимів керування. При цьому необхідно враховувати обмеження безпеки: не можна одночасно дозволяти рух конфліктним потокам, а перемикання фаз повинно відбуватися відповідно до встановленої логіки роботи

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

світлофорного об'єкта. Тобто адаптивність системи не повинна порушувати базові правила безпечного регулювання дорожнього руху.

Окрему групу становлять вимоги до інтерфейсу моніторингу [16]. Система повинна надавати користувачу або оператору можливість переглядати поточний стан перехрестя, кількість виявлених транспортних засобів, активну світлофорну фазу, рівень завантаженості напрямків та журнал основних подій. Такий інтерфейс може бути реалізований у вигляді локального вікна програми, веб-сторінки або панелі моніторингу.

Нефункціональні вимоги визначають якісні характеристики системи. Однією з головних є вимога роботи в режимі, наближеному до реального часу. Оскільки транспортна ситуація на перехресті може швидко змінюватися, система повинна обробляти відеодані з мінімально можливою затримкою. Для практичної реалізації це означає, що обчислювальний модуль має забезпечувати достатню частоту обробки кадрів, а алгоритми аналізу не повинні бути надмірно ресурсоємними. Якщо використовується вбудована платформа або одноплатний комп'ютер, необхідно враховувати обмеження процесора, оперативної пам'яті та графічного прискорювача.

Не менш важливою є вимога надійності. Система керування транспортним перехрестям пов'язана з безпекою дорожнього руху, тому вона повинна передбачати коректну поведінку у випадку втрати відеосигналу, помилки алгоритму або відмови обчислювального модуля. У таких ситуаціях доцільно передбачити перехід до резервного режиму роботи, наприклад до фіксованої програми світлофорного керування. Це дозволить уникнути некоректного перемикання сигналів та забезпечити мінімально необхідний рівень безпеки [8].

Вимоги до апаратного забезпечення включають можливість підключення камер, обробки відеопотоку, взаємодії зі світлофорним контролером та передавання службової інформації до інтерфейсу моніторингу. Обчислювальна платформа повинна мати достатню продуктивність для виконання алгоритмів комп'ютерного зору, а також підтримувати необхідні інтерфейси зв'язку. Для зв'язку між модулями можуть використовуватися Ethernet, Wi-Fi, USB, UART, GPIO або інші інтерфейси залежно від обраної апаратної реалізації.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						24
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Світлофорний контролер або мікроконтролерний модуль повинен приймати керуючі команди та забезпечувати перемикання світлофорних сигналів відповідно до логіки роботи системи.

До системи також висуваються вимоги масштабованості. Базова реалізація може бути орієнтована на одне чотиристороннє перехрестя, однак архітектура повинна допускати можливість підключення додаткових камер, розширення кількості контрольованих напрямків або передавання статистичних даних до центрального сервера [15]. Такий підхід дозволяє в подальшому використовувати розроблену систему як частину більшої інтелектуальної транспортної інфраструктури.

Основні вимоги до комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям наведено в табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Основні вимоги до комп'ютерної системи

Група вимог	Зміст вимоги	Очікуваний результат
Отримання відеоданих	Система повинна приймати відеопотік з однієї або кількох камер, розташованих у зоні перехрестя	Забезпечення вхідних даних для аналізу транспортної ситуації
Аналіз відеопотоку	Необхідно виконувати виявлення транспортних засобів у контрольованих зонах	Визначення кількості транспорту на окремих напрямках
Оцінювання завантаженості	Система повинна оцінювати рівень навантаження напрямків руху	Визначення пріоритетного напрямку для керування
Прийняття рішень	На основі результатів аналізу система повинна обирати режим роботи світлофора	Адаптація світлофорних фаз до поточної ситуації
Керування світлофором	Система повинна формувати керуючі сигнали для світлофорного контролера	Реалізація зміни сигналів відповідно до обраного режиму
Моніторинг	Необхідно відображати стан системи, результати аналізу та активну фазу	Можливість контролю роботи системи оператором
Швидкодія	Обробка відеоданих має виконуватися з мінімальною затримкою	Робота системи в режимі, наближеному до реального часу
Надійність	У разі помилки або втрати відеосигналу система повинна переходити в безпечний режим	Зменшення ризику некоректного керування перехрестям
Масштабованість	Архітектура має допускати підключення додаткових камер або модулів	Можливість подальшого розвитку системи

Група вимог	Зміст вимоги	Очікуваний результат
Апаратна сумісність	Обчислювальний модуль повинен підтримувати необхідні інтерфейси взаємодії з камерою та контролером	Забезпечення інтеграції апаратних компонентів

Таким чином, сформовані вимоги визначають основні напрями подальшого проєктування системи. Наступним кроком є побудова архітектури апаратно-програмного комплексу та розробка алгоритмів функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям.

## 2.2 Узагальнена архітектура комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

У роботі основна ідея при побудові архітектури полягає в тому, що відеодані з камер спостереження надходять до обчислювального модуля, де виконується їх аналіз. Після визначення завантаженості напрямків руху система формує команду керування, яка передається на мікроконтролерний модуль STM32. Мікроконтролер, у свою чергу, забезпечує безпечне перемикання світлофорних фаз через виконавчі релейні або транзисторні модулі.

У межах проєктної реалізації передбачається використання чотирьох камер відеоспостереження, по одній на кожному стороні перехрестя. Такий підхід дозволяє окремо контролювати транспортні потоки з північного, південного, східного та західного напрямків. Кожна камера формує відеопотік, який передається до обчислювального модуля Raspberry Pi [23] через локальну мережу. Для цього доцільно використовувати IP-камери, оскільки вони можуть підключатися через Ethernet-комутатор або Wi-Fi-роутер і не потребують безпосереднього фізичного підключення кожної камери до Raspberry Pi.

Використання IP-камер є зручним з інженерної точки зору, оскільки камери можуть бути розміщені на різних сторонах перехрестя, а передавання відеоданих здійснюється через стандартну мережеву інфраструктуру. Кожна камера має власну IP-адресу та може передавати відеопотік за допомогою RTSP,

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

HTTP або MJPEG-протоколу. Обчислювальний модуль Raspberry Pi отримує відеопотоки, виконує їх обробку та визначає параметри транспортного потоку для кожного напрямку.

У запропонованій архітектурі Raspberry Pi [] виконує функції основного обчислювального вузла. Саме на цьому рівні реалізуються алгоритми комп'ютерного зору, попередня обробка відеокадрів, виявлення транспортних засобів, оцінювання кількості автомобілів у контрольованих зонах та визначення рівня завантаженості напрямків. Крім того, Raspberry Pi може забезпечувати роботу локального інтерфейсу моніторингу, у якому відображаються поточні результати аналізу відеопотоків, активна фаза світлофора, стан зв'язку з STM32 та службові повідомлення системи.

Мікроконтролер STM32 у структурі системи виконує роль виконавчого контролера світлофорного обладнання. Його основним завданням є приймання керуючих команд від Raspberry Pi, перевірка допустимості перемикання фаз, формування сигналів керування для виконавчих модулів та забезпечення резервного режиму роботи. Такий розподіл функцій є доцільним, оскільки Raspberry Pi зосереджується на ресурсоємній обробці відеоданих, а STM32 відповідає за надійне низькорівневе керування апаратними пристроями.

Зв'язок між Raspberry Pi та STM32 доцільно реалізувати через послідовний інтерфейс UART. У макетній реалізації це може бути безпосереднє UART-з'єднання або USB-UART-перетворювач. Raspberry Pi після аналізу транспортної ситуації не передає на STM32 відеодані або великі обсяги інформації, а формує короткі команди керування, наприклад команду ввімкнення певної світлофорної фази на заданий час. STM32 приймає цю команду, перевіряє її коректність і виконує перемикання сигналів відповідно до заданої логіки.

Для підвищення надійності обміну даними у практичній реалізації може бути використаний інтерфейс RS-485. Він є більш придатним для передавання даних на більші відстані та роботи в умовах електромагнітних завад. Тому в межах макета достатньо UART або USB-UART, а для наближення системи до

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						27
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

промислового застосування доцільно передбачити можливість використання RS-485 із відповідними перетворювачами сигналів.

Керування світлофорними секціями не повинно виконуватися безпосередньо з виводів мікроконтролера, якщо йдеться про реальне або наближене до реального навантаження. STM32 формує лише низьковольтні логічні сигнали, які подаються на релейний модуль, MOSFET-ключі або інший виконавчий каскад. Використання проміжного виконавчого модуля дозволяє електрично розділити мікроконтролерну частину та силове навантаження світлофорних секцій. Для демонстраційного макета можуть використовуватися світлодіодні секції, підключені через обмежувальні резистори або через транзисторні ключі.

Загальна логіка роботи архітектури полягає в послідовній передачі інформації від рівня спостереження до рівня керування. Камери фіксують дорожню ситуацію на підходах до перехрестя. Raspberry Pi приймає відеопотоки та визначає, який із напрямків має найбільше транспортне навантаження. Після цього формується команда керування світлофорною фазою. STM32 приймає команду, забезпечує безпечне перемикання сигналів і активує відповідні світлофорні секції через виконавчий модуль.

Узагальнену архітектуру комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям наведено на рис. 2.1, а призначення її компонентів – у табл. 2.2.

У запропонованій архітектурі можна виділити п'ять основних рівнів: рівень збору даних, рівень передавання відеопотоків, рівень обробки та прийняття рішень, рівень мікроконтролерного керування та виконавчий рівень. Рівень збору даних представлений чотирма IP-камерами, які контролюють підходи до перехрестя. Рівень передавання даних реалізується через локальну мережу з використанням комутатора або роутера. Рівень обробки та прийняття рішень виконується на Raspberry Pi. Рівень мікроконтролерного керування реалізується на STM32, а виконавчий рівень представлений релейними або транзисторними модулями та світлофорними секціями.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						28
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

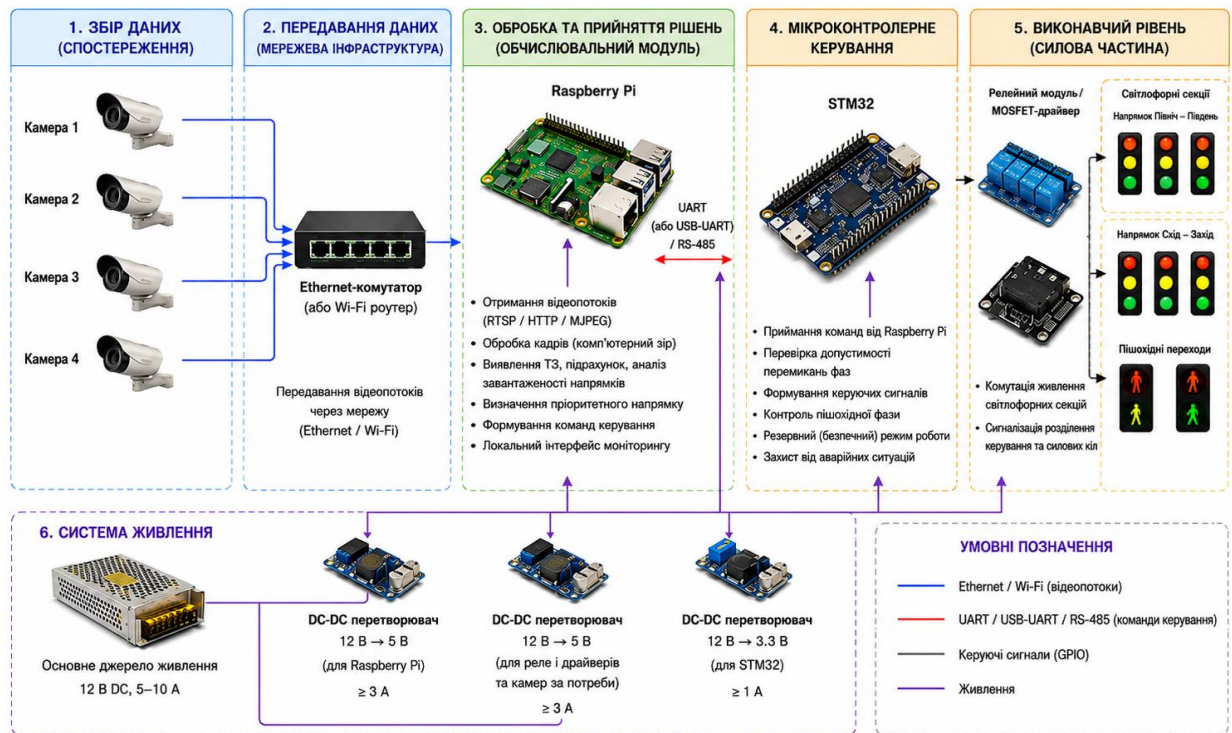


Рисунок 2.1 – Загальна архітектура комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків

Таблиця 2.2 – Основні компоненти архітектури комп'ютерної системи

Компонент системи	Рекомендований варіант реалізації	Основне призначення
Камери відеоспостереження	4 IP-камери	Отримання відеопотоків з підходів до перехрестя
Мережевий вузол	Ethernet-комутатор або Wi-Fi-роутер	Об'єднання камер і передавання відеоданих до Raspberry Pi
Обчислювальний модуль	Raspberry Pi	Обробка відеопотоків, аналіз транспортної ситуації, прийняття рішення
Мікроконтролерний модуль	STM32	Приймання команд, керування світлофорними фазами, резервний режим
Канал зв'язку Raspberry Pi–STM32	UART / USB-UART, для промислового варіанта RS-485	Передавання команд керування від обчислювального модуля до контролера
Виконавчий модуль	Релейний модуль або MOSFET-ключі	Перемикання світлофорних секцій
Світлофорний об'єкт	LED-секції або макет світлофора	Візуальне відображення сигналів керування
Інтерфейс моніторингу	Локальний або веб-інтерфейс	Відображення стану системи, активної фази та результатів аналізу

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ

Арк.

29

Перевагою такої архітектури є чіткий розподіл функцій між компонентами. Raspberry Pi виконує високорівневу обробку даних і прийняття рішень, тоді як STM32 забезпечує стабільне керування виконавчими пристроями. Це підвищує надійність системи, оскільки у випадку збою або втрати зв'язку з Raspberry Pi мікроконтролер може перейти до резервного фіксованого режиму світлофорного керування. Такий режим є необхідним для забезпечення безпеки роботи перехрестя.

Ще однією перевагою запропонованої архітектури є можливість масштабування. У базовому варіанті система орієнтована на одне чотиристороннє перехрестя з чотирма камерами та одним STM32-контролером. У разі потреби архітектура може бути розширена шляхом додавання нових камер, використання потужнішого обчислювального модуля або підключення декількох перехресть до центрального сервера моніторингу. При цьому локальне керування на рівні окремого перехрестя може зберігатися, що забезпечує автономність роботи навіть за відсутності зв'язку із зовнішньою системою.

Таким чином, запропонована архітектура поєднує концептуальний підхід до побудови інтелектуальної транспортної системи з конкретною апаратною реалізацією. Використання IP-камер забезпечує отримання відеоданих з усіх напрямків руху, Raspberry Pi виконує аналіз відеопотоків і прийняття рішень, STM32 реалізує функції виконавчого контролера, а релейні або транзисторні модулі забезпечують фізичне перемикання світлофорних сигналів. Такий підхід відповідає завданням кваліфікаційної роботи та створює основу для подальшого проєктування алгоритму функціонування системи.

### 2.3 Вибір апаратного забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

Вибір апаратного забезпечення є одним із ключових етапів проєктування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям, оскільки саме від апаратної частини залежить можливість отримання відеоданих, їх обробки,

					<i>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						30
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

формування керуючих команд та безпосереднього перемикання світлофорних сигналів.

Відповідно до запропонованої архітектури, наведеної на рис. 2.1, система складається з таких основних апаратних вузлів:

- IP-камер відеоспостереження;
- мережевого комутатора;
- обчислювального модуля Raspberry Pi;
- мікроконтролерного модуля STM32;
- інтерфейсу зв'язку між Raspberry Pi та STM32;
- релейного модуля;
- світлофорних LED-секцій;
- системи живлення.

Такий набір компонентів дозволяє реалізувати повний цикл функціонування системи: від отримання відеопотоків до фізичного керування сигналами світлофора. Наступним кроком є аналіз характеристик апаратного забезпечення.

### 2.3.1 IP-відеокамери

Для збору відеоданих у роботі пропонується використовувати чотири IP-відеокамери TP-Link VIGI C320I з Ethernet-інтерфейсом RJ-45, підтримкою протоколів RTSP/ONVIF та можливістю живлення від 12 В постійного струму. Передбачається використання однієї камери на кожному напрямку чотиристороннього перехрестя [21]. Такий підхід дає змогу окремо контролювати транспортні потоки з кожної смуги та формувати оцінку завантаженості перехрестя.

Камери підключаються до мережевого комутатора за допомогою кабелю типу Cat5e або Cat6. У прийнятій конфігурації PoE-живлення не використовується, тому передавання відеоданих і подавання живлення виконуються окремими лініями. Для кожної камери прокладається Ethernet-кабель до шафи керування, де розміщується комутатор, а живлення 12 В подається окремим двожильним кабелем від блока живлення або локального

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

адаптера. Такий варіант є дешевшим, оскільки дозволяє використати звичайний Ethernet-комутатор без підтримки PoE [21].

Зовнішній вигляд IP-камер TP-Link VIGI C320I показано на рис. 2.2, а їх основні технічні характеристики наведено у табл. 2.3.



Рисунок 2.2 – TP-Link VIGI C320I

Таблиця 2.3 – Характеристики камер відеоспостереження

Параметр	Значення
Модель	TP-Link VIGI C320I
Тип	IP-камера з Ethernet RJ-45
Роздільна здатність	1920×1080
Передавання даних	Ethernet, RTSP / ONVIF
Живлення	12 В DC
PoE	Не використовується
Призначення	Отримання відеопотоків із підходів до перехрестя
Особливість підключення	Дані та живлення передаються окремими лініями

TP-Link VIGI C320I забезпечує формування деталізованого відеозображення у високій роздільній здатності, що дає змогу ефективно контролювати дорожню обстановку, рух транспортних засобів, пішохідні потоки та інші об'єкти спостереження. Завдяки використанню сучасної CMOS-матриці камера підтримує стабільну роботу за різних рівнів освітлення та здатна автоматично адаптувати параметри зображення до умов навколишнього середовища.

Для роботи в нічний час пристрій оснащений інфрачервоним підсвічуванням, яке забезпечує отримання чіткого відео навіть за відсутності

зовнішнього освітлення. Додатково камера підтримує технології цифрового покращення зображення, зокрема компенсацію засвічення, шумозаглушення та оптимізацію контрастності, що позитивно впливає на якість відеопотоку.

Корпус камери має захист від пилу та вологи, що дозволяє використовувати пристрій для зовнішнього встановлення. Підключення камери до мережі здійснюється за допомогою стандартного Ethernet-інтерфейсу, а живлення подається окремо через зовнішній блок живлення постійного струму. Такий підхід забезпечує простоту інтеграції камери у невеликі системи відеоспостереження без використання технології PoE.

Камера підтримує інтеграцію з мережевими відеореєстраторами, програмними платформами моніторингу та хмарними сервісами відеоспостереження. Це робить її придатною для використання у комп'ютеризованих системах аналізу відеопотоків, інтелектуального моніторингу транспортних перехресть, системах безпеки підприємств та автоматизованих комплексах контролю доступу.

### 2.3.2 Комутатор TP-Link TL-SF1005D

Для об'єднання IP-камер і Raspberry Pi в одну локальну мережу обрано комутатор TP-Link TL-SF1005D. Це простий п'ятипортовий некерований Ethernet-комутатор, який має п'ять портів RJ-45 стандарту 10/100 Мбіт/с. У запропонованій системі чотири порти використовуються для підключення камер, а п'ятий – для підключення Raspberry Pi. Такий комутатор є достатнім для запропонованої конфігурації, оскільки не потребує складного налаштування та забезпечує локальний обмін даними між камерами й обчислювальним модулем.

Оскільки TP-Link TL-SF1005D не підтримує PoE, він використовується лише для передавання відеопотоків. Живлення камер у даній конфігурації подається окремо від блока живлення 12 В. Такий підхід потребує більшої кількості кабельних з'єднань порівняно з PoE-рішенням, однак дозволяє зменшити вартість мережевого обладнання.

На рис. 2.3 показано комутатор TP-Link TL-SF1005D, а у табл. 2.4 – представлено його технічні характеристики.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33



Рисунок 2.3 – Комутатор TP-Link TL-SF1005D

Таблиця 2.4 – Характеристики мережевого комутатора

Параметр	Значення
Модель	TP-Link TL-SF1005D
Тип	Некерований Ethernet-комутатор
Кількість портів	5
Швидкість портів	10/100 Мбіт/с
Інтерфейс	RJ-45
Підтримка PoE	Ні
Призначення	Об'єднання камер і Raspberry Pi у локальну мережу

Комутатор TP-Link TL-SF1005D працює за принципом Plug and Play, тому не потребує додаткового налаштування чи спеціального програмного забезпечення. Підтримка Auto MDI/MDIX дозволяє використовувати стандартні мережеві кабелі без необхідності підбору прямого або перехресного з'єднання. Функція Auto-Negotiation автоматично визначає оптимальну швидкість передавання даних для кожного підключеного пристрою.

TL-SF1005D має безвентиляторну конструкцію, завдяки чому працює безшумно та може встановлюватися в невеликій технічній шафі. Комутатор підтримує енергоощадні технології, які зменшують споживання електроенергії залежно від стану підключених портів.

У складі комп'ютеризованої системи TP-Link TL-SF1005D використовується як простий мережевий вузол для об'єднання IP-камер та Raspberry Pi у єдину локальну мережу. Водночас слід враховувати, що ця модель не підтримує PoE, тому пристрої, які потребують живлення через Ethernet, повинні мати окреме джерело живлення або підключатися через PoE-інжектор чи PoE-комутатор.

### 2.3.3 Обчислювальний вузол Raspberry Pi 4 Model B

Як основний обчислювальний вузол системи обрано Raspberry Pi 4 Model B з обсягом оперативної пам'яті 4 ГБ. Raspberry Pi виконує високорівневі функції системи: отримання відеопотоків від IP-камер, попередню обробку кадрів, виявлення транспортних засобів, оцінювання інтенсивності руху, визначення завантаженості напрямків і формування керуючих команд для мікроконтролера STM32 [23]. На рис. 2.4 показано Raspberry Pi 4 Model B.

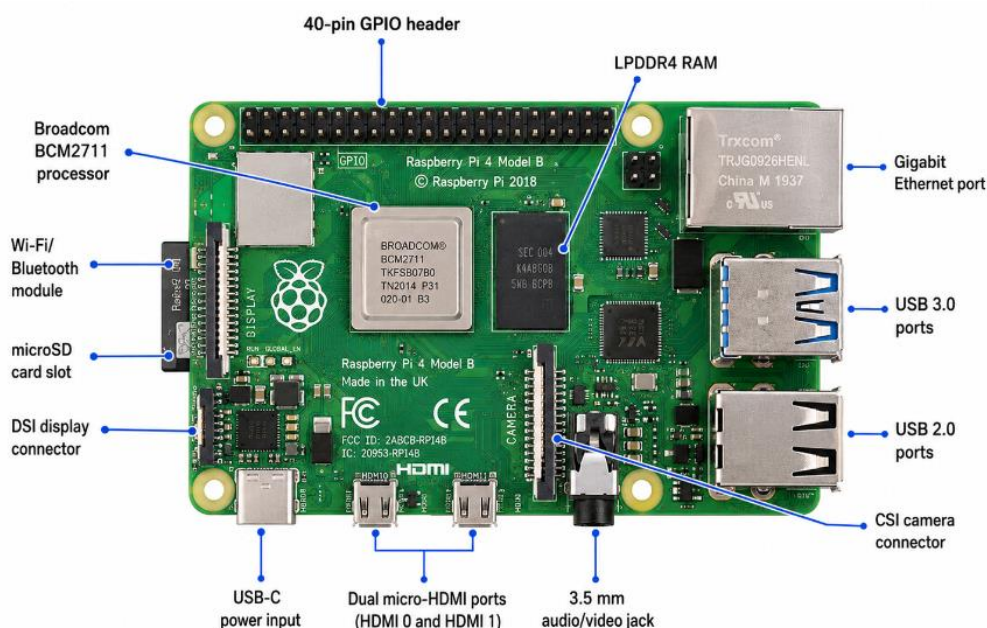


Рисунок 2.4 – Структура Raspberry Pi 4 Model B

Вибір Raspberry Pi 4 Model B [23] є доцільним, оскільки цей одноплатний комп'ютер має достатню продуктивність для реалізації базових алгоритмів

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

комп'ютерного зору, підтримує Linux-сумісні операційні системи, має Ethernet-інтерфейс, USB-порти, GPIO та UART. Версія з 4 ГБ оперативної пам'яті є компромісом між вартістю та продуктивністю, оскільки забезпечує достатній запас ресурсів для обробки відеопотоків і роботи програмного забезпечення системи.

Таблиця 2.5 – Характеристики Raspberry Pi 4 Model B

Параметр	Значення
Модель	Raspberry Pi 4 Model B
Оперативна пам'ять	4 ГБ
Процесор	Broadcom BCM2711, ARM Cortex-A72
Мережевий інтерфейс	Gigabit Ethernet, Wi-Fi
USB	2×USB 3.0, 2×USB 2.0
GPIO	40-контактний роз'єм
Програмне середовище	Raspberry Pi OS, Python, OpenCV
Призначення	Аналіз відеопотоків і прийняття рішень

У галузі комп'ютерної інженерії Raspberry Pi 4 Model B часто застосовується як центральний обчислювальний модуль у системах відеоспостереження, автоматизації, розумного дому, навчальних стендах, робототехнічних комплексах та системах збору даних. Його перевагою є поєднання відкритої програмної екосистеми, широкої підтримки Linux, великої кількості сумісних модулів і достатньої продуктивності для прикладних задач.

#### 2.3.4 Мікроконтролер STM32F103C8T6 Blue Pill

Мікроконтролерний рівень системи реалізується на базі STM32F103C8T6 Blue Pill. Цей модуль обрано як бюджетний 32-бітний мікроконтролерний вузол, достатній для керування світлофорними фазами та виконавчими пристроями. STM32 не використовується для аналізу відеопотоку. Його роль полягає у прийманні команд від Raspberry Pi, перевірці допустимості перемикання фаз, формуванні сигналів керування для релейного модуля та забезпеченні резервного режиму роботи.

Використання STM32 [24] є доцільним з погляду надійності системи. Raspberry Pi виконує ресурсоємні задачі аналізу відеоданих, а STM32 відповідає за часову логіку, перемикавання фаз і керування дискретними виходами. У разі втрати зв'язку з Raspberry Pi мікроконтролер може перейти до резервного фіксованого режиму роботи, що підвищує безпеку функціонування світлофорного об'єкта. Зовнішній вигляді мікроконтролера STM32F103C8T6 Blue Pill та його технічні характеристики наведені відповідно на рис. 2.5 та у табл. 2.6.

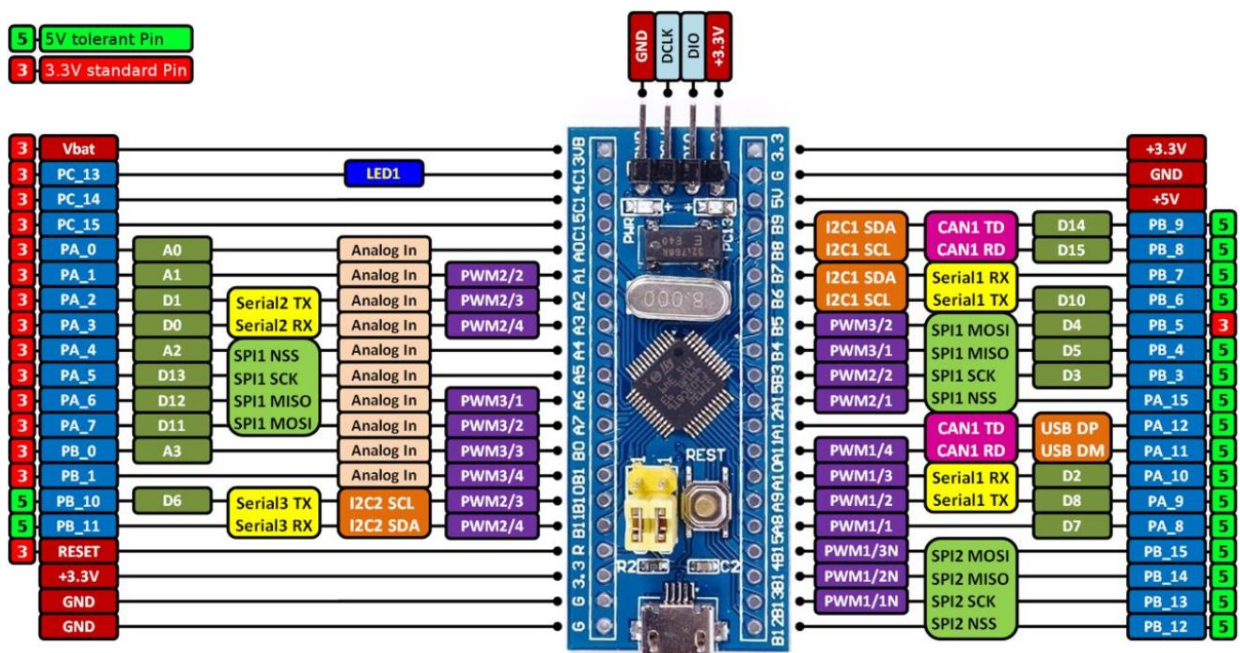


Рисунок 2.5 – STM32F103C8T6 Blue Pill

Таблиця 2.6 – Характеристики STM32F103C8T6 Blue Pill

Параметр	Значення
Ядро	ARM Cortex-M3
Тактова частота	до 72 МГц
Flash-пам'ять	64 КБ
SRAM	20 КБ
Основні інтерфейси	UART, SPI, I2C, USB, GPIO
Логічний рівень	3,3 В
Призначення	Керування світлофорними фазами та виконавчими пристроями

Плата STM32F103C8T6 Blue Pill має 64 КБ Flash-пам'яті для зберігання програми та 20 КБ SRAM для виконання програмного коду й обробки змінних. Завдяки великій кількості виводів GPIO, підтримці інтерфейсів USART, SPI, I<sup>2</sup>C, USB, CAN, а також наявності аналогово-цифрового перетворювача, модуль зручно використовувати для підключення сенсорів, виконавчих механізмів, дисплеїв, модулів зв'язку та інших електронних компонентів [24].

Blue Pill працює переважно з логічним рівнем 3,3 В, тому при підключенні зовнішніх пристроїв потрібно враховувати сумісність напруг. Живлення може подаватися через USB або відповідні контакти плати, а для програмування та налагодження часто використовують інтерфейс SWD за допомогою програматора ST-Link. Наявність кнопки Reset, кварцового резонатора, контактів BOOT0/BOOT1 та компактного формфактора робить плату зручною для макетування вбудованих систем.

У межах системи керування транспортним перехрестям STM32F103C8T6 Blue Pill використовується як локальний мікроконтролерний вузол, який відповідає за керування світлофорними секціями, зчитування сигналів від кнопок, датчиків або релейних модулів, а також за обмін даними з головним обчислювальним пристроєм Raspberry Pi.

## 2.4 Організація зв'язку між Raspberry Pi та STM32

Зв'язок між Raspberry Pi та STM32 доцільно організувати через USB-UART адаптер CP2102 або CH340 з логічним рівнем 3,3 В. Такий спосіб є недорогим, простим у реалізації та зручним для налагодження. Raspberry Pi передає на STM32 не відеопотоки, а лише короткі керуючі команди, наприклад вибір активної світлофорної фази, тривалість її дії або команду переходу до резервного режиму. Схему підключення Raspberry Pi 4 до STM32F103C8T6 наведено на рис. 2.6.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

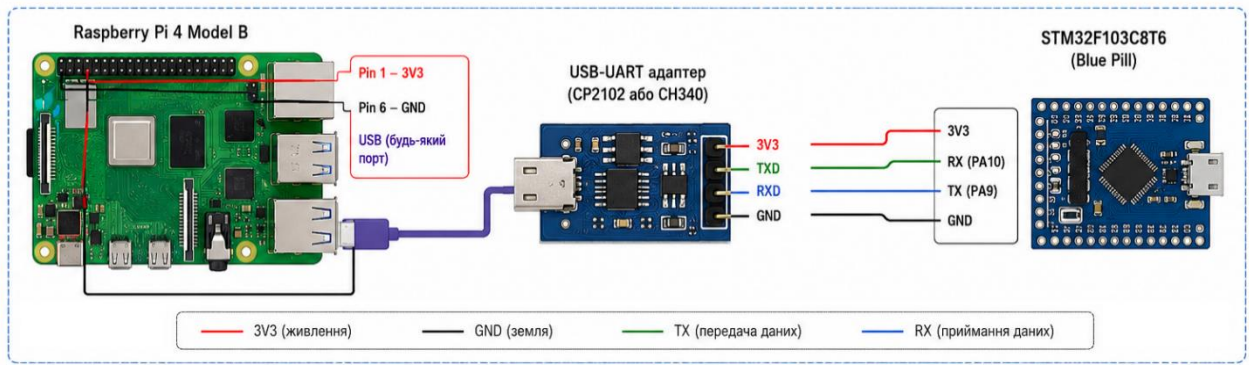


Рисунок 2.6 – Підключення Raspberry Pi до STM32

Як показано на рис. 2.6, основним варіантом з'єднання є використання USB-UART адаптера CP2102 або CH340. Raspberry Pi взаємодіє з адаптером через USB-інтерфейс, а адаптер забезпечує послідовний обмін даними зі STM32 через сигнали TXD, RXD та GND. Для STM32 використовуються виводи PA10 (RX), PA9 (TX) і спільна земля. Альтернативним варіантом є пряме UART-з'єднання між GPIO14 (TX), GPIO15 (RX) Raspberry Pi та відповідними UART-виводами STM32. Така схема є достатньою для передавання коротких керуючих повідомлень у межах макетної реалізації.

Для практичного застосування на реальному транспортному об'єкті може бути передбачений перехід на RS-485 з використанням модулів MAX485. Такий інтерфейс є стійкішим до завад і краще підходить для більших відстаней. У межах даної роботи USB-UART розглядається як основний варіант для макета, а RS-485 — як можливість подальшого вдосконалення системи. Потенційно можливі інтерфейси комунікації між Raspberry Pi та STM32 представлені у табл. 2.7.

Таблиця 2.7 – Інтерфейси зв'язку Raspberry Pi та STM32

Варіант	Компонент	Призначення
Основний для макета	USB-UART CP2102 або CH340, 3,3 В	Передавання команд між Raspberry Pi та STM32
Альтернативний варіант	Пряме UART-з'єднання 3,3 В	Передавання команд без додаткового USB-UART адаптера
Можливий для розширення	2×MAX485 TTL–RS485	Заводостійкий зв'язок на більшу відстань

## 2.5 Виконавчий рівень системи керування транспортним перехрестям

### 2.5.1 Релейний модуль SRD-05VDC-SL-C

Виконавчий рівень системи реалізується за допомогою 8-канального релейного модуля 5 В з опторозв'язкою SRD-05VDC-SL-C. Використання релейного модуля обумовлене тим, що GPIO-виводи мікроконтролера не призначені для безпосередньої комутації навантаження світлофорних секцій. STM32 формує лише низьковольтні логічні сигнали, тоді як релейний модуль забезпечує перемикання живлення окремих LED-секцій.

Модуль SRD-05VDC-SL-C має вісім незалежних каналів, тому його достатньо для керування основними групами світлофорних сигналів. Наприклад, шість каналів можуть бути використані для червоного, жовтого та зеленого сигналів двох транспортних напрямків, а решта каналів – для пішохідних сигналів або аварійної індикації. Типові 8-канальні модулі живляться від 5 В, мають оптронну розв'язку, підтримують керування TTL-рівнями та використовують реле з контактами, розрахованими на комутацію навантаження до 10 А при 250 В АС або 10 А при 30 В DC. Для одного реле типовий струм спрацювання становить близько 70 мА, а для всіх восьми реле – близько 480 – 600 мА. На рис. 2.7 показано релейний модуль SRD-05VDC-SL-C з опторозв'язкою.

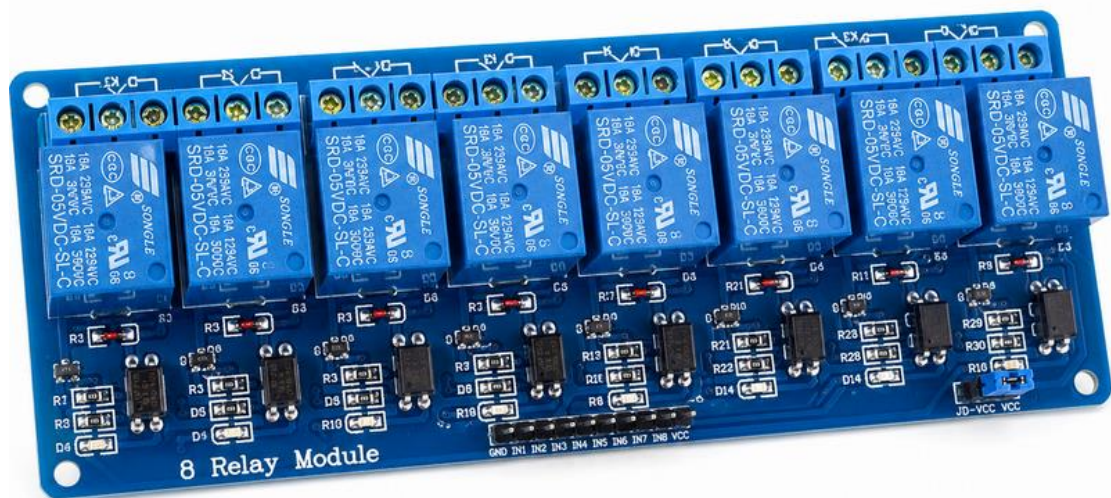


Рисунок 2.7 – Релейний модуль SRD-05VDC-SL-C на 8 каналів з опторозв'язкою

					КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

Схема електрична-принципова одного каналу представлена на рис. 2.8.

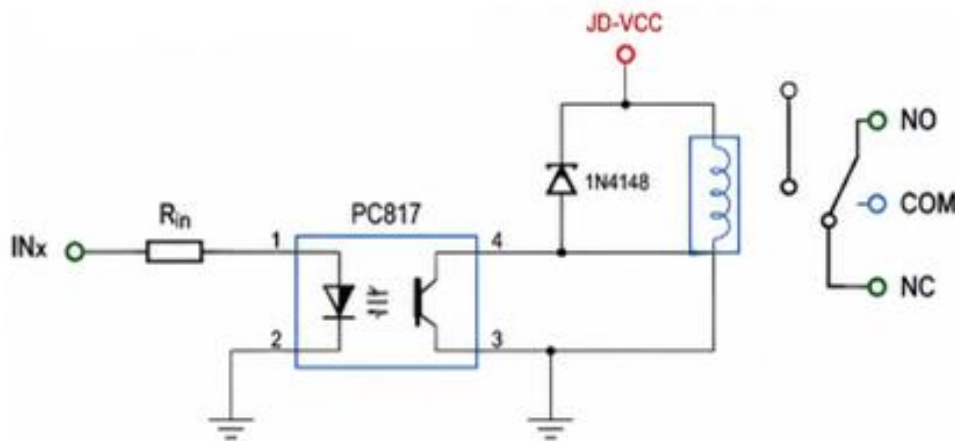


Рисунок 2.8 – Схема електрична-принципова для одного каналу модуля SRD-05VDC-SL-C

В архітектурі системи передбачено, що релейний модуль живиться від окремої лінії 5 В, сформованої DC-DC перетворювачем LM2596. Важливо не живити релейний модуль безпосередньо від Raspberry Pi або STM32, оскільки одночасне спрацювання кількох реле може спричинити просідання напруги та нестабільну роботу керуючих пристроїв. Для коректної роботи системи необхідно об'єднати спільну землю STM32, релейного модуля та джерела живлення.

У разі використання світлодіодних секцій на 12 В контакти реле комутують саме лінію живлення 12 В, яка подається на відповідні червоні, жовті або зелені секції світлофора. При цьому STM32 залишається електрично відокремленим від силової частини та не бере участі у безпосередньому живленні навантаження.

### 2.5.2 Світлофорні LED-секції 12 В

Для візуального відображення сигналів світлофора у макетній реалізації системи обрано світлодіодні індикатори AD16-22DS 12 В червоного, жовтого та зеленого кольорів. Такі елементи є бюджетною альтернативою повнорозмірним

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

світлофорним секціям і дають змогу змоделювати макет транспортного перехрестя.

Світлодіодні індикатори типу AD16-22DS призначені для панельного монтажу та використовуються як сигнальні лампи в електричних щитах, пультах керування й автоматизованих системах. Вони випускаються у різних кольорах, зокрема червоному, жовтому та зеленому, що відповідає кольорам світлофорного регулювання. Типові моделі AD16-22DS мають доступні напруги 12 В, 24 В, 110 В або 220 В, а споживаний струм для LED-варіантів становить близько 20 мА.

У межах кваліфікаційної роботи індикатори AD16-22DS 12 В використовуються як світлофорні LED-секції для двох основних транспортних напрямків: північ–південь та схід–захід. Для кожного напрямку передбачено три сигнали: червоний, жовтий і зелений. Додатково можуть бути встановлені пішохідні сигнали червоного та зеленого кольорів. Таким чином, для формування базового прототипу системи необхідно щонайменше шість індикаторів, а для розширеного варіанта з пішохідними переходами — вісім або більше.

Керування світлофорними LED-секціями здійснюється через 8-канальний релейний модуль. Контакти реле комутують лінію живлення 12 В для відповідного індикатора, тоді як STM32 формує лише логічний сигнал керування реле. Такий підхід забезпечує електричне розділення між мікроконтролерною частиною та виконавчими елементами світлофорного макета.

### 2.5.3 Схема підключення STM32 до релейного модуля та світлофорних секцій

При підключенні мікроконтролера STM32 до релейного модуля та світлофорних LED-секцій запропоновано схему, яка наведена на рис. 2.9.

Сигнали керування з виводів PA0–PA5, PB0, PB1 мікроконтролера STM32 подаються на входи IN1–IN8 релейного модуля.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Виходи релейного модуля підключаються до відповідних світлофорних LED-секцій, які згруповані за напрямками руху: окремо для напрямку Північ–Південь, окремо для напрямку Схід–Захід і для пішохідних сигналів.

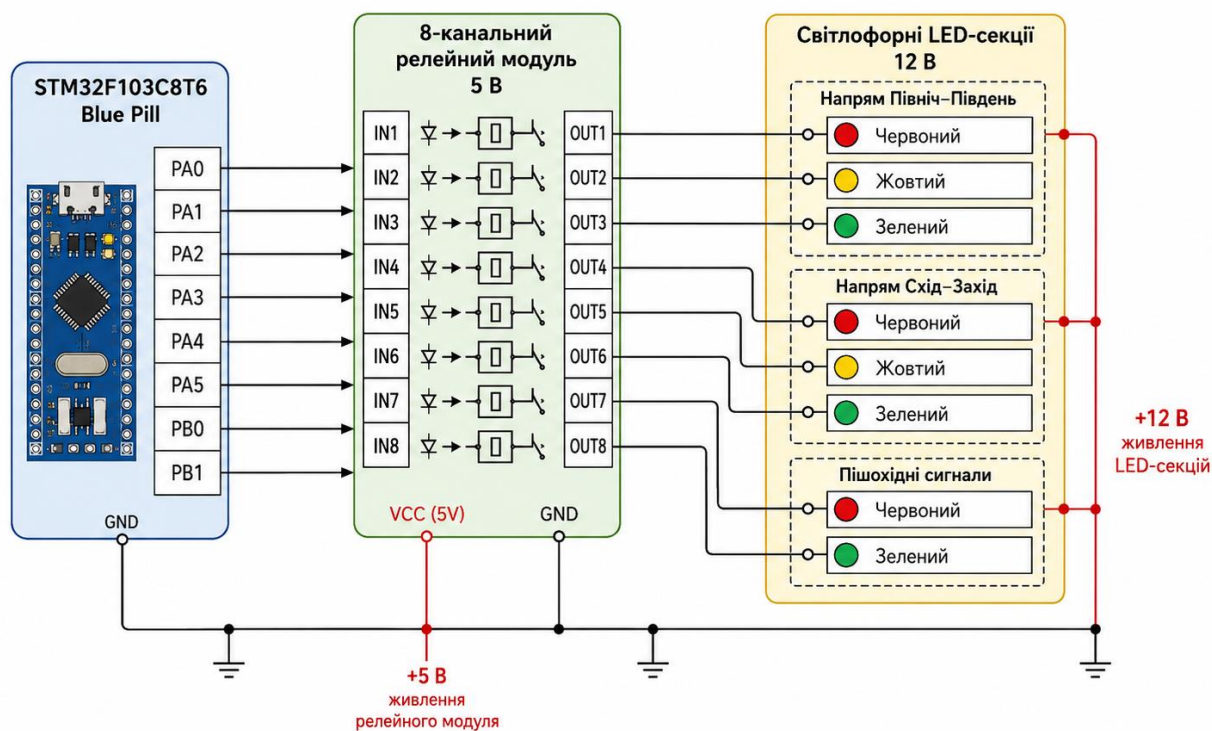


Рисунок 2.9 – Схема підключення STM32 до релейного модуля та світлофорних LED-секцій

Релейний модуль живиться від джерела 5 В, а світлофорні LED-секції – від окремої лінії 12 В. Таким чином, STM32 формує тільки логічні сигнали керування, а релейний модуль виконує фізичну комутацію живлення LED-секцій.

## 2.6 Система живлення компонентів комп'ютерної системи керування потоками транспортного перехрестя

Система живлення в конфігурації без PoE будується на основі одного блока живлення 12 В, 10 А. Від нього живляться IP-камери, світлофорні LED-секції та, через понижувальні DC-DC перетворювачі, інші компоненти системи. Для Raspberry Pi формується стабілізована напруга 5 В зі струмом не менше 3 А.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Для STM32 та релейного модуля також використовується напруга 5 В або 3,3 В залежно від конкретного способу підключення. Як понижувальні перетворювачі використовуються модулі LM2596, які є поширеним і доступним рішенням для такого класу систем. Структурну схему живлення апаратних компонентів системи наведено на рис. 2.10.

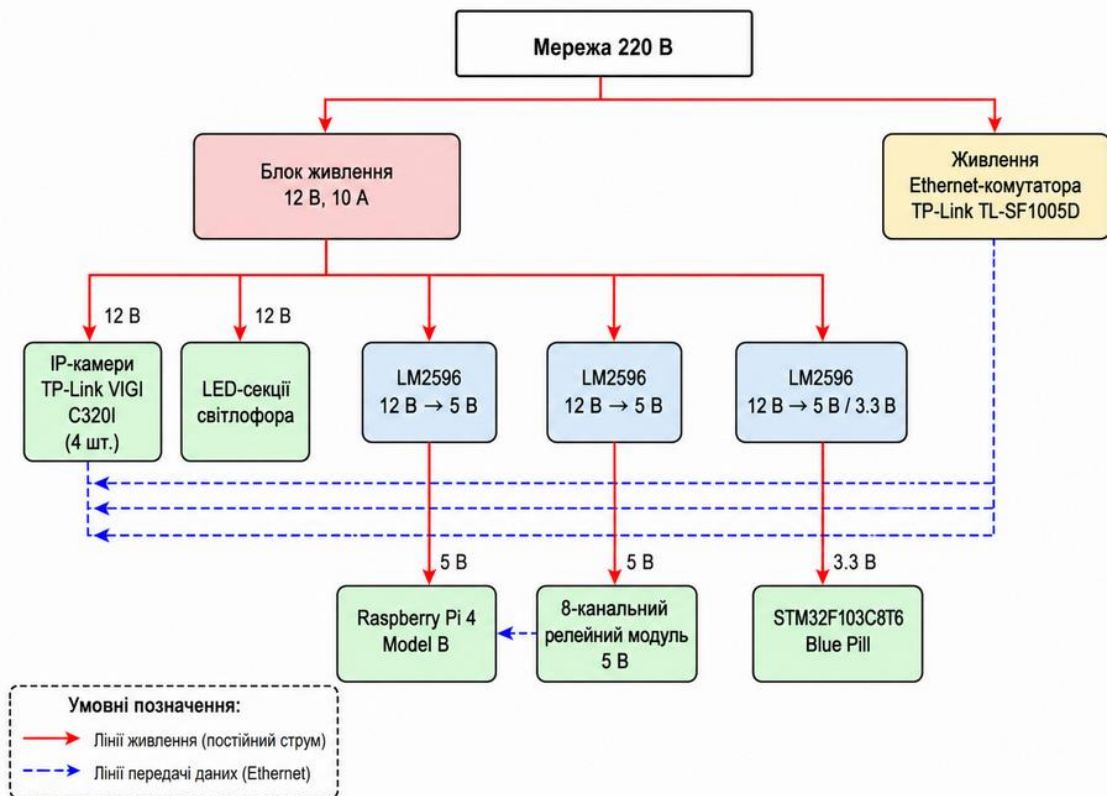


Рисунок 2.10 – Структурна схема живлення апаратних компонентів системи

Як показано на рис. 2.10, верхній рівень становить мережа 220 В, від якої живляться два основні вузли: блок живлення 12 В, 10 А та Ethernet-комутатор TP-Link TL-SF1005D. Від блока живлення 12 В безпосередньо живляться IP-камери та LED-секції світлофора, а також понижувальні DC-DC перетворювачі LM2596, які формують необхідні рівні напруги для Raspberry Pi, релейного модуля та STM32. На схемі умовно розділено лінії живлення постійного струму та лінії передавання даних Ethernet, що дозволяє чітко відокремити енергетичну та інформаційну структуру системи. Рекомендовані параметри живлення компонентів комп'ютерних систем наведено у табл. 2.8.

Таблиця 2.8 – Рекомендовані параметри живлення компонентів системи

Компонент	Живлення
Основне джерело	12 В DC, 10 А
ІР-камери	12 В DC окремими лініями живлення
Raspberry Pi 4	5 В, не менше 3 А через DC-DC 12→5 В
STM32F103C8T6	5 В на плату або 3,3 В стабілізовано
Релейний модуль	5 В
LED-секції світлофора	12 В
DC-DC перетворювачі	LM2596 або аналоги

У конфігурації без PoE кабельна інфраструктура складається з двох типів ліній: Ethernet-ліній для передавання відеопотоків і ліній живлення 12 В для камер та світлофорних секцій. Кожна камера з'єднується з комутатором окремим кабелем Cat5e або Cat6, а живлення до неї подається окремим двожильним кабелем від блока живлення 12 В або від локального адаптера живлення.

Таким чином, обрана апаратна конфігурація забезпечує реалізацію всіх базових функцій комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям. Використання камер TP-Link VIGI C320I дає змогу отримувати відеопотоки з усіх напрямків руху, Raspberry Pi забезпечує обробку відеоданих і прийняття рішень, а STM32 реалізує безпечне та надійне керування виконавчими пристроями. Релейний модуль забезпечує комутацію світлофорних LED-секцій, а система живлення на основі блока 12 В та перетворювачів LM2596 дозволяє узгодити електричні параметри всіх компонентів.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### РОЗДІЛ 3 АЛГОРИТМІЧНЕ ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМП'ЮТЕРНОЇ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМ

#### 3.1 Алгоритм функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

Розроблення алгоритму функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям є важливим етапом створення програмного забезпечення, оскільки саме алгоритм визначає послідовність дій системи від моменту отримання відеоданих до формування керуючих сигналів для світлофорного обладнання.

Загальний принцип роботи комп'ютерної системи полягає у тому, що відеопотоки з камер спостереження надходять до Raspberry Pi, де виконується їх програмна обробка. На основі аналізу зображень визначається поточне завантаження напрямків руху. Після цього обчислювальний модуль приймає рішення щодо вибору світлофорної фази та передає відповідну команду на STM32. Мікроконтролер перевіряє коректність отриманої команди, формує сигнали керування для релейного модуля та забезпечує перемикання світлофорних LED-секцій.

Алгоритм роботи системи можна поділити на декілька основних етапів:

- ініціалізація апаратних і програмних компонентів;
- отримання відеопотоків з IP-камер;
- попередня обробка відеокадрів;
- виявлення транспортних засобів у контрольованих зонах;
- оцінювання завантаженості напрямків руху;
- вибір пріоритетного напрямку або режиму світлофорної фази;

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Адам'як Р.А.</i>			<i>Алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив.</i>		<i>Ясній О.П.</i>					46	
<i>Реценз.</i>		<i>Петрик М.Р.</i>				<i>ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41</i>		
<i>Н. Контр.</i>		<i>Луцик Н.С.</i>						
<i>Затверд.</i>		<i>Осухівська Г.М.</i>						

- формування команди керування;
- передавання команди на STM32;
- перемикання світлофорних сигналів через релейний модуль;
- збереження або відображення службової інформації;
- перехід до наступного циклу аналізу.

На початковому етапі виконується запуск програмного забезпечення на Raspberry Pi. Під час ініціалізації перевіряється доступність IP-камер, стан мережевого з'єднання, можливість відкриття відеопотоків та наявність зв'язку з мікроконтролером STM32 через USB-UART або UART-інтерфейс. Якщо один із компонентів недоступний, система повинна зафіксувати помилку та перейти у безпечний режим роботи. Наприклад, у разі відсутності відеопотоку керування світлофором може виконуватися за фіксованим часовим циклом.

Після успішної ініціалізації система переходить до отримання відеопотоків. Кожна IP-камера контролює окремий підхід до перехрестя, тому для кожного напрямку формується окремий потік даних. Raspberry Pi отримує ці потоки через локальну мережу та передає кадри до модуля аналізу. Для зменшення обчислювального навантаження може виконуватися зниження роздільної здатності кадру, пропуск частини кадрів або обробка лише визначеної області інтересу.

Попередня обробка відеокadrів передбачає підготовку зображення до подальшого аналізу. На цьому етапі можуть виконуватися перетворення кольорів, згладжування зображення, масштабування кадру, виділення контрольованих зон і фільтрація зайвих областей. Наприклад, для кожної камери можна визначити зону, яка відповідає ділянці дороги перед стоп-лінією. Саме в цій зоні виконується підрахунок транспортних засобів або оцінювання довжини черги.

Наступним етапом є виявлення транспортних засобів. У межах кваліфікаційної роботи це може виконуватися різними способами: за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору, аналізу руху в кадрі або використання попередньо навченої моделі виявлення об'єктів. Результатом цього етапу є

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

визначення кількості транспортних засобів у кожному напрямку. Отримані значення надалі використовуються для розрахунку рівня завантаженості.

Для кожного напрямку руху система обчислює умовний показник завантаженості. У найпростішому випадку він може визначатися як кількість виявлених транспортних засобів у контрольованій зоні. Якщо в одному напрямку кількість транспортних засобів суттєво перевищує кількість на інших напрямках, цей напрямок може отримати пріоритет під час вибору наступної світлофорної фази. При цьому система повинна враховувати обмеження безпеки: не можна одночасно дозволяти рух конфліктним потокам, а перемикання фаз має виконуватися через проміжний жовтий сигнал.

Після визначення завантаженості напрямків модуль прийняття рішень формує команду керування. Наприклад, якщо найбільше навантаження зафіксовано на напрямку північ–південь, система може сформувати команду на увімкнення зеленої фази для цього напрямку. Якщо переважає потік схід–захід, формується відповідна команда для іншої фази. Тривалість зеленої фази може бути сталою або змінюватися залежно від кількості транспортних засобів.

Команда передається з Raspberry Pi на STM32 через послідовний інтерфейс. У команді може міститися інформація про тип фази, напрямок руху та тривалість сигналу. Наприклад, повідомлення може мати вигляд `#SET_PHASE,NS,30*`, де NS означає напрямок північ–південь, а 30 — тривалість зеленої фази у секундах. STM32 приймає повідомлення, перевіряє його структуру та виконує відповідне перемикання релейних каналів.

Мікроконтролер STM32 відповідає за безпечне керування світлофорними секціями. Він не виконує аналіз відеоданих, а реалізує низькорівневу логіку роботи світлофора: увімкнення та вимкнення відповідних LED-секцій, дотримання послідовності фаз, контроль жовтого сигналу, обробку некоректних команд та перехід у резервний режим. Такий розподіл функцій підвищує надійність системи, оскільки навіть у разі збою Raspberry Pi мікроконтролер може продовжувати роботу за фіксованою програмою.

Загальний алгоритм функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям подано у вигляді блок-схеми на рис. 3.1.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

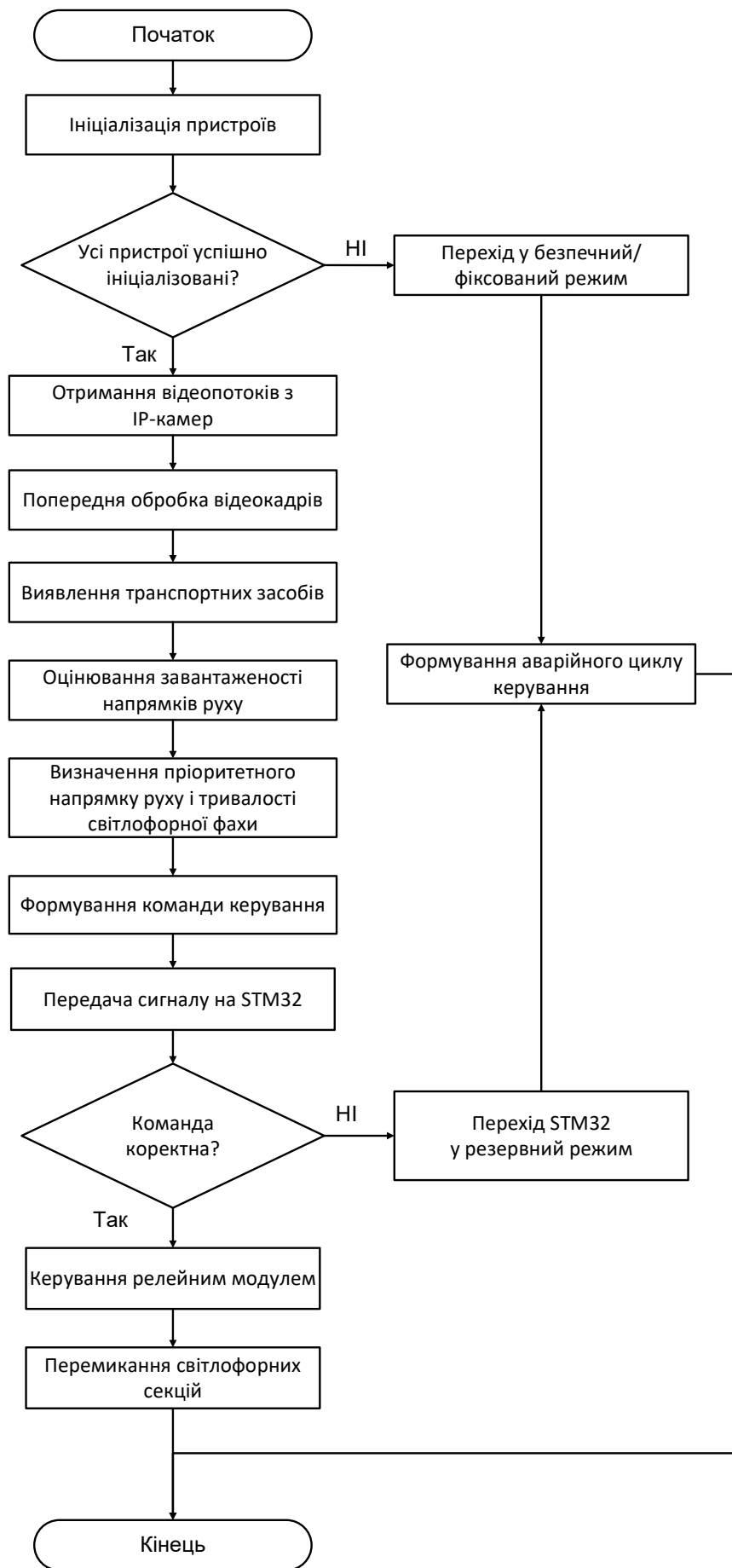


Рисунок 3.1 – Блок-схема алгоритму функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Після виконання керуючої дії система повертається до аналізу поточної дорожньої ситуації. Таким чином, робота системи має циклічний характер: відеодані постійно оновлюються, завантаженість напрямків перераховується, а режим роботи світлофора може адаптуватися до зміни транспортного потоку. Це дозволяє реалізувати принцип адаптивного керування, за якого світлофорні фази визначаються не лише наперед заданим циклом, а й поточним станом перехрестя.

Для забезпечення стабільності роботи в алгоритмі необхідно передбачити обробку аварійних ситуацій. До таких ситуацій належать втрата відеопотоку з камери, відсутність зв'язку між Raspberry Pi та STM32, некоректна команда керування, помилка виявлення транспортних засобів або перевантаження обчислювального модуля. У таких випадках система повинна перейти до безпечного режиму, наприклад до фіксованого світлофорного циклу, який реалізується безпосередньо на STM32.

Отже, запропонований алгоритм забезпечує послідовну взаємодію всіх компонентів системи: IP-камер, Raspberry Pi, STM32, релейного модуля та світлофорних LED-секцій. Його особливістю є розподіл задач між обчислювальним і мікроконтролерним рівнями. Raspberry Pi виконує аналіз відеопотоків і прийняття рішень, а STM32 забезпечує надійне перемикання світлофорних сигналів. Такий підхід дозволяє поєднати можливості комп'ютерного зору з апаратною надійністю мікроконтролерного керування.

### 3.2 Програмний модуль аналізу відеопотоків

Програмний модуль аналізу відеопотоків є центральною частиною комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям, оскільки саме він забезпечує перетворення відеоданих із камер у числові параметри, необхідні для прийняття керуючих рішень. Відповідно до апаратної структури, сформованої у другому розділі, відеопотоки надходять від IP-камер до обчислювального вузла

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Raspberry Pi через локальну мережу, після чого результати аналізу використовуються для формування команд керування для STM32.

У розроблюваній системі програмний модуль аналізу відеопотоків реалізується на Raspberry Pi 4 Model B. Основними задачами цього модуля є отримання відеопотоків з IP-камер, попередня обробка кадрів, виділення контрольованих зон, виявлення транспортних засобів, підрахунок кількості об'єктів на кожному напрямку та визначення рівня завантаженості транспортного потоку.

Для виявлення транспортних засобів у роботі запропоновано використати попередньо навчену модель машинного навчання сімейства YOLO. У межах даної системи пропонується застосування моделі YOLOv5n, оскільки вона є полегшеною версією YOLOv5 і має відносно невелику обчислювальну складність. Це важливо для роботи на одноплатному комп'ютері Raspberry Pi, ресурси якого обмежені порівняно з повноцінним настільним ПК або сервером із графічним прискорювачем.

Модель YOLOv5n використовується не для самостійного навчання з нуля, а як попередньо навчена модель виявлення об'єктів. Це спрощує реалізацію системи, оскільки модель уже здатна розпізнавати типові класи об'єктів, серед яких є транспортні засоби. У межах задачі керування перехрестям доцільно враховувати такі класи: car, bus, truck, motorcycle. Інші об'єкти, які можуть бути виявлені моделлю, наприклад люди, тварини або предмети дорожньої інфраструктури, не використовуються для розрахунку транспортного навантаження.

Загальна логіка роботи програмного модуля має такий вигляд: IP-камера передає відеопотік до Raspberry Pi, кадр з відеопотоку передається на вхід моделі YOLOv5n, модель визначає транспортні засоби та формує обмежувальні рамки навколо них. Після цього програмний модуль перевіряє, чи потрапляють виявлені об'єкти у заздалегідь задану контрольовану зону. Якщо об'єкт належить до транспортного класу і розташований у зоні контролю, він враховується під час підрахунку завантаженості відповідного напрямку.

Загальний процес аналізу відеопотоку проілюстровано на рис. 3.2.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

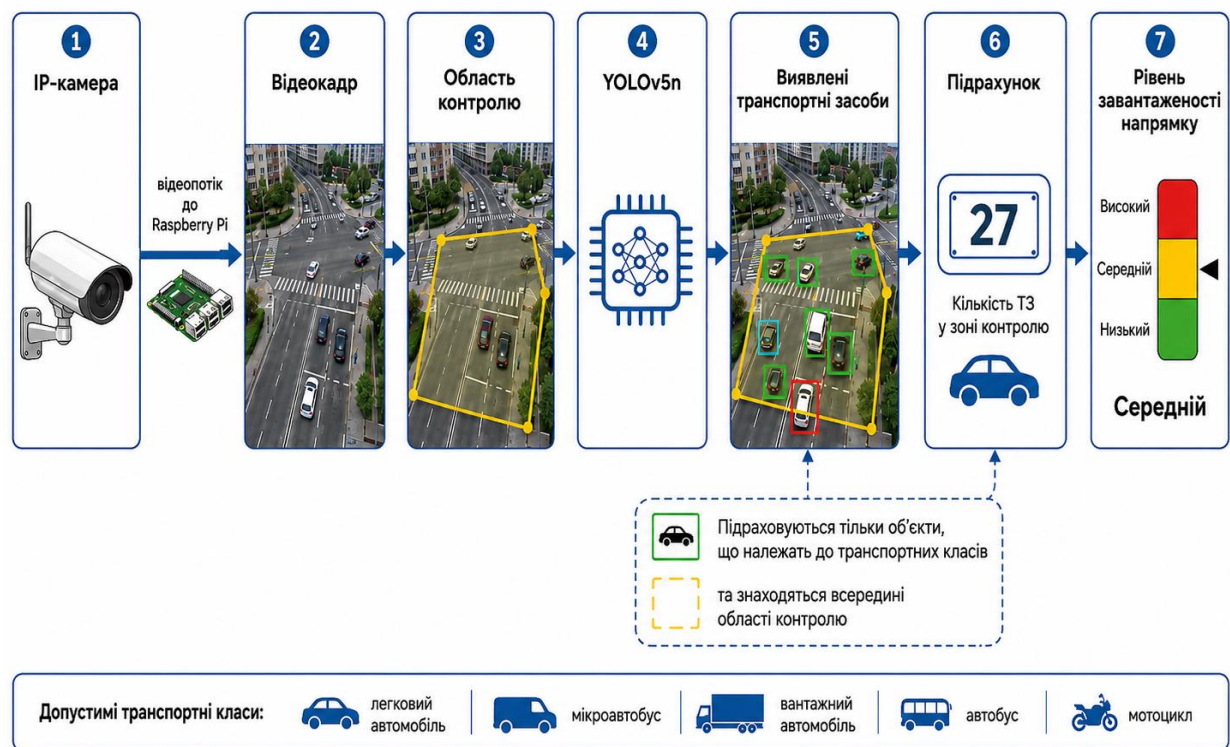


Рисунок 3.2 – Процес аналізу відеопотоку

Для реалізації програмного модуля доцільно використати мову програмування Python, бібліотеку OpenCV для роботи з відеопотоками та засоби запуску моделі YOLOv5n. Python є зручним для швидкої розробки, має велику кількість бібліотек для роботи з відео, неймережевими моделями та послідовним портом. OpenCV використовується для відкриття RTSP-потоків, зчитування кадрів, масштабування зображення, виділення областей інтересу та візуалізації результатів.

Отримання відеоданих може здійснюватися через RTSP-потоки IP-камер. Для кожної камери задається мережева адреса відеопотоку, після чого Raspberry Pi відкриває відповідний потік і послідовно отримує кадри для аналізу. Оскільки система передбачає роботу з кількома камерами, для кожного напрямку створюється окреме джерело відеоданих.

Приклад відкриття відеопотоку з IP-камери засобами OpenCV наведено на у лістингу на рис. 3.3.

```

import cv2

camera_url = "rtsp://user:password@192.168.1.101:554/stream1"
cap = cv2.VideoCapture(camera_url)

while True:
    ret, frame = cap.read()
    if not ret:
        print("Помилка отримання кадру")
        break

    # подальша обробка кадру
    cv2.imshow("Camera", frame)

    if cv2.waitKey(1) == 27:
        break

cap.release()
cv2.destroyAllWindows()

```

Рисунок 3.3 – Захоплення відеопотоку за допомогою OpenCV

У наведеному фрагменті змінна `camera_url` містить адресу RTSP-потoku IP-камери, а об'єкт `VideoCapture` використовується для зчитування кадрів. У повній реалізації такі потоки відкриваються для всіх камер, що контролюють перехрестя.

Для зменшення обчислювального навантаження на Raspberry Pi доцільно не обробляти кожен кадр відеопотоку. Наприклад, система може аналізувати один кадр із кожних 3–5 кадрів або виконувати обробку з частотою 2–5 разів на секунду. Для задачі оцінювання черги транспортних засобів цього достатньо, оскільки транспортна ситуація на підході до перехрестя змінюється повільніше, ніж окремі кадри відео.

Після отримання кадру виконується його попередня обробка. Вона включає масштабування зображення, приведення до формату, придатного для моделі YOLO, а також виділення області контролю. Область контролю – це частина кадру, у якій система повинна враховувати транспортні засоби. Для кожної камери така зона задається окремо, оскільки розташування камери, кут огляду та геометрія дороги можуть відрізнитися.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

Приклад виділення області контролю показано у лістингу на рис. 3.4.

```
# координати контрольованої зони
x1, y1 = 120, 220
x2, y2 = 520, 460

roi = frame[y1:y2, x1:x2]
```

Рисунок 3.4 – Встановлення меж області контролю перехрестя

Після виділення зони контролю кадр передається до моделі YOLOv5n. Модель виконує детекцію об'єктів і повертає список виявлених елементів. Для кожного об'єкта визначаються клас, координати обмежувальної рамки та значення впевненості. До подальшого аналізу беруться лише об'єкти, які належать до транспортних класів і мають достатній рівень впевненості, наприклад понад 0,4 або 0,5. У табл. 3.1 наведено класи об'єктів, які враховуються при аналізі відеопотоку.

Таблиця 3.1 – Класи об'єктів, що враховуються під час аналізу відеопотоку

Клас об'єкта	Призначення в системі
car	Виявлення легкових автомобілів
bus	Виявлення автобусів
truck	Виявлення вантажних автомобілів
motorcycle	Виявлення мотоциклів

Після виявлення транспортних засобів виконується їх підрахунок. Найпростішим варіантом є підрахунок кількості виявлених об'єктів у контрольованій зоні для кожного напрямку. Наприклад, якщо на східному напрямку виявлено сім транспортних засобів, а на північному – два, то східний напрямок отримує вищий рівень завантаженості. Далі ці дані передаються до алгоритму прийняття рішень для визначення світлофорної фази.

Для збереження результатів аналізу доцільно використовувати структуру даних, у якій для кожного напрямку фіксується кількість транспортних засобів і умовний рівень завантаженості. Для цього можна використати структуру даних словник. Тоді стан транспортного потоку програмно виглядає так, як показано на рис. 3.5.

```
traffic_state = {  
    "north": {"vehicles": 2, "load": "low"},  
    "south": {"vehicles": 4, "load": "medium"},  
    "east": {"vehicles": 7, "load": "high"},  
    "west": {"vehicles": 3, "load": "medium"}  
}
```

Рисунок 3.5 – Зберігання даних про транспортний потік

Рівень завантаженості може визначатися на основі простих порогових правил. Наприклад, якщо у контрольованій зоні виявлено від 0 до 2 транспортних засобів, напрямок вважається малозавантаженим. Якщо кількість транспортних засобів становить від 3 до 5, завантаженість визначається як середня. Якщо виявлено 6 або більше транспортних засобів, напрямок вважається високозавантаженим.

У процесі роботи програмний модуль повинен враховувати можливі помилки. До них належать втрата відеопотоку, відсутність доступу до камери, низька якість зображення, некоректна робота моделі виявлення об'єктів або перевантаження Raspberry Pi. У разі виникнення таких ситуацій система не повинна формувати рішення на основі некоректних даних. Якщо відеодані недоступні або аналіз неможливо виконати, Raspberry Pi має передати інформацію про помилку, а STM32 повинен забезпечити перехід до резервного фіксованого режиму світлофорного керування.

Таким чином, програмний модуль аналізу відеопотоків забезпечує автоматичне визначення транспортного навантаження на транспортному перехресті.

Використання попередньо навченої моделі YOLOv5n дає змогу виявляти основні типи транспортних засобів у відеокадрах без необхідності самостійного навчання моделі. Отримані дані про кількість автомобілів, автобусів, вантажівок і мотоциклів у контрольованих зонах використовуються для визначення рівня завантаженості напрямків і подальшого вибору світлофорної фази.

### 3.3 Алгоритм прийняття рішень при керуванні фазами світлофорів

Алгоритм прийняття рішень є одним із ключових елементів програмного забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям. Його призначення полягає у перетворенні результатів аналізу відеопотоків у конкретні дії щодо управління світлофорним обладнанням. Якщо програмний модуль аналізу відеопотоків визначає кількість транспортних засобів на перехресті, то модуль прийняття рішень визначає, який напрямок має отримати пріоритет, яку світлофорну фазу необхідно активувати та якою має бути її тривалість.

У розроблюваній в роботі системі прийняття рішень виконується на обчислювальному модулі Raspberry Pi. Після обробки кадрів із IP-камер та виявлення транспортних засобів за допомогою моделі YOLOv5n для кожного контрольованого напрямку формується числове значення, що відповідає кількості транспортних засобів у зоні контролю. Ці значення використовуються для оцінювання завантаженості напрямків і вибору світлофорної фази. Подальше фізичне перемикання сигналів виконує STM32 через релейний модуль, як це передбачено апаратною структурою системи.

Після визначення кількості транспортних засобів система порівнює завантаженість напрямків. Якщо значення північного і південного напрямків перевищує східного та західного, то пріоритет надається напрямку північ–південь. Якщо ж більшим є значення східного і західного напрямку, то пріоритет отримує напрямок схід–захід. У випадку приблизно однакового навантаження система може працювати за стандартним фіксованим циклом або по чергово надавати пріоритет напрямкам.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Однак пряме перемикання світлофора лише за максимальним значенням кількості транспортних засобів може призвести до ситуації, коли один напрямок постійно отримуватиме перевагу, а інший буде очікувати надто довго. Тому в алгоритмі необхідно передбачити обмеження мінімальної та максимальної тривалості зеленої фази, а також механізм чергування фаз. Це дозволяє забезпечити не лише ефективність, а й справедливість керування.

У роботі пропонується використати простий адаптивний алгоритм, у якому тривалість зеленої фази залежить від рівня завантаженості пріоритетного напрямку. Для цього вводяться три рівні завантаженості: низький, середній і високий (табл. 3.2). Кожному рівню відповідає певна тривалість зеленого сигналу. Такий підхід є достатньо простим для реалізації на Raspberry Pi і водночас дозволяє продемонструвати принцип адаптивного керування світлофором.

Таблиця 3.2 – Правила вибору тривалості зеленої фази

Кількість транспортних засобів у напрямку	Рівень завантаженості	Тривалість зеленої фази
0–2	Низький	10 с
3–5	Середній	20 с
6 і більше	Високий	30 с

Окрім тривалості зеленої фази, алгоритм повинен враховувати проміжний жовтий сигнал. Жовта фаза використовується для попередження учасників дорожнього руху про зміну сигналу та забезпечення безпечного завершення руху транспортних засобів, які вже перебувають у зоні перехрестя. При програмній реалізації можна прийняти фіксовану тривалість жовтого сигналу, наприклад, 3 с.

Для уникнення небезпечних ситуацій алгоритм повинен забороняти одночасне ввімкнення зеленого сигналу для конфліктних напрямків. Наприклад, якщо активною є фаза північ–південь, то для напрямку схід–захід має бути

увімкнений червоний сигнал. Ця логіка додатково контролюється STM32, який перевіряє допустимість отриманої команди перед перемиканням релейних каналів.

Алгоритм прийняття рішень можна описати такою послідовністю дій. Спочатку система отримує результати аналізу відеопотоків для всіх підходів до перехрестя. Далі обчислюються узагальнені показники завантаженості напрямків північ–південь і схід–захід. Після цього визначається напрямок із більшим навантаженням. Для вибраного напрямку визначається тривалість зеленої фази відповідно до кількості виявлених транспортних засобів. Після цього формується команда для STM32 у вигляді повідомлення, що містить назву фази та її тривалість. На рис. 3.6 представлено алгоритм прийняття рішень щодо увімкнення фаз світлофора.

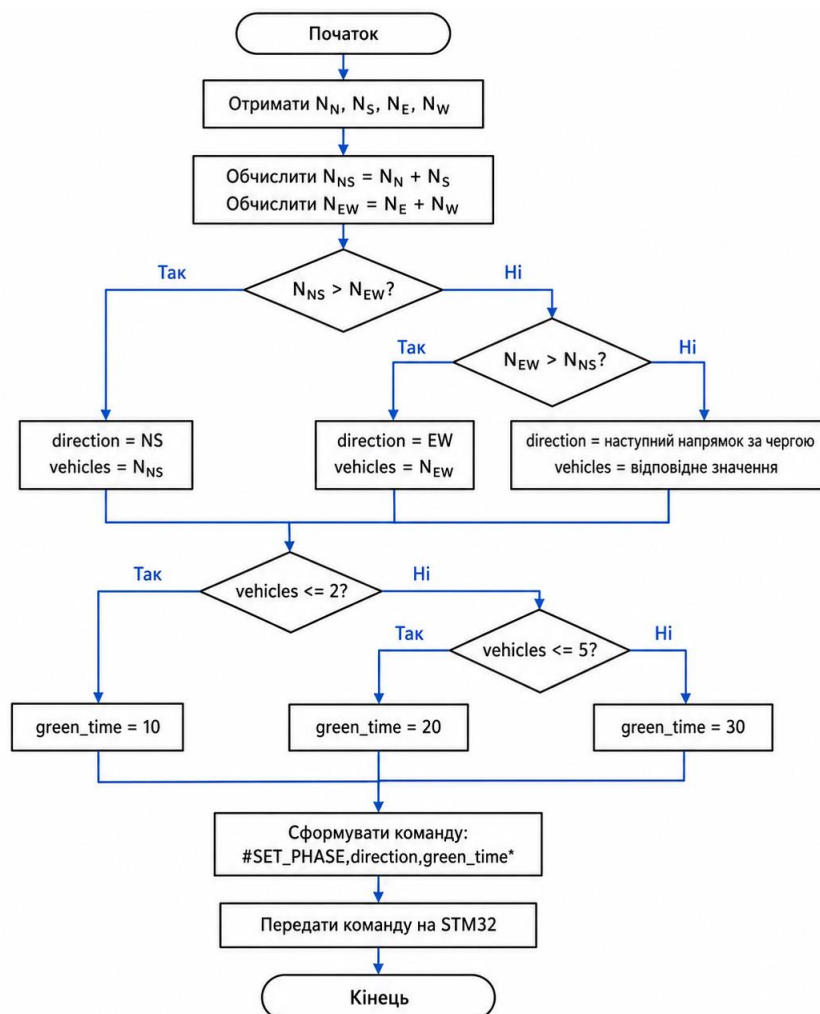


Рисунок 3.6 – Алгоритм прийняття рішень при управлінні фазами світлофора

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

У програмній реалізації цей алгоритм може бути поданий функцією, яка отримує структуру даних із результатами аналізу відеопотоків і повертає команду для мікроконтролера. На рис. 3.7 показано лістинг функції реалізації алгоритму прийняття рішень.

```
def choose_phase(traffic_state, last_direction):
    n_ns = traffic_state["north"]["vehicles"] + traffic_state["south"]["vehicles"]
    n_ew = traffic_state["east"]["vehicles"] + traffic_state["west"]["vehicles"]

    if n_ns > n_ew:
        direction = "NS"
        vehicles = n_ns
    elif n_ew > n_ns:
        direction = "EW"
        vehicles = n_ew
    else:
        direction = "EW" if last_direction == "NS" else "NS"
        vehicles = n_ew if direction == "EW" else n_ns

    if vehicles <= 2:
        green_time = 10
    elif vehicles <= 5:
        green_time = 20
    else:
        green_time = 30

    command = f"#SET_PHASE,{direction},{green_time}*"
    return command, direction
```

Рисунок 3.7 – Функція реалізації алгоритму вибору фаз світлофора

У цьому прикладі змінна `traffic_state` містить результати аналізу відеопотоків, а `last_direction` використовується для чергування фаз у випадку однакового завантаження напрямків. Функція повертає команду, яка може бути передана на STM32 через UART або USB-UART.

Важливою частиною алгоритму є перевірка обмежень. Перед формуванням команди система повинна переконатися, що отримані дані є коректними. Наприклад, кількість транспортних засобів не може бути від'ємною, напрямок повинен належати до допустимого набору значень, а тривалість фази має перебувати в заданих межах.

					<i>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 3.4 Програмне забезпечення STM32 для керування світлофорними секціями

Програмне забезпечення мікроконтролера STM32 є виконавчою частиною комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям. Якщо Raspberry Pi відповідає за аналіз відеопотоків, виявлення транспортних засобів і формування керуючих рішень, то STM32 реалізує безпосереднє керування світлофорними LED-секціями через релейний модуль. Такий розподіл функцій дозволяє відокремити ресурсоємну обробку відеоданих від низькорівневого керування виконавчими пристроями, що підвищує надійність роботи системи.

Основними задачами програмного забезпечення STM32 є:

- ініціалізація портів GPIO для керування входами релейного модуля;
- ініціалізація UART для приймання команд від Raspberry Pi;
- приймання та розбір команд керування;
- перевірка коректності отриманої команди;
- перемикання світлофорних фаз відповідно до заданої логіки;
- контроль жовтого сигналу між перемиканнями фаз;
- заборона одночасного ввімкнення конфліктних напрямків;
- передавання відповіді Raspberry Pi;
- перехід у резервний режим у разі втрати зв'язку.

Програму для STM32 доцільно реалізовувати у середовищі STM32CubeIDE з використанням бібліотеки HAL або стандартних засобів роботи з периферією мікроконтролера [24]. На етапі налаштування проєкту необхідно сконфігурувати GPIO-виводи як цифрові виходи, призначені для керування релейним модулем, а також налаштувати UART-інтерфейс для обміну даними з Raspberry Pi.

У запропонованій схемі керування використовується 8 каналів релейного модуля. Частина каналів відповідає за транспортні світлофорні сигнали для двох основних напрямків руху, а частина може використовуватися для пішохідних сигналів або аварійної індикації. Призначення виводів STM32 наведено в табл. 3.3.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 3.3 – GPIO-виводів STM32 для керування релейним модулем

Вивід STM32	Канал релейного модуля	Керований сигнал
PA0	IN1	Червоний сигнал напрямку північ–південь
PA1	IN2	Жовтий сигнал напрямку північ–південь
PA2	IN3	Зелений сигнал напрямку північ–південь
PA3	IN4	Червоний сигнал напрямку схід–захід
PA4	IN5	Жовтий сигнал напрямку схід–захід
PA5	IN6	Зелений сигнал напрямку схід–захід
PB0	IN7	Пішохідний червоний сигнал
PB1	IN8	Пішохідний зелений сигнал

Після запуску мікроконтролера виконується ініціалізація системної частоти, GPIO та UART. Усі світлофорні сигнали на початковому етапі повинні бути переведені у безпечний стан. Наприклад, для транспортних напрямків можуть бути ввімкнені червоні сигнали. Такий підхід дозволяє уникнути неконтрольованого ввімкнення сигналів під час старту системи.

На початку програми задаються макроси для зручного керування світлофорними сигналами (рис. 3.8).

```
#define NS_RED_PORT      GPIOA
#define NS_RED_PIN      GPIO_PIN_0

#define NS_YELLOW_PORT  GPIOA
#define NS_YELLOW_PIN   GPIO_PIN_1

#define NS_GREEN_PORT   GPIOA
#define NS_GREEN_PIN    GPIO_PIN_2

#define EW_RED_PORT     GPIOA
#define EW_RED_PIN      GPIO_PIN_3

#define EW_YELLOW_PORT  GPIOA
#define EW_YELLOW_PIN   GPIO_PIN_4

#define EW_GREEN_PORT   GPIOA
#define EW_GREEN_PIN    GPIO_PIN_5

#define PED_RED_PORT    GPIOB
#define PED_RED_PIN     GPIO_PIN_0

#define PED_GREEN_PORT  GPIOB
#define PED_GREEN_PIN   GPIO_PIN_1
```

Рисунок 3.8 – Визначення макросів для керування світлофором

Оскільки більшість релейних модулів можуть бути активними за низьким рівнем сигналу, доцільно окремо задати функцію керування реле. Якщо використовується модуль з активним низьким рівнем, то ввімкнення реле відповідає стану `GPIO_PIN_RESET`, а вимкнення – `GPIO_PIN_SET`. Програмно налаштування релейного модуля виконується так, як показано на рис. 3.9.

```
#define RELAY_ON    GPIO_PIN_RESET
#define RELAY_OFF  GPIO_PIN_SET

void Relay_Write(GPIO_TypeDef *port, uint16_t pin, GPIO_PinState state)
{
    HAL_GPIO_WritePin(port, pin, state);
}
```

Рисунок 3.8 – Налаштування взаємодії з релейним модулем

Для переведення світлофора у безпечний початковий стан використовується функція `SetAllRed()`, лістинг якої проілюстровано на рис. 3.9. Вона вимикає зелені та жовті сигнали і вмикає червоні сигнали для обох транспортних напрямків.

```
void SetAllRed(void)
{
    Relay_Write(NS_GREEN_PORT, NS_GREEN_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(NS_YELLOW_PORT, NS_YELLOW_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(EW_GREEN_PORT, EW_GREEN_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(EW_YELLOW_PORT, EW_YELLOW_PIN, RELAY_OFF);

    Relay_Write(NS_RED_PORT, NS_RED_PIN, RELAY_ON);
    Relay_Write(EW_RED_PORT, EW_RED_PIN, RELAY_ON);

    Relay_Write(PED_RED_PORT, PED_RED_PIN, RELAY_ON);
    Relay_Write(PED_GREEN_PORT, PED_GREEN_PIN, RELAY_OFF);
}
```

Рисунок 3.9 – Функція встановлення початкового стану світлофора

Керування фазою напрямку Північ–Південь реалізується функцією `SetPhaseNS()`, яка показана на рис. 3.10. У цій фазі зелений сигнал вмикається

для напрямку північ–південь, а для напрямку схід–захід залишається червоний сигнал. Після завершення зеленої фази вмикається жовтий сигнал, після чого система переходить у безпечний стан.

```
void SetPhaseNS(uint16_t greenTimeSec)
{
    SetAllRed();
    HAL_Delay(1000);

    Relay_Write(NS_RED_PORT, NS_RED_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(NS_GREEN_PORT, NS_GREEN_PIN, RELAY_ON);

    Relay_Write(EW_RED_PORT, EW_RED_PIN, RELAY_ON);

    HAL_Delay(greenTimeSec * 1000);

    Relay_Write(NS_GREEN_PORT, NS_GREEN_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(NS_YELLOW_PORT, NS_YELLOW_PIN, RELAY_ON);

    HAL_Delay(3000);

    Relay_Write(NS_YELLOW_PORT, NS_YELLOW_PIN, RELAY_OFF);
    Relay_Write(NS_RED_PORT, NS_RED_PIN, RELAY_ON);
}
```

Рисунок 3.10 – Реалізація функції SetPhaseNS ()

Для приймання команд від Raspberry Pi використовується UART. Команда має текстовий формат, приклад структури якої показано на рис. 3.11.

```
#SET_PHASE,NS,30*
```

Рисунок 3.11 – Приклад структури команди від Raspberry Pi

У цій команді SET\_PHASE означає команду встановлення фази, NS – напрямком північ–південь, а 30 – тривалість зеленої фази в секундах. Символ # позначає початок повідомлення, а символ \* – його завершення.

					<i>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</i>	Арк.
						63
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Для зберігання отриманих символів використовується буфер, який програмно реалізований як показано на рис. 3.12.

```
#define RX_BUFFER_SIZE 64

uint8_t rxByte;
char rxBuffer[RX_BUFFER_SIZE];
uint8_t rxIndex = 0;
uint8_t commandReady = 0;
uint32_t lastCommandTime = 0;
```

Рисунок 3.12 – Буфер для зберігання символів

Для надсилання відповіді до Raspberry Pi використовується функція `UART_Send()`, яка показана рис. 3.13.

```
void UART_Send(char *message)
{
    HAL_UART_Transmit(&huart1, (uint8_t*)message, strlen(message), 100);
}
```

Рисунок 3.13 – Функція надсилання відповіді до Raspberry Pi

Розбір команди виконується у функції `ProcessCommand()`. Фрагмент цієї функції показано на рис. 3.14.

```
void ProcessCommand(char *cmd)
{
    char command[20];
    char direction[5];
    int timeSec;

    if (sscanf(cmd, "%19[^\n],%4[^\n],%d", command, direction, &timeSec) == 3)
    {
        if (strcmp(command, "SET_PHASE") == 0)
        {
            if (timeSec < 10 || timeSec > 30)
            {
                UART_Send("#ERR*");
                return;
            }
        }
    }
}
```

Рисунок 3.14 – Фрагмент функції `ProcessCommand()`

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Функція `ProcessCommand()` перевіряє тип команди, напрямок і тривалість фази. Якщо команда коректна, виконується відповідна функція керування світлофором. Якщо команда некоректна, Raspberry Pi отримує повідомлення `#ERR*`.

Аварійний режим роботи світлофора може бути реалізований як миготіння жовтих сигналів обох напрямків. Такий режим використовується у випадку некоректної роботи системи або неможливості виконання стандартного керування. Функція, яка реалізує перехід і логіку функціонування в аварійному режимі проілюстровано на рис. 3.15.

```
void SetEmergencyMode(void)
{
    SetAllRed();

    while (1)
    {
        Relay_Write(NS_YELLOW_PORT, NS_YELLOW_PIN, RELAY_ON);
        Relay_Write(EW_YELLOW_PORT, EW_YELLOW_PIN, RELAY_ON);
        HAL_Delay(500);

        Relay_Write(NS_YELLOW_PORT, NS_YELLOW_PIN, RELAY_OFF);
        Relay_Write(EW_YELLOW_PORT, EW_YELLOW_PIN, RELAY_OFF);
        HAL_Delay(500);
    }
}
```

Рисунок 3.15 – Функція аварійного режиму роботи світлофора

Таким чином, програмне забезпечення STM32 реалізується мовою C і виконує функції виконавчого контролера світлофорного об'єкта. Воно забезпечує приймання команд від Raspberry Pi через UART, перевірку параметрів команди, перемикання релейних каналів, керування світлофорними LED-секціями, формування відповіді ACK або ERR, а також перехід у резервний або аварійний режим. Така реалізація дозволяє забезпечити надійну взаємодію між модулем відеоаналізу та апаратним рівнем керування перехрестям.

## РОЗДІЛ 4 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

### 4.1 Вимоги до режимів праці і відпочинку при роботі з ВДТ

При організації праці, пов'язаної з використанням ВДТ ЕОМ і ПЕОМ, для збереження здоров'я працюючих, запобігання професійним захворюванням і підтримки працездатності передбачаються внутрішньозмінні регламентовані перерви для відпочинку [25].

Внутрішньозмінні режими праці і відпочинку містять додаткові нетривалі перерви в періоди, що передують появі об'єктивних і суб'єктивних ознак стомлення і зниження працездатності [25].

При виконанні робіт, що належать до різних видів трудової діяльності, за основну роботу з ВДТ вважається така, що займає не менше 50% робочого часу. Впродовж робочої зміни передбачаються:

- перерви для відпочинку і вживання їжі (обідні перерви);
- перерви для відпочинку і особистих потреб (згідно з трудовими нормами);
- додаткові перерви, що вводяться для окремих професій з урахуванням особливостей трудової діяльності.

За характером трудової діяльності розрізняють три професійні групи, згідно з діючим класифікатором професій (ДК-003-95 і Зміна N1 до ДК-003-95):

- розробники програм (інженери-програмісти) виконують роботу переважно з відеотерміналом та документацією при необхідності інтенсивного обміну інформацією з ЕОМ і високою частотою прийняття рішень. Робота характеризується інтенсивною розумовою творчою працею з підвищеним напруженням зору, концентрацією уваги на фоні нервово-емоційного напруження, вимушеною робочою позою, загальною гіподинамією,

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Адам'як Р.А.			Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Перевірив.</i>		Ясній О.П.					66	
<i>Консульт.</i>		Сенчишин В.С.				ТНТУ, каф. КС, гр. СІ-41		
<i>Н. Контр.</i>		Луцик Н.С.						
<i>Затверд.</i>		Осухівська Г.М.						

періодичним навантаженням на кисті верхніх кінцівок. Робота виконується в режимі діалогу з ЕОМ у вільному темпі з періодичним пошуком помилок в умовах дефіциту часу;

– оператори електронно-обчислювальних машин виконують роботу, пов'язану з обліком інформації, одержаної з ВДТ за попереднім запитом, або тієї, що надходить з нього, супроводжується перервами різної тривалості, пов'язана з виконанням іншої роботи і характеризується напруженням зору, невеликими фізичними зусиллями, нервовим напруженням середнього ступеня та виконується у вільному темпі;

– оператор комп'ютерного набору виконує одноманітні за характером роботи з документацією та клавіатурою і нечастими нетривалими переключеннями погляду на екран дисплея, з введенням даних з високою швидкістю. Робота характеризується як фізична праця з підвищеним навантаженням на кисті верхніх кінцівок на фоні загальної гіподинамії з напруженням зору (фіксація зору переважно на документи), нервово-емоційним напруженням.

Правилами встановлюються такі внутрішньозмінні режими праці та відпочинку при роботі з ЕОМ при 8-годинній денній робочій зміні в залежності від характеру праці:

– для розробників програм із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовану перерву для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожну годину роботи за ВДТ;

– для операторів із застосуванням ЕОМ слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години;

– для операторів комп'ютерного набору слід призначати регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 10 хвилин після кожної години роботи за ВДТ.

У всіх випадках, коли виробничі обставини не дозволяють застосувати регламентовані перерви, тривалість безперервної роботи з ВДТ не повинна перевищувати 4 години [26].

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						67
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

При 12-годинній робочій зміні регламентовані перерви встановлюють в перші 8 годин роботи аналогічно перервам при 8-годинній робочій зміні, а протягом останніх 4-х годин роботи, незалежно від характеру трудової діяльності, через кожну годину тривалістю 15 хвилин.

Для зниження нервово-емоційного напруження, втомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втомі доцільно деякі перерви використовувати для виконання комплексу вправ, які наведені у Державних санітарних правилах і нормах роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин ДСанПІН 3.3.2.007-98.

#### 4.2 Вплив діяльності людини на довкілля

В умовах науково-технічного прогресу значно ускладнились взаємовідносини суспільства з природою. Людина отримала можливість впливати на хід природних процесів, підкорила сили природи, почала опановувати майже всі доступні відновні і невідновні природні ресурси, але разом з тим забруднювати і руйнувати довкілля [27].

За оцінкою Всесвітньої організації охорони здоров'я (ВООЗ), із більш ніж 6 млн. відомих хімічних сполук практично використовується до 500 тис. сполук; із них біля 40 тис. мають шкідливі для людини властивості, а 12 тис. є токсичними [27].

До кінця ХХ століття початку ХХІ століття забруднення навколишнього середовища відходами, викидами, стічними водами всіх видів промислового виробництва, сільського господарства, комунального господарства міст набуло глобального характеру і поставило людство на грань екологічної катастрофи.

Втручання людини у природні процеси різко зростає і може спричиняти зміну режиму ґрунтових і підземних вод у цілих регіонах, поверхневого стоку, структури ґрунтів, інтенсифікацію ерозійних процесів, активізацію геохімічних та хімічних процесів у атмосфері, гідросфері та літосфері, зміни мікроклімату тощо.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Сучасна діяльність, наприклад, будівництво гідротехнічних споруд, шахт, рудників, доріг, свердловин, водойм, дамб, деформація суші ядерними вибухами, будівництво гігантських міст, обводнення і озеленення пустель, та інші повсякденні аспекти діяльності людини, вже викликали значні видимі і приховані зміни довкілля [27].

В історичному плані виділяють декілька етапів зміни біосфери людством, які увінчались екологічними кризами та революціями, а саме:

- вплив людства на біосферу як звичайного біологічного виду;
- надінтенсивне полювання без змін екосистем у період становлення людства;
- зміни екосистем внаслідок процесів, що відбуваються природнім шляхом: випасання, посилення росту трав шляхом випалювання тощо;
- інтенсифікація впливу на природу шляхом розорювання ґрунтів та вирубування лісів;
- глобальні зміни всіх екологічних компонентів біосфери в цілому.

Вплив людини на біосферу зводиться до чотирьох головних форм:

- зміна структури земної поверхні (розорювання степів, вирубування лісів, меліорація, створення штучних водойм та інші зміни режиму поверхневих вод тощо);
- зміна складу біосфери, кругообігу і балансу тих речовин, які її складають (добування корисних копалин, створення відвалів, викиди різних речовин у атмосферу та водойми);
- зміна енергетичного, зокрема теплового, балансу окремих регіонів земної кулі і всієї планети;
- зміни, які вносяться у біоту (сукупність живих організмів) внаслідок знищення деяких видів, руйнування їх природних місць існування, створення нових порід тварин та сортів рослин, переміщення їх на нові місця існування тощо.

Під забрудненням навколишнього середовища розуміють надходження в біосферу будь-яких твердих, рідких і газоподібних речовин або видів енергії

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

(теплоти, звуку, радіоактивності і т.п.) у кількостях, що шкідливо впливають на людину, тварин і рослини як безпосередньо, так і непрямим шляхом [27].

Безпосередньо об'єктами забруднення (акцепторами забруднених речовин) є основні компоненти екотопу (місце існування біотичного угруповання):

- атмосфера,
- вода,
- ґрунт.

Опосередкованими об'єктами забруднення (жертвами забруднення) є складові біогеоценозу:

- рослини,
- тварини,
- гриби,
- мікроорганізми.

Втручання людини в природні процеси в біосфері, котре викликає небажані для екосистем антропогенні зміни, можна згрупувати за наступними видами забруднень:

- інгредієнтне забруднення - забруднення сукупністю речовин, кількісно або якісно ворожих природним біогеоценозам (інгредієнт - складова частина складної сполуки або суміші);

- параметричне забруднення пов'язане зі зміною якісних параметрів навколишнього середовища (параметр навколишнього середовища - одна з його властивостей, наприклад, рівень шуму, радіації, освітленості);

- біоценотичне забруднення полягає у впливі на склад та структуру популяції живих організмів;

- стаціонально-деструкційне забруднення (стація- місце існування популяції, деструкція - руйнування) викликає зміну ландшафтів та екологічних систем в процесі природокористування.

Фахівці по різному класифікують забруднення природного середовища, в залежності від того, який принцип беруть за основу класифікації, зокрема - за типом походження, за часом взаємодії з довкіллям, за способом впливу.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

За просторовим поширенням (розміру охоплюючих територій) забруднення поділяють на:

- локальні забруднення характерні для міст, значних промислових підприємств, районів видобутку тих або інших корисних копалин, значних тваринницьких комплексів.
- регіональні забруднення охоплюють значні території й акваторії, що підлягають впливу значних промислових районів.
- глобальні забруднення частіше всього викликаються атмосферними викидами, поширюються на великі відстані від місця свого виникнення і створюють несприятливий вплив на крупні регіони, а іноді і на всю планету.

За силою та характером дії на навколишнє середовище забруднення бувають:

- фонові;
- імпактні (від англ. імпект - удар; синонім - залпові);
- постійні (перманентні);
- катастрофічні.

За джерелами виникнення забруднення поділяють на:

- промислові (наприклад, SO<sub>2</sub>);
- транспортні (наприклад, альдегіди вихлопів автотранспорту);
- сільськогосподарські (наприклад, пестициди);
- побутові (наприклад, синтетичні мийних засобів).

За типом походження розрізняють

- фізичні забруднення – це зміни теплових, електричних, радіаційних, світлових полів у природному середовищі, шуми, вібрації, гравітаційні сили, спричинені людиною.
- механічні забруднення – це різні тверді частки та предмети (викинуті як непридатні, спрацьовані, вилучені з вжитку).
- зімічні забруднення – тверді, газоподібні й рідкі речовини, хімічні елементи й сполуки штучного походження, які надходять - у біосферу, порушуючи встановлені природою процеси кругообігу речовин і енергії.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– Біологічні забруднення – різні організми, що з'явилися завдяки життєдіяльності людства - бактеріологічна зброя, нові віруси (збудники СНІДу, хвороби легіонерів, епідемій, інших хвороб, а також катастрофічне розмноження рослин чи тварин, переселених з одного середовища в інше людиною чи випадково.

Джерела забруднення дуже різноманітні: серед них не тільки промислові підприємства і паливно-енергетичний комплекс, але і побутові відходи, відходи тваринництва, транспорту, а також хімічні речовини, які людина цілеспрямовано вводить до екосистеми для захисту корисних продуцентів і консументів від шкідників, хвороб і бур'янів [27].

Серед інгредієнтів забруднення – тисячі хімічних сполук, особливо важкі метали та оксиди, токсичні речовини та аерозолі. Різні джерела викидів можуть бути однаковими за складом і характером забруднюючих речовин. Так вуглеводні надходять у атмосферу і при спалюванні палива, і від нафтопереробної промисловості, і від газовидобувної промисловості.

Розвиток автомобільного транспорту призвів до забруднення атмосфери міст і транспортних комунікацій важкими металами і токсичними вуглеводнями, а постійне зростання масштабів морських перевезень викликало майже повсюдне забруднення морів і океанів нафтою і нафтопродуктами. Масове застосування мінеральних добрив і хімічних засобів захисту рослин призвело до появи отрутохімікатів в атмосфері, ґрунтах і природних водах, забрудненню біогенними елементами водойм, водотоків і сільськогосподарської продукції (нітрати, пестициди і т.п.) [27].

При гірських розробках на поверхню землі витягаються мільйони тон різноманітних, найчастіше фітотоксичних гірських порід, що утворюють терикони і відвали, що пилять і горять . В процесі експлуатації хімічних заводів і теплових електростанцій також утворюються величезні кількості твердих відходів (недогарок, шлаки, золи і т.п.), що складуються на великих площах, вчиняючи негативний вплив на атмосферу, поверхневі і підземні води, ґрунтовий покрив (пилування, виділення газів і т.п.).

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі спроектовано комп'ютерну систему керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків на апаратному рівні та реалізовано програмне забезпечення для кожного з компонентів системи.

У першому розділі проаналізовано особливості організації транспортних потоків на регульованих перехрестях, розглянуто традиційні й адаптивні підходи до керування дорожнім рухом, а також показано переваги систем, які використовують відеоспостереження. Обґрунтовано доцільність застосування децентралізованої архітектури з периферійними обчисленнями, оскільки вона дає змогу зменшити затримки, підвищити автономність системи та забезпечити роботу без постійної залежності від центрального сервера.

У другому розділі сформовано вимоги до комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям і запропоновано її апаратну архітектуру. Система побудована як апаратно-програмний комплекс, до складу якого входять IP-камери, мережевий комутатор, обчислювальний модуль Raspberry Pi, мікроконтролер STM32, канал зв'язку між модулями, релейний виконавчий блок, світлофорні LED-секції та система живлення. Такий розподіл компонентів дозволяє відокремити високорівневу обробку відеоданих від низькорівневого керування виконавчими пристроями.

У третьому розділі розроблено алгоритмічне та програмне забезпечення системи. Запропоновано загальний алгоритм її функціонування, починаючи від ініціалізації пристроїв і завершуючи формуванням команд керування і їх виконанням. Для аналізу відеопотоків передбачено використання моделі YOLOv5n, яка дозволяє виявляти транспортні засоби в контрольованих зонах без необхідності навчання моделі з нуля.

У результаті виконання кваліфікаційної роботи спроектовано комп'ютерну систему керування транспортним перехрестям, яка поєднує відеоаналітику, вбудовані обчислювальні засоби та мікроконтролерне керування виконавчими пристроями.

					КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Жаровський Р.О., Луцик Н.С., Осухівська Г.М., Паламар А.М., Тиш Є.В. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для розроблені у відповідності з освітньою програмою «Комп'ютерна інженерія» першого (бакалаврського) рівня вищої освіти за спеціальністю 123 «Комп'ютерна інженерія» галузі знань 12 «Інформаційні технології». Тернопіль, ТНТУ. 2024. 39 с.
2. Буров Є.В., Митник М.М. Комп'ютерні мережі. Підручник. Том перший. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 333 с.
3. Луцків А., Лупенко С., Пасічник В. Паралельні та розподільнені обчислення. Навчальний посібник. Львів: Видавництво «Магнолія 2006», 2024. 566 с.
4. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д., Пасічник В.В. Комп'ютерні мережі. Книга 2. Львів: «Магнолія 2006», 2024. 328 с.
5. Velychko D., Osukhivska H., Palaniza Y., Lutsyk N., Sobaszek L. Artificial Intelligence Based Emergency Identification Computer System. *Advances in Science and Technology Research Journal*, 18 no. 2, 2024, P. 296-304.
6. Yatsyshyn V., Pastukh O., Palamar A., Zharovsky R. Technology of relational database management systems performance evaluation during computer systems design. *Scientific Journal of TNTU, Ternopil, Ukraine*, 2023. Vol. 109, No 1. P. 54–65.
7. ДСТУ 4092:2024. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги та правила застосування. URL: [https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu\\_4092\\_2024.pdf](https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_4092_2024.pdf) (дата звернення: 21.05.2026 р.).
8. ДСТУ 2587:2021. Безпека дорожнього руху. Розмітка дорожня. Загальні технічні умови. URL: [https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id\\_doc=92700](https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=92700) (дата звернення: 22.05.2026 р.).

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Форнальчик Є. Ю., Гілевич В. В., Могила І. А. Моделювання транспортних потоків : навчальний посібник / за заг. ред. Є. Ю. Форнальчика. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2020. 216 с.

10. Організація та безпека дорожнього руху : підручник / О. О. Бакуліч, О. П. Дзюба, В. І. Єресов та ін. ; за заг. ред. В. П. Поліщука. Київ : Знання України, 2016. 467 с.

11. Системологія на транспорті : підручник : у 5 кн. / за заг. ред. М. Ф. Дмитриченка. Кн. 4 : Організація дорожнього руху / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко та ін. Київ : Знання України, 2014. 452 с.

12. Абрамова Л. С., Бакуліч О. О. Автоматизовані системи управління дорожнім рухом : навчальний посібник. Харків : ХНАДУ, 2013. 193 с.

13. Абрамова Л. С., Чернобаєв Н. С. Координоване управління дорожнім рухом на мережі магістралей міста : монографія. Харків : Точка, 2012. 160 с.

14. Чередніченко О., Валацкене А. Інтелектуальні транспортні системи як інструменти управління транспортними потоками на прикладі м. Києва. Містобудування та територіальне планування. 2022. № 80. С. 416–450. URL: <https://mtp.knuba.edu.ua/article/view/264477> (дата звернення: 24.05.2026 р.).

15. Клюєв С. О., Сігонін А. Є., Цимбал С. В. Розвиток інтелектуальних транспортних систем. Вісник машинобудування та транспорту. 2023. Т. 18, № 2. С. 80–86.

16. Treiber M., Kesting A. Traffic Flow Dynamics: Data, Models and Simulation. Berlin ; Heidelberg : Springer, 2013. 503 p. URL: <https://www.akesting.de/publications.html> (дата звернення: 23.05.2026 р.).

17. Szeliski R. Computer Vision: Algorithms and Applications. 2nd ed. Cham : Springer, 2022. 925 p. URL: <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-030-34372-9> (дата звернення: 25.05.2026 р.).

18. Gonzalez R. C., Woods R. E. Digital Image Processing. 4th ed. Harlow : Pearson Education, 2018. 1024 p. URL: <https://www.pearson.com/en-us/subject-catalog/p/Gonzalez-Digital-Image-Processing-4th-Edition/P200000003224> (дата звернення: 25.05.2026 р.).

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						75
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

19. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. Cambridge : MIT Press, 2016. 800 p.

20. Bishop C. M. Pattern Recognition and Machine Learning. New York : Springer, 2006. 738 p. URL: [https://books.google.com/books/about/Pattern\\_Recognition\\_and\\_Machine\\_Learning.html?id=kTNoQgAACAAJ](https://books.google.com/books/about/Pattern_Recognition_and_Machine_Learning.html?id=kTNoQgAACAAJ) (дата звернення: 30.05.2026 p.).

21. YOLOv5. GitHub Repository. Ultralytics. URL: <https://github.com/ultralytics/yolov5> (дата звернення 30.05.2026 p.).

22. OpenCV. VideoCapture Class Reference. URL: [https://docs.opencv.org/4.x/d8/dfe/classcv\\_1\\_1VideoCapture.html](https://docs.opencv.org/4.x/d8/dfe/classcv_1_1VideoCapture.html) (дата звернення: 01.06.2026 p.).

23. Raspberry Pi 4 Model B. Official Specifications. Raspberry Pi Ltd. URL: <https://www.raspberrypi.com/products/raspberry-pi-4-model-b/specifications/> (дата звернення: 03.06.2026 p.).

24. STM32F103x8, STM32F103xB. Product Datasheet. STMicroelectronics. URL: <https://www.st.com/resource/en/datasheet/stm32f103c8.pdf> (дата звернення 03.06.2026 p.).

25. Катренко Л.А., Катренко А.В. Охорона праці в галузі комп'ютерингу. Львів: Магнолія-2006. 2012. 544 с.

26. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський) / укл. : О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. 20 с.

27. Безпека життєдіяльності: навч. посіб. / Т.Є. Стищенко, Г.В. Пронюк, Н.М. Сердюк, І.І. Хондак. Харків: ХНРУЕ, 2018. 336 с.

					<b>КС КРБ 123.140.00.00 ПЗ</b>	Арк.
						76
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Додаток А  
Технічне завдання

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії

Кафедра комп'ютерних систем та мереж

**“Затверджую”**

Завідувач кафедри КС

\_\_\_\_\_ Осухівська Г.М.

« 02 » лютого 2026 р.

КОМП'ЮТЕРНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ ТРАНСПОРТНИМ ПЕРЕХРЕСТЯМ  
НА ОСНОВІ АНАЛІЗУ ВІДЕОПОТОКІВ

**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на 15 листках

**Вид робіт:**

Кваліфікаційна робота

**На здобуття освітнього ступеня «Бакалавр»**

**Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»**

«УЗГОДЖЕНО»

«ВИКОНАВЕЦЬ»

Керівник кваліфікаційної роботи

Студент групи СІ-41

\_\_\_\_\_ д.т.н., проф. Ясній О.П.

\_\_\_\_\_ Адам'як Р.А.

« 02 » лютого 2026 р.

« 02 » лютого 2026 р.

**Тернопіль 2026**

## 1 Загальні відомості

### 1.1 Повна назва та її умовне позначення

Повна назва теми кваліфікаційної роботи: «Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків».

Умовне позначення кваліфікаційної роботи: КС КРБ 123.140.00.00

### 1.2 Виконавець

Студент групи СІ-41, факультету комп'ютерно-інформаційних систем і програмної інженерії, кафедри комп'ютерних систем та мереж, Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, Адам'як Роман Андрійович.

### 1.3 Підстава для виконання роботи

Підставою для виконання кваліфікаційної роботи є наказ по університету (№4/9-188 від 24.04.2026 р.)

### 1.4 Планові терміни початку та завершення роботи

Плановий термін початку виконання кваліфікаційної роботи – 26.01.2026 р.

Плановий термін завершення виконання кваліфікаційної роботи – 21.06.2026 р.

## 1.5 Порядок оформлення та пред'явлення результатів роботи

Порядок оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу здійснюється у відповідності до чинних норм та правил ISO, ЕСКД, ЕСПД та ДСТУ.

Пред'явлення проміжних результатів роботи з виконання кваліфікаційної роботи здійснюється у відповідності до графіку, затвердженого керівником роботи.

Попередній захист кваліфікаційної роботи відбувається при готовності роботи на 90% , наявності пояснювальної записки та графічного матеріалу.

Пред'явлення результатів кваліфікаційної роботи відбувається шляхом захисту на відповідному засіданні ЕК, ілюстрацією основних досягнень за допомогою графічного матеріалу.

## 2 Призначення і цілі створення системи

### 2.1 Призначення системи

Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків призначена для автоматизованого збору, обробки та аналізу відеоданих із камер спостереження, встановлених у зоні регульованого транспортного перехрестя, з метою визначення поточного рівня завантаженості напрямків руху та формування керуючих команд для світлофорного обладнання.

Система повинна забезпечувати виявлення транспортних засобів у контрольованих зонах перехрестя, підрахунок кількості об'єктів на окремих напрямках, оцінювання рівня транспортного навантаження та вибір оптимальної або умовно оптимальної тривалості світлофорної фази. На відміну від традиційних світлофорних систем із фіксованими часовими інтервалами, розроблювана система повинна враховувати фактичну дорожню ситуацію та забезпечувати адаптивне керування залежно від кількості транспортних засобів на підходах до перехрестя.

Комп'ютерна система повинна функціонувати як апаратно-програмний комплекс, що поєднує IP-камери, мережеве обладнання, обчислювальний модуль Raspberry Pi, мікроконтролер STM32, релейний або транзисторний виконавчий модуль, світлофорні LED-секції та програмне забезпечення аналізу відеопотоків. Основна обробка відеоданих повинна виконуватися на Raspberry Pi, а безпосереднє керування світлофорними сигналами — на рівні мікроконтролера STM32.

Система призначена для використання у вигляді навчального, демонстраційного або експериментального макета інтелектуальної транспортної системи. У подальшому архітектура може бути розширена для використання на реальних транспортних об'єктах із застосуванням промислових каналів зв'язку, додаткових камер, надійніших виконавчих модулів та централізованого моніторингу.

## 2.2 Мета створення системи

Метою створення комп'ютерної системи є підвищення ефективності керування транспортним перехрестям шляхом впровадження відеоаналітики, алгоритмів комп'ютерного зору та мікроконтролерного керування світлофорними фазами.

Досягнення мети роботи можливе за умови розв'язання таких задач:

- проведення аналізу особливостей організації транспортних потоків на регульованих перехрестях;
- аналіз сучасних підходів до побудови інтелектуальних транспортних систем;
- формування функціональних і нефункціональних вимог до комп'ютерної системи керування перехрестям;
- розроблення структурної та функціональної архітектури апаратно-програмного комплексу;
- обґрунтування вибору IP-камер, мережевого обладнання, Raspberry Pi, STM32 та виконавчих модулів;
- розроблення схеми взаємодії між обчислювальним модулем і мікроконтролером;

- розроблення алгоритму аналізу відеопотоків із використанням моделі виявлення транспортних засобів;
- розроблення алгоритму вибору світлофорної фази відповідно до завантаженості напрямків руху;
- реалізація програмного забезпечення мікроконтролера STM32 для керування світлофорними LED-секціями;
- передбачення резервного або аварійного режиму роботи системи у випадку помилки, втрати відеосигналу або порушення зв'язку між компонентами.

### 2.3 Характеристика об'єкту

Об'єктом автоматизації є регульоване чотиристороннє транспортне перехрестя, на якому транспортні потоки рухаються у напрямках північ–південь та схід–захід. На такому перехресті необхідно забезпечити безпечне почергове пропускання транспортних засобів відповідно до світлофорних фаз.

Комп'ютерна система, що проектується, повинна отримувати відеопотоки з камер, встановлених на підходах до перехрестя. Для кожного напрямку руху має бути визначена контрольована зона, у межах якої здійснюється виявлення транспортних засобів. На основі результатів аналізу відеопотоків система повинна визначати кількість транспортних засобів на кожному напрямку та формувати узагальнений показник завантаженості.

У запропонованій системі основним обчислювальним модулем є Raspberry Pi, який отримує відеопотоки від IP-камер через локальну мережу, виконує попередню обробку кадрів, запускає модель виявлення транспортних засобів і формує команду керування. Для виявлення транспортних засобів передбачається використання попередньо навченої моделі YOLOv5n, яка дає змогу ідентифікувати основні класи транспортних засобів, зокрема легкові автомобілі, автобуси, вантажні автомобілі та мотоцикли.

Мікроконтролер STM32 виконує функцію виконавчого контролера. Він приймає команди від Raspberry Pi, перевіряє їх коректність, забезпечує дотримання безпечної послідовності світлофорних фаз і керує релейним модулем або транзисторними ключами. Світлофорні сигнали в макетній реалізації можуть бути представлені LED-секціями червоного, жовтого та зеленого кольорів.

Система повинна передбачати аварійний або резервний режим роботи. У разі втрати відеопотоку, відсутності зв'язку з Raspberry Pi, некоректної команди або збою програмного забезпечення мікроконтролер повинен перейти до безпечного режиму, наприклад до фіксованого циклу світлофорного регулювання або режиму миготіння жовтого сигналу.

### 3 Вимоги до системи

#### 3.1 Вимоги до системи в цілому

Вимоги до комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям поділяються на функціональні та нефункціональні. Функціональні вимоги визначають перелік основних дій, які повинна виконувати система, а нефункціональні — її якісні характеристики, зокрема швидкодію, надійність, безпеку, масштабованість і зручність обслуговування.

Основними функціональними вимогами до системи є:

- можливість отримання відеопотоків з IP-камер, встановлених у зоні транспортного перехрестя;
- можливість підключення щонайменше чотирьох камер для контролю основних напрямків руху;
- можливість попередньої обробки відеокадрів на обчислювальному модулі Raspberry Pi;
- можливість виділення контрольованих зон на зображенні для кожного напрямку руху;

- здатність виявляти транспортні засоби у контрольованих зонах;
- здатність розпізнавати основні класи транспортних засобів: car, bus, truck, motorcycle;
- можливість підрахунку кількості транспортних засобів на кожному напрямку;
- можливість визначення рівня завантаженості напрямків руху;
- можливість вибору пріоритетного напрямку на основі результатів аналізу відеопотоків;
- можливість формування команди керування світлофорною фазою;
- можливість передавання команди з Raspberry Pi на STM32 через UART або USB-UART;
- можливість керування світлофорними LED-секціями через релейний або транзисторний виконавчий модуль;
- здатність забороняти одночасне ввімкнення зеленого сигналу для конфліктних напрямків;
- можливість переходу в резервний або аварійний режим у разі втрати відеосигналу чи збою зв'язку;
- можливість відображення або логування основних параметрів роботи системи.

На програмному рівні система повинна забезпечувати:

- обробку відеопотоків у режимі, наближеному до реального часу;
- виявлення транспортних засобів із достатньою для макетної реалізації точністю;
- оновлення інформації про транспортне навантаження з періодичністю, достатньою для коригування світлофорних фаз;
- формування команд керування у визначеному текстовому форматі;
- перевірку правильності структури команди на стороні STM32;
- передавання відповіді про успішне виконання або помилку;
- фіксацію помилок роботи камер, зв'язку та виконавчих пристроїв;
- можливість подальшого вдосконалення алгоритму аналізу відеопотоків.

### 3.1.1 Вимоги до способів та засобів зв'язку між компонентами системи

У комп'ютерній системі керування транспортним перехрестям необхідно передбачити декілька рівнів зв'язку між компонентами.

Зв'язок між IP-камерами та Raspberry Pi повинен здійснюватися через локальну Ethernet-мережу. Для об'єднання камер і Raspberry Pi доцільно використовувати мережевий комутатор. Кожна IP-камера повинна мати власну мережеву адресу та передавати відеопотік за допомогою RTSP, HTTP або іншого підтримуваного протоколу.

Зв'язок між Raspberry Pi та STM32 повинен забезпечуватися через послідовний інтерфейс UART або USB-UART. У макетній реалізації доцільно використовувати USB-UART адаптер із логічним рівнем 3,3 В. Для промислового або розширеного варіанта системи може бути передбачений перехід на інтерфейс RS-485, який забезпечує більшу стійкість до завад і можливість передавання даних на більшу відстань. Команда керування повинна передаватися у текстовому форматі.

STM32 повинен обробляти отриману команду, перевіряти її структуру, допустимість напрямку та тривалість фази. У разі коректного виконання мікроконтролер повинен повертати повідомлення #ACK\*, а у разі помилки — #ERR\*.

### 3.1.2 Вимоги по діагностуванню системи

Діагностування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям повинно передбачати перевірку працездатності як окремих компонентів, так і системи загалом.

Під час запуску системи необхідно виконувати перевірку:

- доступності IP-камер;
- наявності відеопотоку з кожної камери;
- стану локальної мережі;
- доступності UART або USB-UART каналу між Raspberry Pi та STM32;
- працездатності мікроконтролера STM32;
- стану релейного модуля або виконавчих ключів;

- правильності початкового стану світлофорних LED-секцій;
- наявності живлення основних компонентів.

У процесі роботи система повинна контролювати втрату відеопотоку, зависання обробки кадрів, некоректність результатів аналізу, порушення зв'язку між Raspberry Pi та STM32, а також недопустимі команди керування.

Діагностична інформація повинна фіксуватися у вигляді повідомлень журналу або виводитися в інтерфейс моніторингу. До таких повідомлень належать: стан підключення камер, активна світлофорна фаза, кількість виявлених транспортних засобів, команда, передана на STM32, відповідь мікроконтролера, повідомлення про помилки та факт переходу в аварійний режим.

### 3.1.3 Перспективи розвитку, модернізація системи

Подальший розвиток комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям може передбачати розширення її функціональних можливостей і підвищення надійності роботи.

Основними напрямками модернізації є:

- підключення додаткових камер для контролю більшої кількості смуг руху;
- використання потужнішої edge-платформи для прискорення роботи моделей комп'ютерного зору;
- використання апаратного прискорювача нейронних мереж;
- застосування промислового інтерфейсу RS-485 або CAN для зв'язку між модулями;
- інтеграція системи з центральним сервером моніторингу;
- збереження статистики транспортного навантаження у базі даних;
- побудова вебінтерфейсу для віддаленого контролю стану перехрестя;
- використання складніших алгоритмів оптимізації світлофорних фаз;
- урахування пішохідних потоків і громадського транспорту;
- підключення датчиків освітленості, погодних умов або аварійних подій;
- розширення системи до мережі кількох взаємопов'язаних перехресть.

Зазначені напрями розвитку дозволять перетворити макетну реалізацію на основу повноцінної інтелектуальної транспортної системи.

#### 3.1.4 Вимоги до надійності системи

Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям повинна забезпечувати високий рівень надійності, оскільки від правильності її функціонування залежить безпека учасників дорожнього руху.

Для забезпечення надійності необхідно передбачити:

- коректний початковий стан світлофорних сигналів після ввімкнення системи;
- заборону одночасного ввімкнення зеленого сигналу для конфліктних напрямків;
- обов'язкове використання жовтого сигналу між перемиканнями фаз;
- перевірку коректності команд, що надходять від Raspberry Pi;
- перехід до резервного фіксованого циклу при втраті зв'язку з Raspberry Pi;
- перехід в аварійний режим при критичній помилці;
- обробку ситуації втрати відеопотоку з однієї або кількох камер;
- захист від некоректного перемикання релейних каналів;
- стабільне живлення Raspberry Pi, STM32, релейного модуля та LED-секцій;
- розділення логічної та силової частини системи;
- використання спільної землі там, де це необхідно для коректної роботи сигналів керування.

Надійність програмного забезпечення повинна забезпечуватися шляхом перевірки вхідних даних, контролю стану апаратних компонентів, обробки помилок і використання резервних сценаріїв роботи.

#### 3.1.5 Вимоги до функцій та задач, які виконує система

Комп'ютерна система керування транспортним перехрестям повинна виконувати такі основні функції:

- отримання відеопотоків із камер, встановлених на підходах до перехрестя;

- попередня обробка відеокадрів;
- виділення області контролю для кожної камери;
- виявлення транспортних засобів у контрольованих зонах;
- підрахунок кількості транспортних засобів у напрямках північ, південь, схід і захід;
- об'єднання показників у два основні транспортні напрямки: північ–південь та схід–захід;
- визначення рівня завантаженості напрямків;
- вибір пріоритетного напрямку руху;
- визначення тривалості зеленої фази залежно від рівня завантаженості;
- формування команди керування світлофорною фазою;
- передавання команди на STM32;
- перевірка команди мікроконтролером;
- перемикання релейних каналів відповідно до заданої фази;
- виведення світлофорних сигналів на LED-секції;
- формування відповіді про виконання або помилку;
- перехід у резервний чи аварійний режим при порушенні штатної роботи.

Алгоритм вибору тривалості зеленої фази повинен базуватися на кількості транспортних засобів у контрольованій зоні. У базовому варіанті доцільно використати такі правила:

- 0–2 транспортні засоби — низьке завантаження, зелена фаза 10 с;
- 3–5 транспортних засобів — середнє завантаження, зелена фаза 20 с;
- 6 і більше транспортних засобів — високе завантаження, зелена фаза 30 с.

У разі рівного завантаження напрямків система повинна забезпечувати почергове надання пріоритету, щоб уникнути постійної переваги одного напрямку.

### 3.1.6 Вимоги до апаратного забезпечення

Основними апаратними компонентами комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям повинні бути:

- IP-камери відеоспостереження для отримання відеопотоків з підходів до перехрестя;
- мережевий Ethernet-комутатор для об'єднання камер і Raspberry Pi в локальну мережу;
- обчислювальний модуль Raspberry Pi 4 Model B для аналізу відеопотоків і прийняття рішень;
- мікроконтролер STM32F103C8T6 Blue Pill для керування світлофорними фазами;
- USB-UART адаптер або пряме UART-з'єднання для передавання команд між Raspberry Pi та STM32;
- релейний модуль або MOSFET-ключі для комутації світлофорних LED-секцій;
- LED-секції червоного, жовтого та зеленого кольорів для макетного відображення сигналів світлофора;
- блок живлення 12 В для живлення камер і світлофорних секцій;
- DC-DC перетворювачі для формування напруги 5 В і 3,3 В;
- з'єднувальні кабелі, макетна плата або монтажна основа.

Апаратне забезпечення повинно забезпечувати:

- стабільне отримання відеопотоків;
- достатню продуктивність для запуску алгоритмів комп'ютерного зору;
- надійний обмін командами між Raspberry Pi та STM32;
- безпечне перемикання світлофорних сигналів;
- можливість переходу до аварійного режиму;
- електричну сумісність усіх компонентів системи.

### 3.1.7 Вимоги до програмного забезпечення

Програмне забезпечення системи повинно складатися з двох основних частин:

- програмне забезпечення Raspberry Pi;
- програмне забезпечення STM32.

Програмне забезпечення Raspberry Pi повинно забезпечувати:

- відкриття відеопотоків з IP-камер;
- отримання та попередню обробку кадрів;
- запуск моделі YOLOv5n для виявлення транспортних засобів;
- фільтрацію виявлених об'єктів за класами;
- перевірку належності об'єктів до контрольованої зони;
- підрахунок транспортних засобів на кожному напрямку;
- визначення рівня завантаженості;
- вибір світлофорної фази;
- формування команди керування;
- передавання команди через UART або USB-UART;
- приймання відповіді від STM32;
- логування поточного стану системи.

Для реалізації програмного забезпечення Raspberry Pi доцільно використовувати мову Python, бібліотеку OpenCV, засоби роботи з моделлю YOLOv5n та бібліотеку pySerial для обміну даними через послідовний порт.

Програмне забезпечення STM32 повинно бути реалізоване мовою C у середовищі STM32CubeIDE або аналогічному середовищі розробки. Воно повинно забезпечувати:

- ініціалізацію GPIO-виводів;
- ініціалізацію UART;
- приймання команд від Raspberry Pi;
- перевірку допустимості напрямку та тривалості фази;
- керування релейними каналами;
- формування світлофорних фаз;
- увімкнення жовтого сигналу між фазами;
- заборону конфліктних сигналів;
- передавання відповідей #ACK\* або #ERR\*;
- реалізацію резервного або аварійного режиму.

#### 4 Вимоги до документації

Документація повинна відповідати вимогам ЄСКД та ДСТУ

Комплект документації повинен складатись з:

- пояснювальної записки;
- графічного матеріалу:

1 Архітектура систем при централізованому та децентралізованому керуванні.

2 Архітектурні рівні при децентралізованому керуванні транспортним перехрестям.

3 Архітектура комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналі-зу відеопотоків.

4 Алгоритм функціонування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям

\*Примітка: У комплект документації можуть вноситися міни та доповнення в процесі розробки.

#### 5 Стадії та етапи проектування

Таблиця 1 – Стадії та етапи виконання кваліфікаційної роботи бакалавра

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
1	Розробка технічного завдання	26.01 – 02.02
2	Аналіз особливостей та вимог до систем керування потоками на транспортних перехрестях	03.02 – 15.02
3	Проектування комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям на основі аналізу відеопотоків	20.04 – 25.04
4	Алгоритмічне та програмне забезпечення комп'ютерної системи керування транспортним перехрестям	26.04 – 05.05
5	Безпека життєдіяльності, основи охорони праці	07.05 – 25.05

Продовження таблиці 1

№ етапу	Назва етапу виконання кваліфікаційної роботи	Термін виконання
6	Оформлення пояснювальної записки і графічного матеріалу	26.05 – 7.06
7	Перевірка на академічний плагіат, перевірка керівником та консультантами	8.06 – 14.06
8	Попередній захист кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06 – 21.06
9	Захист кваліфікаційної роботи бакалавра	26.06.2026

#### 6 Додаткові умови виконання кваліфікаційної роботи

Під час виконання кваліфікаційної роботи у дане технічне завдання можуть вноситися зміни та доповнення.