

Міністерство освіти і науки України
Західноукраїнський національний університет
Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем

ВАЙШЛЕ Валерій Олегович

Автоматизована система регулювання дорожнього руху / Automated
traffic regulation system

спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані
технології

освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології

Кваліфікаційна робота

Виконав студент групи АКІТ - 41
В.О. Вайшле

Науковий керівник

Кваліфікаційну роботу допущено
до захисту:

«_____» _____ 2025 р.

Завідувач кафедри

_____ А.І.Сегін

ТЕРНОПІЛЬ – 2025

Факультет комп'ютерних інформаційних технологій
Кафедра спеціалізованих комп'ютерних систем
Ступінь вищої освіти "бакалавр"
Спеціальність: 151 - Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
Освітньо-професійна програма – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

“ЗАТВЕРДЖУЮ”
Завідувач кафедри СКС
_____ А.І.Сегін
“ ____ ” _____ 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ
ВАЙШЛЕ Валерій Олегович

(прізвище, ім'я по-батькові)

1. Тема випускної кваліфікаційної роботи

Автоматизована система регулювання дорожнього руху / Automated traffic regulation system

керівник роботи _____ А.М.Шевчук

затверджені наказом по університету від "28" листопада 2024 р. № 938

2. Строк подання студентом закінченої кваліфікаційної роботи:

06 травня 2025р.

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи:

1. Відомості про засоби регулювання дорожнім рухом
2. Методи регулювання дорожнім рухом
3. Алгоритми регулювання дорожнього руху

4. Основні питання, які потрібно розробити:

1. Аналіз систем регулювання дорожнього руху
2. Розроблення структурних схем регулювання дорожнього руху
3. Розроблення автоматизованої системи регулювання дорожнього руху

5. Перелік графічного матеріалу у роботі:

1. Структурна схема роботи світлофора з фіксованими циклами
2. Структурна схема адаптивної системи регулювання дорожнього руху
3. Візуалізація алгоритму роботи програми для світлофора з фіксованими циклами

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
1	Шевчук А.М.		
2	Шевчук А.М.		
3	Возна Н. Я		

7. Дата видачі завдання 28 листопада 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назви етапів випускної кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір та аналіз літератури і першоджерел	12.2024р. – 01.2025р.	
2	Розгляд системи регулювання дорожнього руху	02.2025р. – 03.2025р.	
3	Розробка структурних схем та автоматизованої системи регулювання дорожнього руху	04.2025р. – 05.2025р.	

Студент

(підпис)

Вайшле В.О.

Керівник роботи

(підпис)

Шевчук А.М.

АНОТАЦІЯ

Вайшле В. О. Автоматизована система регулювання дорожнього руху. – Рукопис.

Дослідження на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійна програма. – Західноукраїнський національний університет, Тернопіль 2025.

У роботі досліджено методи та підходи до автоматизованого регулювання дорожнього руху за допомогою адаптивних світлофорних систем. Висвітлено принципи роботи класичних та сучасних алгоритмів керування, включаючи системи SCOOT, SCATS та інтелектуальні моделі. Описано структуру, принцип дії та особливості впровадження інтелектуальних адаптивних рішень з використанням штучного інтелекту, хмарних сервісів та IoT-технологій. Проведено порівняльний аналіз ефективності різних методів регулювання на основі моделювання та статистичних показників. Запропоновано методику проектування автоматизованої системи керування дорожнього руху.

ABSTRACT

Vaishle V. O. Automated traffic regulation system. - Manuscript.

Research for the degree of "Bachelor" in the specialty 151 "Automation and Computer-Integrated Technologies", educational-professional program. – West Ukrainian National University, Ternopil 2025.

The paper investigates methods and approaches for automated traffic control through adaptive traffic light systems. It outlines the operating principles of classical and modern control algorithms, including SCOOT, SCATS, and intelligent models. The structure, operation, and features of implementing intelligent adaptive solutions using artificial intelligence, cloud services, and IoT technologies are described. A comparative analysis of the effectiveness of various control methods is conducted based on modeling and statistical indicators. A methodology for designing an automated traffic regulation system is proposed.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. РОЗВИТОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	10
1.1. Еволюція систем керування дорожнього руху.....	10
1.2 Конструктивні особливості та принцип дії трисекційного світлофора.....	18
1.3. Невирішені питання у сфері проектування САУ для світлофорних систем.....	20
2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	23
2.1. Обґрунтування вибору напрямку проектування.....	23
2.2. Методи вирішення задач регулювання дорожнього руху.....	27
2.3. Алгоритми систем керування дорожнього руху.....	36
2.4. Розробка загальної методики проектних робіт.....	44
3. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ.....	46
3.1. Програмування ПЛК для світлофора, який працює на основі фіксованих циклів.....	46
3.2 Тестування програми у середовищі codesys.....	51
ВИСНОВКИ.....	56
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	58

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ			
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Автоматизована система регулювання дорожнього руху / Automated traffic regulation system ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			
Розроб.		Вайшле В. О.						
Перевір.		Шевчук А. М.						
Консульт.		Возна Н.Я.						
Н. Контр.		Заставний О.М						
Затверд.		Сегін А.І.						
					Літ.	Арк.	Аркушів	
						5		

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ І СКОРОЧЕНЬ

CAУ — системи автоматичного управління.

PLC — програмований логічний контролер (Programmable Logic Controller).

ІІІ — штучний інтелект.

ML — машинне навчання (Machine Learning).

AI — штучний інтелект (Artificial Intelligence).

IoT — Інтернет речей (Internet of Things).

ITS — інтелектуальні транспортні системи (Intelligent Transportation Systems).

SCADA — система диспетчерського керування та збору даних (Supervisory Control and Data Acquisition).

GPS — глобальна система позиціонування (Global Positioning System).

LD — логічна діаграма (Ladder Diagram), мова програмування для ПЛК.

SCOOT — Split Cycle Offset Optimisation Technique — метод адаптивного керування світлофорами на основі зміщення та оптимізації циклів.

SCATS — Sydney Coordinated Adaptive Traffic System — адаптивна система керування дорожнім рухом.

TON — таймер на увімкнення (Timer ON Delay) — затримка перед увімкненням вихідного сигналу.

TOF — таймер на вимкнення (Timer OFF Delay) — затримка перед вимкненням вихідного сигналу.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						6
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВСТУП

Актуальність теми. З кожним роком кількість транспортних засобів на дорогах зростає, що створює значні виклики для систем управління дорожнім рухом. Традиційні методи регулювання світлофорів, що працюють за фіксованим часом, часто виявляються неефективними, особливо у години пік або за змінних умов руху. Такі підходи не враховують реальну ситуацію на дорозі, що призводить до нерівномірного розподілу транспортних потоків, збільшення часу очікування на перехрестях, зростання кількості заторів та підвищення рівня викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Сучасні тенденції у сфері транспортної інфраструктури спрямовані на впровадження інтелектуальних систем керування дорожнім рухом. Це дозволяє зменшити час простою транспорту та підвищити пропускну здатність доріг, оптимізувати витрати пального, що особливо актуально в умовах зростання цін на енергоресурси, знизити рівень викидів CO₂, сприяючи покращенню екологічної ситуації в містах, підвищити безпеку дорожнього руху, мінімізуючи ризики аварій через раптові зміни сигналів світлофорів або непередбачувані затримки.

На сьогодні такі інтелектуальні системи вже активно впроваджуються в країнах Європи, США, Канаді та Азії. Досвід міст, таких як Лондон, Сінгапур, Нью-Йорк та Берлін, демонструє значне покращення транспортних потоків та зменшення затримок на світлофорах після інтеграції адаптивних алгоритмів керування.

В Україні впровадження подібних систем лише набирає обертів, і поки що більшість світлофорів працює за застарілими схемами фіксованих циклів. Однак із розвитком технологій, постає нагальна потреба у розробці та впровадженні ефективних адаптивних світлофорних систем.

У зв'язку з цим дане дослідження є актуальним, оскільки дозволяє проаналізувати існуючі світові підходи до адаптивного керування світлофорами та визначити їхні переваги, оцінити можливість адаптації сучасних рішень до

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

умов українських міст, враховуючи особливості інфраструктури та нормативні вимоги, розробити рекомендації та методики впровадження таких систем для підвищення ефективності керування дорожнім рухом в Україні, таким чином, розробка адаптивних світлофорних систем є важливим напрямком для покращення міської мобільності, зниження рівня заторів, економії ресурсів та підвищення екологічної безпеки.

Мета кваліфікаційної роботи. Розроблення системи регулювання дорожнього руху на основі аналізу існуючих систем керування світлофорами в Україні та за кордоном, дослідження принципів роботи адаптивних світлофорів, які використовують датчики та камери для контролю завантаженості доріг.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- проаналізувати існуючі системи керування світлофорами;
- проаналізувати існуючі методи вирішення задач адаптивного регулювання трафіку;
- розробити структурну схему світлофора який працює на основі фіксованих циклів;
- розробити схему адаптивної системи регулювання дорожнього руху;
- запрограмувати ПЛК для системи регулювання дорожнього руху;
- протестувати програму за допомогою віртуального ПЛК, без фізичного обладнання.

Об'єкт дослідження. Розумні світлофорні системи, що використовують датчики руху, відеокамери та алгоритми для оптимізації регулювання дорожнього руху.

Предмет дослідження. Автоматизована система адаптивного регулювання світлофорами з використанням інтелектуальних систем збору та аналізу даних про транспортні потоки.

Методи дослідження. Технологій адаптивного керування світлофорами, алгоритми керування дорожнім рухом, технології розроблення структурних схем для автоматизованих систем керування, програмування програмованого логічного контролера.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Практичне значення одержаних результатів. Результати дослідження можуть бути використані для впровадження в правильних місцях різних систем керування дорожнім рухом в Україні, що дозволить: зменшити затори на дорогах, підвищити безпеку руху, знизити рівень шкідливих викидів, покращити загальну ефективність транспортної інфраструктури.

Напрямки подальшого розвитку. Подальші дослідження можуть бути зосереджені на більш глибокому аналізі адаптивної системи керування дорожнього руху, впровадженні складніших компонентів для аналізу транспортних потоків, інтеграції світлофорів з IoT-системами, а також на розробку програмованого логічного контролера для роботи сучасніших адаптивних світлофорів.

Апробація. Вайшле Валерій Автоматизована система регулювання дорожнього руху / В.Вайшле // Збірник матеріалів всеукраїнської науково-практичної конференції «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» (АКІТ - 2025), Тернопіль, 2025. -С.10-13.

1. РОЗВИТОК СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1.1 Еволюція систем керування дорожнім рухом

Системи автоматичного керування дорожнім рухом є важливим елементом інфраструктури міського транспорту, що безпосередньо впливають на безпеку дорожнього руху, ефективність транспортних потоків та екологічний стан міст. Розвиток таких систем пройшов кілька етапів, кожен з яких значною мірою сприяв удосконаленню механізмів регулювання світлофорними фазами в залежності від реальних умов на дорогах.

1.1.1 Початковий етап: механічні та електричні системи

Перші системи світлофорного регулювання були представлені на початку 1860-х років в Лондоні, де було встановлено механічні сигнальні пристрої для регулювання руху на перехрестях. Це були світлофори, що працювали за допомогою механічних пристроїв, і вони не мали електричних компонентів. Вони використовували ручні пристрої для зміни сигналів на червоний, зелений або жовтий. Найперша система була встановлена в 1868 році на перехресті в Лондоні, щоб забезпечити безпеку руху коней і перших автомобілів. Цей світлофор був спроектований таким чином, що мав два сигнали: червоний та зелений. Їх змінював регулювальник, який вручну переключав сигнали через механізм, що працював на основі важелів і шестерень.

Перші механічні світлофори були досить небезпечні через те, що вони потребували присутності регулювальника на місці і не могли ефективно працювати в умовах великих міст. У 1912 році в США було встановлено перший електричний світлофор, що дозволив зробити процес регулювання дорожнього руху більш автоматизованим. Цей електричний світлофор замінив механічну частину на електричні лампи, що дозволило змінювати сигнали без людського втручання.

Електричні світлофори з двома секціями(рисунок1.1) мали важливу перевагу – можливість віддаленого включення та вимикання сигналів. Вони працювали на основі простого електричного кола, яке дозволяло автоматично

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

чергувати фази світлофорів. Світлофори працювали за певним часом, без адаптації до ситуації на дорозі. Це означало, що фази світлофора змінювались за фіксованим циклом, незалежно від поточного руху транспорту.



Рисунок 1.1 – Один з перших електричних світлофорів з двома секціями.

У 1920-х роках стало зрозуміло, що для поліпшення безпеки на дорогах необхідно було додавати до світлофорних систем не тільки червоний і зелений сигнали, але й жовтий. Це допомогло водіям заздалегідь попереджати про зміну сигналу і зменшило кількість нещасних випадків. Перші трьохсигнальні світлофори(рисунок 1.2) з'явилися в США в 1920 році, що стало важливим кроком у розвитку систем регулювання дорожнього руху.

Жовтий сигнал був введений як сигнал попередження, який вказував на те, що світлофор ось-ось змінить фазу, і водії повинні бути готові до зупинки. Таким чином, жовтий сигнал виконував функцію попереджувального інтервалу між червоним і зеленим сигналами. У цей час відбувся значний прогрес в автоматизації та стандартизації світлофорних систем, що призвело до зменшення кількості аварій на перехрестях.



Рисунок 1.2 – Один з перших світлофорів з трьома секціями.

1.1.2 Розвиток електронних систем: перехід до програмованих рішень

Після того як перші механічні та електричні системи світлофорного регулювання довели свою ефективність, але й показали низку обмежень, таких як необхідність фіксованих часових циклів і відсутність адаптації до поточної дорожньої ситуації, почався процес розвитку більш складних електронних систем. Цей перехід став основою для формування нових підходів до управління дорожнім рухом, які вже враховували зростаючу кількість транспортних засобів і різноманітні умови на дорогах.

З появою перших програмованих логічних контролерів (ПЛК) світлофорні системи отримали новий рівень керованості та надійності(рисунок 1.3). На відміну від простих реле або механічних таймерів, ПЛК дозволяли задавати послідовність перемикання сигналів у вигляді програми, що зберігалась у пам'яті пристрою. Такі контролери могли легко адаптуватись до різних схем руху, забезпечуючи більш точне й стабільне виконання логіки керування світлофорами. Хоча перші ПЛК були обмежені у функціональності та не враховували змін дорожньої ситуації в реальному часі, вони заклали основу для переходу від жорстких циклічних режимів до більш гнучких і програмованих методів регулювання трафіку.



Рисунок 1.3 – ПЛК для світлофора з трьома секціями.

З розвитком електроніки почали з'являтися світлофори, які були оснащені датчиками руху. Ці сенсори дозволяли виявляти наявність транспортних засобів на перехресті та автоматично змінювати сигнали світлофора. У той час почали застосовуватися індукційні петлі в дорожньому покритті, які могли виявляти транспортні засоби, що зупиняються або рухаються по перехрестю. Індукційні петлі(рисунок 1.4) працюють за принципом зміни магнітного поля, яке викликається металевими предметами, такими як автомобілі. Коли транспортний засіб перетинає цю петлю, змінюється індукція, і сигнал на світлофорі адаптується до поточної ситуації. Це дозволяло значно зменшити кількість часу, який витрачається на вичікування світла без потреби, коли на перехресті немає автомобілів.

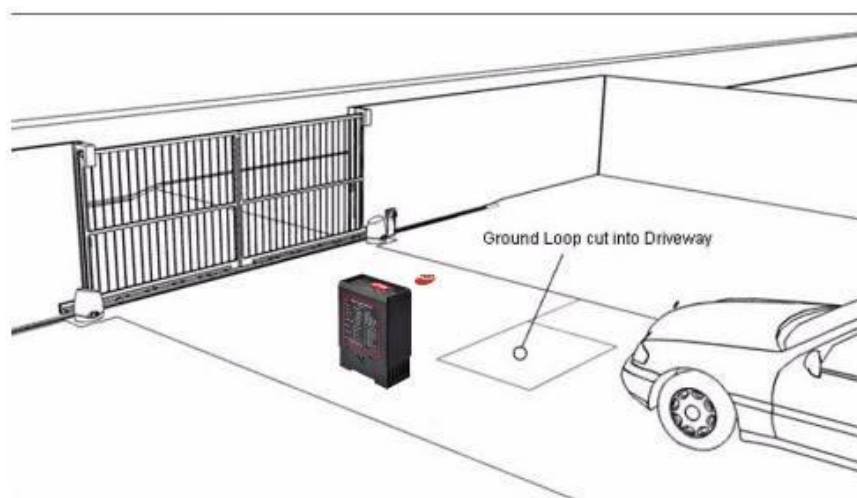


Рисунок 1.4 – Приклад індукційної петлі для автоматичного відкриття воріт.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		13

Пізніше мікроконтролери і цифрові технології стали основними елементами, що використовуються для управління світлофорами. Мікроконтролери — це маленькі комп'ютери, які можуть виконувати програмовані інструкції та керувати електронними системами на рівні апаратного забезпечення. Вони дозволяли створювати більш складні алгоритми для керування дорожнім рухом. Вперше з'явилась можливість розробляти програмовані рішення, які могли адаптуватися до різних умов руху, враховуючи не лише індукційні петлі, а й дані від інших сенсорів, таких як камери, радарні системи та системи відео спостереження(рисунок 1.5). Програмування світлофорів стало більш гнучким. Замість того, щоб використовувати фіксовані цикли, можна було створювати програми, які автоматично налаштовували тривалість червоних, жовтих та зелених сигналів залежно від навантаження на дорогу. Це дозволяло оптимізувати транспортні потоки в реальному часі.



Рисунок 1.5 – Камера для контролю навантаження на дорогу.

У 1990-х роках з'явилися мережеві технології, які дозволили інтегрувати системи керування світлофорами в централізовану мережу. Така інтеграція дозволяла контролювати стан кожного світлофора, коригувати їх роботу з єдиного контрольного центру та швидко реагувати на непередбачувані ситуації, такі як аварії чи сильні затори. Системи централізованого управління використовували спеціалізовані програмні продукти для керування

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

світлофорами в режимі реального часу. Вони дозволяли не тільки віддалено змінювати сигнали світлофорів, а й зібрати аналітичні дані про стан руху на різних ділянках міста. Це сприяло більш ефективному плануванню і оптимізації дорожнього руху.

З розвитком адаптивних систем управління світлофорами, які стали здатні автоматично реагувати на змінювані умови на дорогах за допомогою аналізу реального часу. Такі системи використовували більш складні алгоритми для прогнозування трафіку та адаптації світлофорних циклів до реальних умов. Ці системи могли враховувати такі фактори, як кількість автомобілів, пішоходи, час доби, погодні умови та інші змінні. Для цього застосовувалися алгоритми штучного інтелекту (ШІ), які дозволяли автоматично налаштовувати роботу світлофорів, враховуючи складні патерни руху транспорту. Інтелектуальні системи на основі машинного навчання могли постійно вдосконалюватися, вивчаючи зміни в дорожньому русі та прогножуючи їх на основі попереднього досвіду.

Із розвитком технологій мобільних пристроїв і GPS-навігації почали використовуватись системи, що дозволяють інтегрувати дані з мобільних додатків та GPS-трекерів для керування світлофорними системами. Такі системи можуть враховувати поточну ситуацію на дорогах у реальному часі і автоматично змінювати сигнали світлофорів залежно від потоку транспорту, аналізуючи дані з автомобілів, що використовують навігаційні програми. Розвиток електронних систем автоматичного керування світлофорним регулюванням дозволив значно покращити ефективність дорожнього руху. Перші кроки в бік програмованих рішень стали основою для розвитку адаптивних та інтелектуальних систем, які нині забезпечують оптимізацію руху в умовах реального часу. Цей перехід не лише збільшив гнучкість світлофорних систем, а й відкрив нові можливості для інтеграції з іншими сучасними технологіями, такими як GPS, інтернет речей (IoT) та штучний інтелект[1].

1.1.3 Етап автоматизації та цифровізації: інтелектуальні системи керування

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

У результаті впровадження технологій автоматизації та цифровізації, системи керування світлофорним регулюванням перейшли до нового етапу, де традиційні методи були замінені на більш інтелектуальні та адаптивні рішення. Цей етап характеризується інтеграцією сучасних технологій, таких як Інтернет речей, штучний інтелект, машинне навчання та великі дані, що дозволяє створити більш ефективні, гнучкі та розумні системи управління трафіком.

Зі зростанням складності транспортних потоків та вимог до їх ефективного управління, інтелектуальні транспортні системи (ITS) стали основою сучасних рішень у сфері управління світлофорними фазами. ITS є комплексними системами, які інтегрують різні технології для збору, обробки та аналізу даних про трафік у реальному часі, з метою оптимізації руху транспортних засобів. Інтелектуальні транспортні системи використовують сенсори, відеокамери, датчики руху, а також алгоритми на основі машинного навчання для збору і аналізу даних про потік транспорту. Вони дозволяють проводити адаптивне регулювання світлофорних фаз, враховуючи реальний стан трафіку, підвищити ефективність управління потоками транспорту в години пік, зменшити затори, оптимізуючи час роботи світлофорів залежно від обсягів руху.

Ці системи здатні не тільки знижувати затримки, але й покращувати загальну пропускну здатність міських доріг, оптимізуючи використання інфраструктури.

Одним із важливих аспектів інтелектуальних систем керування є інтеграція численних датчиків та пристроїв, що взаємодіють через Інтернет речей (IoT). У рамках IoT, міські системи оснащуються безліччю датчиків, які здійснюють моніторинг транспортних потоків, погодних умов, рівня забруднення та навіть поведінки водіїв. Завдяки використанню IoT, світлофори можуть отримувати дані не лише з традиційних датчиків руху (індукційних петель, радарів, камер), але й від інших джерел, таких як мобільні додатки або автомобілі з підключенням до мережі (наприклад, на основі технології V2X — vehicle-to-everything).

Інтелектуальні системи керування світлофорами активно використовують машинне навчання (ML) та штучний інтелект для аналізу зібраних даних і

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

прийняття рішень. ШІ здатний оптимізувати час роботи світлофорів, враховуючи широкий спектр факторів трафік у реальному часі, аналіз історичних даних, адаптація до непередбачуваних ситуацій.

Одним із прикладів є алгоритми навчання з підкріпленням, які дозволяють системам самостійно оптимізувати світлофорні фази без прямого втручання людини, враховуючи результати попередніх рішень і їх ефективність.

Інтелектуальні системи можуть здійснювати динамічне управління світлофорними фазами в реальному часі, що значно покращує пропускну здатність доріг. Це включає:

Адаптивні світлофори. Фази світлофорів змінюються не за фіксованим розкладом, а відповідно до реальної ситуації на дорозі. Якщо на одній смузі руху утворюються затори, система автоматично подовжує час зеленого сигналу для цього напрямку.

Прогнозування трафіку. ШІ та алгоритми машинного навчання можуть прогнозувати майбутній трафік на основі даних з сенсорів та історичних записів, що дозволяє передбачити потенційні проблеми з трафіком і здійснити коригування завчасно.

Інтелектуальні системи керування світлофорами також інтегруються з іншими частинами розумних міст та інтелектуальних транспортних мереж. Це дозволяє створювати єдину платформу для управління міським трафіком, де дані з різних джерел, таких як сенсори, відеокамери, мобільні додатки та навіть автономні транспортні засоби, об'єднуються в одній системі.

Це дозволяє здійснювати керування трафіком на міжміських дорогах та в міських зонах з використанням єдиного центру. Координацію роботи світлофорів на великих перехрестях, що дозволяє забезпечити безперервний рух без заторів. Визначення оптимальних маршрутів для транспорту через інтеграцію з навігаційними системами та сервісами для водіїв[2][3].

1.2 Конструктивні особливості та принцип дії трисекційного світлофора

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

На рисунку 1.6 зображено класичний трисекційний світлофор, який використовується для регулювання дорожнього руху. Його конструкція складається з трьох світлових секцій: червоної, жовтої та зеленої, розташованих вертикально. Така конфігурація дозволяє чітко інтерпретувати сигнали незалежно від напрямку руху або кута огляду водія.

Основні габаритні розміри світлофора:

- Загальна висота корпусу — 969 мм;
- Висота активної частини (світлових секцій) — 791 мм;
- Ширина корпусу — 269 мм;
- Глибина конструкції — 460 мм;
- Діаметр світлової секції — приблизно 200 мм;
- Кріпильний отвір — Ø11 мм;
- Міжсекційні проміжки — 94 мм.

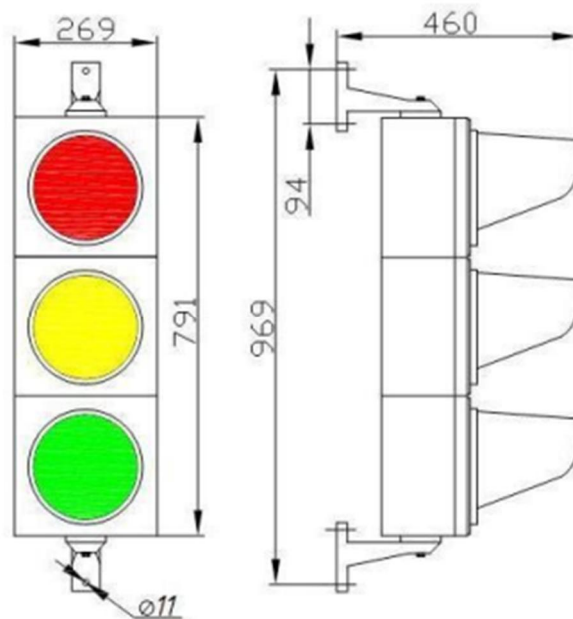


Рисунок 1.6 – Конструктивні особливості світлофора.

Корпус світлофора має спеціальні козирки над кожною секцією для захисту від прямих сонячних променів, що покращує видимість сигналів навіть при яскравому освітленні. Світлофор кріпиться до опори за допомогою монтажного елемента, який розміщується зверху та знизу корпусу.

Подібні світлофори виготовляються з ударостійкого пластику або металу, а для підсвічування найчастіше використовуються світлодіоди (LED), що забезпечує довгий термін експлуатації, низьке енергоспоживання та високу яскравість сигналів [4, 5].

Такий тип світлофора широко використовується в адаптивних системах регулювання дорожнього руху і є сумісним з програмованими логічними контролерами, які здійснюють керування тривалістю кожної фази світлового сигналу відповідно до дорожньої ситуації.

Сучасні трисекційні світлофори активно використовуються не лише як базові пристрої для подачі світлових сигналів, а й як складові елементи інтелектуальних транспортних систем. Завдяки підтримці стандартів підключення та керування, вони можуть легко інтегруватися з адаптивними системами регулювання дорожнього руху, зокрема з використанням програмованих логічних контролерів (PLC).

Використання PLC (Programmable Logic Controller) забезпечує гнучке програмування логіки роботи світлофора, що дозволяє враховувати найрізноманітніші фактори (наприклад, годину доби, день тижня, рівень завантаженості дороги). Реакцію на зміну дорожньої обстановки в режимі реального часу. Можливість дистанційного налаштування та моніторингу. Надійність і стійкість до зовнішніх впливів, що робить PLC ідеальними для використання в транспортній інфраструктурі.

У сучасних системах дорожнього руху застосовуються кілька ключових режимів роботи світлофорів, кожен з яких має своє призначення та сферу використання:

Фіксований цикл (статичний режим). У цьому режимі кожна фаза (червоний, жовтий, зелений сигнали) має заздалегідь визначену тривалість, яка не змінюється незалежно від ситуації на дорозі.

Адаптивний режим. Один із найбільш прогресивних підходів, за якого тривалість світлових фаз автоматично коригується на основі даних, отриманих з

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

датчиків руху, камер відеоспостереження, систем розпізнавання номерних знаків тощо.

Пріоритетне керування. Передбачає динамічну зміну сигналів для надання переваги окремим учасникам руху, зокрема: громадському транспорту (трамваї, автобуси) та аварійним службам (швидка допомога, поліція, пожежна служба). Це реалізується через вбудовані модулятори сигналу, RFID-мітки або спеціальні канали зв'язку.

Нічний режим (енергозберігаючий). У період зниженої інтенсивності руху (зазвичай з 22:00 до 05:00) світлофор переводиться у режим миготіння жовтого сигналу, що інформує водіїв про необхідність підвищеної обережності.

Завдяки своїй універсальності, надійності та стандартизованості, трисекційний світлофор залишається ключовим елементом у системах керування дорожнім рухом. Його основні переваги в сучасних умовах сумісність з цифровими системами (PLC, SCADA, інтелектуальні транспортні системи). Можливість швидкої заміни або модернізації (наприклад, встановлення LED-модулів або бездротових контролерів). Низьке енергоспоживання, особливо при використанні світлодіодних джерел світла, а також висока видимість та довгий термін служби [6].

1.3 Невирішені питання у сфері проектування САУ для регулювання дорожнього руху

Сучасний розвиток міст та зростання інтенсивності транспортних потоків вимагають постійного вдосконалення систем автоматичного керування світлофорами. Проте, незважаючи на наявність різноманітних технологічних рішень, існує низка проблем, які залишаються відкритими і потребують подальших досліджень та розробок. Ці проблеми стосуються як загальної концепції побудови систем, так і практичних аспектів їх впровадження в умовах українських міст.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

Одним із напрямків розвитку інтелектуальних систем керування дорожнім рухом є інтеграція з автономними транспортними засобами. У майбутньому ці транспортні засоби, що підключені до міської транспортної інфраструктури, можуть взаємодіяти з світлофорами, що дозволить створювати більш скоординовані транспортні потоки.

Також, використання мереж 5G дасть можливість створювати високошвидкісні, надійні комунікації між світлофорами, транспортними засобами та іншими частинами міської інфраструктури, що забезпечить швидке обміну даними та миттєве реагування на зміну ситуації на дорозі.

Завдяки автоматизації, інтелектуальні системи керування дорожнім рухом здатні не лише адаптувати світлофорні фази до поточного трафіку, але й прогнозувати зміни в русі та приймати рішення в реальному часі, що дозволяє значно покращити ефективність транспортних потоків у містах.

Одним із ключових викликів є переосмислення традиційних підходів до керування дорожнім рухом. Багато існуючих систем базуються на застарілих принципах, які не враховують динамічну зміну транспортної ситуації протягом доби або тижня. Це ставить під сумнів ефективність подібних САУ в умовах зростаючого транспортного навантаження. Потреба в створенні гнучких, адаптивних механізмів керування, які можуть реагувати на зміни в реальному часі, є одним із найважливіших завдань сучасного етапу розвитку світлофорного регулювання.

Ще одним важливим питанням є відсутність інтеграції між САУ та іншими сучасними транспортними системами — навігаційними платформами, системами моніторингу транспорту, цифровими картами, а також інтелектуальними транспортними системами. Така інтеграція є необхідною умовою для формування єдиного інформаційного простору, в якому дані з різних джерел дозволяють приймати оптимальні рішення щодо організації дорожнього руху.

Важливим аспектом також є технічна та економічна доцільність впровадження інтелектуальних систем. У багатьох містах, зокрема в Україні,

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

існують труднощі, пов'язані з модернізацією інфраструктури, недостатнім фінансуванням та технічною застарілістю світлофорного обладнання. Це створює бар'єри для впровадження сучасних цифрових рішень, навіть за наявності відповідних технологій.

Окремо варто відзначити кадрове питання — нестачу фахівців, які мають відповідну підготовку для проектування та обслуговування складних адаптивних систем керування. Це уповільнює процес модернізації й ускладнює підтримку існуючих рішень у належному стані.

Таким чином, проектування САУ для регулювання дорожнім рухом сьогодні стикається не лише з технічними викликами, а й з організаційними, економічними та методологічними проблемами. Розв'язання цих питань потребує комплексного підходу — від оновлення нормативної бази та інфраструктури до розвитку освітніх програм та впровадження нових технологій на практиці[7].

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

2. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПРИНЦИПІВ АВТОМАТИЗОВАНОГО РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

2.1 Обґрунтування вибору напрямку проектування

У сучасних умовах швидкий розвиток урбаністичних територій створює нові виклики для міських транспортних систем. Зростання кількості населення, збільшення кількості автомобілів та постійне урбанізаційне навантаження веде до проблем із заторами, а також до підвищення рівня забруднення повітря. Ось кілька основних аспектів, що визначають потреби транспортних систем у містах.

Збільшення інтенсивності руху є однією з основних проблем сучасних міст. З часом кількість транспортних засобів на вулицях постійно зростає, що призводить до утворення заторів, зниження середньої швидкості пересування та збільшення загального часу перебування в дорозі. Це, у свою чергу, негативно впливає не лише на зручність пересування, а й на загальний ритм життя міського середовища.

Ще одним важливим чинником є вплив транспорту на навколишнє середовище. Часті зупинки та початки руху, характерні для недосконалих світлофорних систем, спричиняють підвищення рівня викидів вуглекислого газу (CO₂) та інших шкідливих речовин, що суттєво погіршує екологічний стан у містах, особливо у густонаселених районах.

Наявні системи світлофорного регулювання часто не здатні оперативно реагувати на зміну дорожньої ситуації, що знижує ефективність управління транспортними потоками. Це призводить до нераціонального використання часу, коли автомобілі змушені зупинятися навіть за відсутності перешкод, що зменшує комфорт пересування для водіїв і пасажирів.

У контексті стрімкого розвитку цифрових технологій та впровадження концепції «розумного міста» зростає потреба в адаптивних світлофорних системах, здатних інтегруватися з інтелектуальними транспортними системами (ITS). Такі рішення передбачають взаємодію з автомобільними датчиками,

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

мобільними додатками, камерами спостереження та іншими цифровими інструментами, що дозволяє створювати більш ефективне, екологічне та зручне середовище для учасників дорожнього руху.

У сучасних умовах стрімкого зростання автомобільного трафіку особливої актуальності набуває впровадження інтелектуальних систем керування дорожнім рухом. Такі системи повинні відповідати ряду вимог, які забезпечують їх ефективну та сталу роботу в динамічному міському середовищі.

Адаптивність є ключовою характеристикою сучасних систем керування дорожнім рухом. Вона передбачає здатність системи реагувати на реальні умови на дорогах та автоматично змінювати режими роботи світлофорів відповідно до поточної ситуації. Наприклад, у години пік система може подовжувати зелену фазу на напрямках із підвищеною інтенсивністю руху, а в нічний час — переходити в енергозберігаючий режим.

Ще однією важливою вимогою до таких систем є масштабованість. Система повинна ефективно функціонувати не лише на окремих перехрестях, а й у межах цілого міста або навіть агломерації. Вона має бути готовою до подальшого розширення та інтеграції з іншими елементами інтелектуальної транспортної інфраструктури без втрати продуктивності.

Серед основних цілей впровадження подібних рішень — зниження часу очікування транспортних засобів на перехрестях. Це досягається шляхом оптимізації фаз світлофорного регулювання, що дозволяє зменшити кількість зупинок та підвищити середню швидкість руху. У результаті покращується не лише транспортна ситуація, а й загальний комфорт поїздки.

Окрім цього, адаптивне керування сприяє екологічній ефективності. Зменшення кількості зупинок і стартів транспорту дозволяє знизити рівень викидів вуглекислого газу (CO₂), що позитивно впливає на стан навколишнього середовища, особливо в умовах щільної міської забудови.

Не менш важливою є і здатність таких систем до інтеграції з уже існуючою інфраструктурою міського управління. Це дозволяє впроваджувати нові

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

технології без потреби в масштабних змінах або реконструкції, зберігаючи при цьому цілісність та економічну доцільність модернізації транспортної мережі.

Адаптивні системи керування світлофорами, що здатні реагувати на зміну трафіку в режимі реального часу, стали необхідністю у зв'язку з кількома факторами:

Невизначеність та динамічність трафіку. Потік транспортних засобів на дорогах постійно змінюється, залежно від часу доби, погодних умов, подій в місті тощо. Фіксовані цикли світлофорів не здатні ефективно реагувати на ці зміни.

Зниження кількості заторів. Адаптивні системи можуть зменшити час, витрачений на стояння в заторах, що позитивно впливає на швидкість руху та екологічні показники (менше викидів CO₂).

Реакція на події. Адаптивні системи здатні виявляти аварійні ситуації або підвищену інтенсивність руху і коригувати час світлофорів для уникнення пробок.

Ефективне використання ресурсів. Система може автоматично коригувати час роботи світлофорів у відповідності до реальних потреб, що дозволяє оптимізувати енергоспоживання.

Сучасні технології, що застосовуються для проектування інтелектуальних систем керування світлофорами, базуються на широкому спектрі рішень, які дозволяють ефективно адаптувати роботу системи до змін у дорожньому трафіку. Одним із ключових компонентів є сенсори та датчики руху, зокрема індукційні петлі, інфрачервоні датчики, ультразвукові сенсори, відеокамери та радарні системи. Наприклад, індукційні петлі вбудовуються в дорожнє покриття на під'їздах до перехресть і реагують на наявність металевих предметів, таких як автомобілі, передаючи сигнал до контролера про присутність транспорту. Камери з комп'ютерним зором здатні не лише фіксувати рух, а й аналізувати швидкість, тип транспортного засобу та кількість машин у черзі.

Штучний інтелект (ШІ) відіграє важливу роль у створенні адаптивних алгоритмів керування. За допомогою машинного навчання ШІ може аналізувати

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		25

великі масиви історичних даних, виявляти закономірності та робити прогнози щодо майбутніх змін у трафіку. Наприклад, системи можуть передбачати години пік або можливі затори та завчасно змінювати фази світлофорів, щоб уникнути перевантаження окремих ділянок дороги.

Інтеграція технологій Інтернету речей (IoT) дозволяє об'єднувати світлофори, транспортні засоби, камери, метеостанції та інші елементи інфраструктури в єдину мережу, яка забезпечує обмін інформацією в реальному часі. Наприклад, розумні світлофори можуть взаємодіяти між собою та з автобусами громадського транспорту, забезпечуючи пріоритетний проїзд для маршрутних засобів.

Ще одним джерелом даних є мобільні додатки та GPS-технології. Застосунки, такі як Google Maps або Waze, збирають інформацію про швидкість руху користувачів, фіксують затори, аварії чи перекриття доріг і передають ці дані до центральної системи керування. На основі отриманої інформації інтелектуальна система може автоматично скоригувати режими роботи світлофорів, щоб мінімізувати затримки та забезпечити рівномірний розподіл транспортного потоку.

Таким чином, сучасні інтелектуальні системи керування світлофорами поєднують у собі високоточні датчики, аналітичні можливості штучного інтелекту, інфраструктуру IoT та дані з GPS для досягнення максимальної ефективності в умовах динамічного дорожнього середовища.

На основі аналізу потреб та технологічних можливостей формуються основні цілі і завдання проекту:

Ціль: створення схеми для адаптивної системи управління дорожнім рухом, що забезпечує зниження часу заторів, підвищення ефективності транспортних потоків та зменшення екологічного навантаження. А також програмування ПЛК для світлофора з фіксованим циклом роботи[8][9].

Завдання:

- розробити схему адаптивної системи керування дорожнім рухом яка враховує реальні дані про трафік;

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		26

- запрограмувати ПЛК для світлофора із фіксованим циклом роботи;
- протестувати програму за допомогою віртуального ПЛК.

2.2. Методи вирішення задач регулювання дорожнього руху

У сучасних умовах інтенсивного розвитку транспортної інфраструктури виникає необхідність у постійному вдосконаленні методів регулювання дорожнього руху. Від ефективності обраного методу залежить не лише швидкість пересування транспортних засобів, а й безпека на дорогах, комфорт учасників руху та екологічний стан навколишнього середовища. Залежно від складності перехрестя, інтенсивності трафіку та технічного оснащення дорожньої мережі застосовуються різні підходи до керування світлофорами. Кожен з методів — від найпростіших із фіксованими циклами до складних адаптивних систем — має свої переваги, недоліки та сферу застосування. Розуміння принципів їхньої роботи є ключовим для правильного проєктування систем керування. У цьому підрозділі буде розглянуто три основні методи: фіксоване регулювання, напівактивне керування та повністю адаптивні системи, що реагують на зміну трафіку в режимі реального часу.

2.2.1 Фіксовані цикли

Фіксоване керування є найпростішою та найстарішою формою керування світлофорами. У цьому підході тривалість кожної світлофорної фази (зеленої, жовтої, червоної) задається заздалегідь і не змінюється залежно від інтенсивності дорожнього руху.

Переваги:

- простота реалізації та обслуговування;
- відсутність потреби в додаткових сенсорах чи системах збору даних;
- добре підходить для перехресть з постійною, стабільною інтенсивністю руху.

Недоліки:

- неадаптивність до змін у транспортному потоці;

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

- можливе утворення заторів у пікові години;
- неекономне використання часу сигналів (наприклад, зелений світлофор може працювати для порожньої дороги).

Класичні системи керування світлофорами ґрунтуються на використанні фіксованих циклів та часових планів, що реалізуються за допомогою програмованих логічних контролерів (ПЛК) або мікропроцесорних систем керування. У таких системах логіка перемикання сигналів світлофора визначається наперед запрограмованими алгоритмами, які не враховують поточну дорожню ситуацію, а лише час доби чи день тижня.

На рисунку 2.1 зображена структурна схема системи керування дорожнього руху на основі фіксованих циклів.

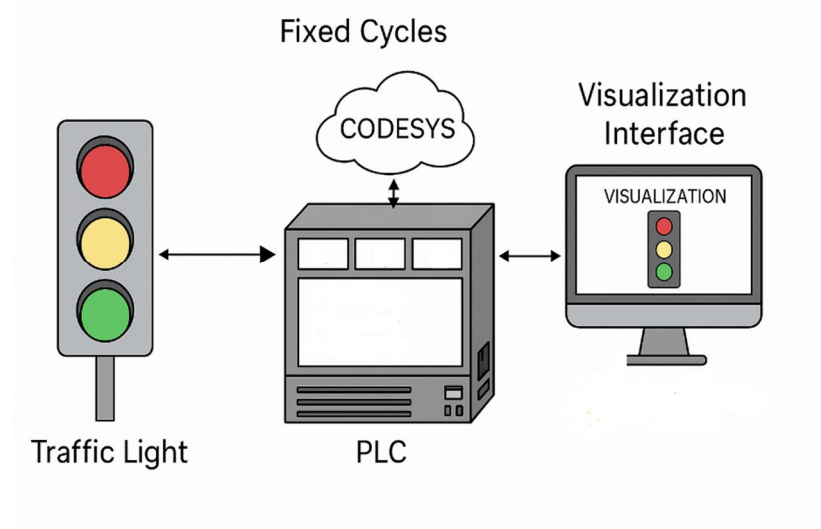


Рисунок 2.1 – Структурна схема системи керування дорожнього руху на основі фіксованих циклів.

Фіксовані цикли — це найпростіший метод: кожна фаза світлофора (червоне, жовте, зелене світло) має заздалегідь встановлену тривалість. Наприклад, цикл може тривати 90 секунд: 40 секунд — зелений, 5 — жовтий, 45 — червоний. Цей цикл повторюється незалежно від фактичної інтенсивності руху на перехресті. Такий підхід використовують на дорогах із прогнозованим і стабільним трафіком.

Часові плани є модернізованим варіантом фіксованого циклу. У цьому випадку передбачено кілька наборів фаз світлофорів для різних періодів доби (ранок, день, вечір, ніч). Наприклад, вранці зелений сигнал у напрямку центру може тривати довше, а ввечері — у зворотному напрямку. Перемикання між планами здійснюється за графіком, однак такі системи все ще не мають зворотного зв'язку з реальною дорожньою ситуацією.

Для реалізації подібних алгоритмів у світлофорних системах часто використовуються ПЛК типу Siemens LOGO!, Schneider Electric Zelio(рисунок 2.2), або спеціалізовані мікропроцесори, вмонтовані в контролери світлофорів — наприклад, ATmega328 або PIC16F877A. Ці пристрої дозволяють створювати логіку перемикань із заданими інтервалами, забезпечуючи надійне функціонування системи в умовах низької варіативності трафіку.



Рисунок 2.2 – ПЛК типу Siemens LOGO!, Schneider Electric Zelio.

Хоча класичні підходи залишаються поширеними завдяки простоті реалізації та надійності, вони мають обмеження: система не може реагувати на зміни в трафіку в реальному часі, що призводить до заторів, втрати часу водіїв та зниження ефективності дорожнього руху[10].

2.2.2 Напівактивні системи керування дорожнім рухом

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Напіваактивні системи є проміжним етапом між фіксованими та повністю адаптивними системами керування світлофорами. Вони поєднують базову логіку фіксованих циклів із можливістю часткової адаптації до поточної дорожньої ситуації. Основною особливістю цих систем є те, що світлофори змінюють свою фазу не за чітко заданим розкладом, а при наявності транспортного засобу на відповідному під'їзді до перехрестя. Це дозволяє уникнути непотрібних зупинок на порожніх дорогах, особливо в малозавантажених напрямках.

Основними засобами виявлення транспорту в таких системах є індукційні петлі, інфрачервоні датчики та відеокамери. Індукційні петлі монтуються безпосередньо в дорожнє покриття та реєструють зміни електромагнітного поля при наїзді автомобіля. Інфрачервоні датчики виявляють тепло, яке випромінює транспортний засіб, дозволяючи системі фіксувати його наближення навіть у темну пору доби. Камери, своєю чергою, забезпечують візуальний контроль і виявлення об'єктів за допомогою алгоритмів комп'ютерного зору.

У напіваактивній системі зазвичай фіксований основний цикл роботи світлофорів, наприклад для головної дороги, однак на вторинних напрямках зелена фаза активується лише тоді, коли зафіксовано транспортний засіб. Це дозволяє краще використовувати ресурси дорожньої мережі в нерівномірних умовах трафіку.

Приклади ПЛК, що використовуються в таких системах:

Siemens SIMATIC S7-1200(рисунок 2.3) – часто застосовується в інфраструктурних проектах завдяки своїй гнучкості, можливості підключення датчиків та камери, а також наявності модулів для обробки сигналів у реальному часі.

Schneider Electric Modicon M221 – компактний ПЛК, який підтримує інтерфейси для зчитування даних із сенсорів та керування виконавчими механізмами, зокрема світлофорами.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		



Рисунок 2.3 – ПЛК типу Siemens SIMATIC.

Напіваактивні системи керування світлофорами є проміжним рішенням між фіксованими циклами та повністю адаптивними технологіями. Вони забезпечують базову адаптацію до змін дорожнього трафіку без потреби у складній технічній інфраструктурі. Основною перевагою таких систем є можливість зменшення затримок для транспортних засобів, особливо на другорядних вулицях, де інтенсивність руху є нестабільною. Завдяки взаємодії з сенсорами руху або пішохідними кнопками, система може вчасно змінювати сигнали світлофора у відповідь на появу транспорту чи пішоходів. Це дозволяє більш гнучко реагувати на реальні потреби руху порівняно з фіксованими схемами.

Окрім цього, напіваактивні системи є відносно простими у впровадженні, тому часто розглядаються як доступний та економічно вигідний варіант модернізації вже існуючих фіксованих систем без необхідності повної перебудови дорожньої інфраструктури.

Водночас такі системи мають низку обмежень. Вони не забезпечують комплексного управління транспортними потоками на великих перехрестях або в межах транспортних вузлів із високою інтенсивністю руху. Напіваактивні системи не враховують ситуацію на суміжних ділянках мережі, що може призводити до порушення загальної логіки руху в місті. У великих мегаполісах зі складною транспортною динамікою такі рішення можуть бути недостатньо

ефективними й вимагати переходу до повноцінних адаптивних або інтелектуальних систем.

У цілому, напівактивні системи розглядаються як логічний і доступний етап у розвитку автоматизованого регулювання дорожнього руху. Вони дозволяють підвищити ефективність роботи світлофорів у порівняно простих умовах і водночас слугують базою для подальшого впровадження адаптивних технологій[11][12].

2.2.3 Адаптивні системи керування дорожнім рухом

Адаптивні або інтелектуальні системи керування дорожнім рухом використовують дані в реальному часі для динамічного визначення тривалості світлофорних фаз. Вони застосовують складні алгоритми, машинне навчання та прогнозування для оптимізації руху на основі поточного стану дороги.

Адаптивні алгоритми управління трафіком базуються на принципі динамічного реагування на поточну дорожню ситуацію. На відміну від класичних фіксованих схем, ці системи безперервно збирають і обробляють дані про інтенсивність транспортного потоку, черги на під'їздах до перехресть, присутність пішоходів та інші параметри. Це дозволяє оперативно змінювати тривалість фаз світлофорів, зменшуючи затори та покращуючи загальну ефективність руху.

Основна робота таких систем починається зі збору даних від сенсорів. Найчастіше використовуються індуктивні петлі, встановлені в дорожньому полотні, а також інфрачервоні, ультразвукові датчики, відеокамери з вбудованою аналітикою, радарні пристрої та навіть GPS-дані від громадського транспорту. Ці пристрої фіксують параметри руху, кількість автомобілів, швидкість, час простою тощо.

Зібрана інформація надходить до програмованого логічного контролера (ПЛК) або мікропроцесорного пристрою, який аналізує її у режимі реального часу. Контролер визначає, які фази світлофора мають бути активними, на який час продовжити або скоротити зелений сигнал, як синхронізувати сигнали на

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		32

сусідніх перехрестях, чи потрібно надати пріоритет громадському транспорту або пішоходам.

Для реалізації таких алгоритмів використовуються потужні та гнучкі контролери. Серед поширених ПЛК можна виділити Siemens S7-1200/S7-1500 (рисунок 2.4), Beckhoff серії CX, WAGO 750, які підтримують обмін даними через промислові протоколи, здатні керувати різними типами входів і виходів та адаптуватися під конкретну інфраструктуру. У більш компактних або бюджетних рішеннях застосовують мікроконтролери STM32, Arduino або Raspberry Pi, які чудово підходять для обробки сигналів від сенсорів або реалізації простих логік реагування. Для більш складних задач, таких як обробка відео або використання штучного інтелекту, застосовують мінікомп'ютери на зразок NVIDIA Jetson.



Рисунок 2.4 – ПЛК який використовується в адаптивних системах Siemens S7-1200.

Перевагами адаптивного керування є значне скорочення часу очікування на перехрестях, ефективніше використання дорожньої інфраструктури, зменшення викидів CO₂ та покращення пропускної здатності у пікові години. Однак слід зазначити, що такі системи мають і недоліки: високу вартість впровадження, необхідність наявності надійної мережі передачі даних, а також складність налаштування і технічного обслуговування.

На рисунку 2.5 показана розроблена Структурна схема адаптивної системи керування дорожнього руху.

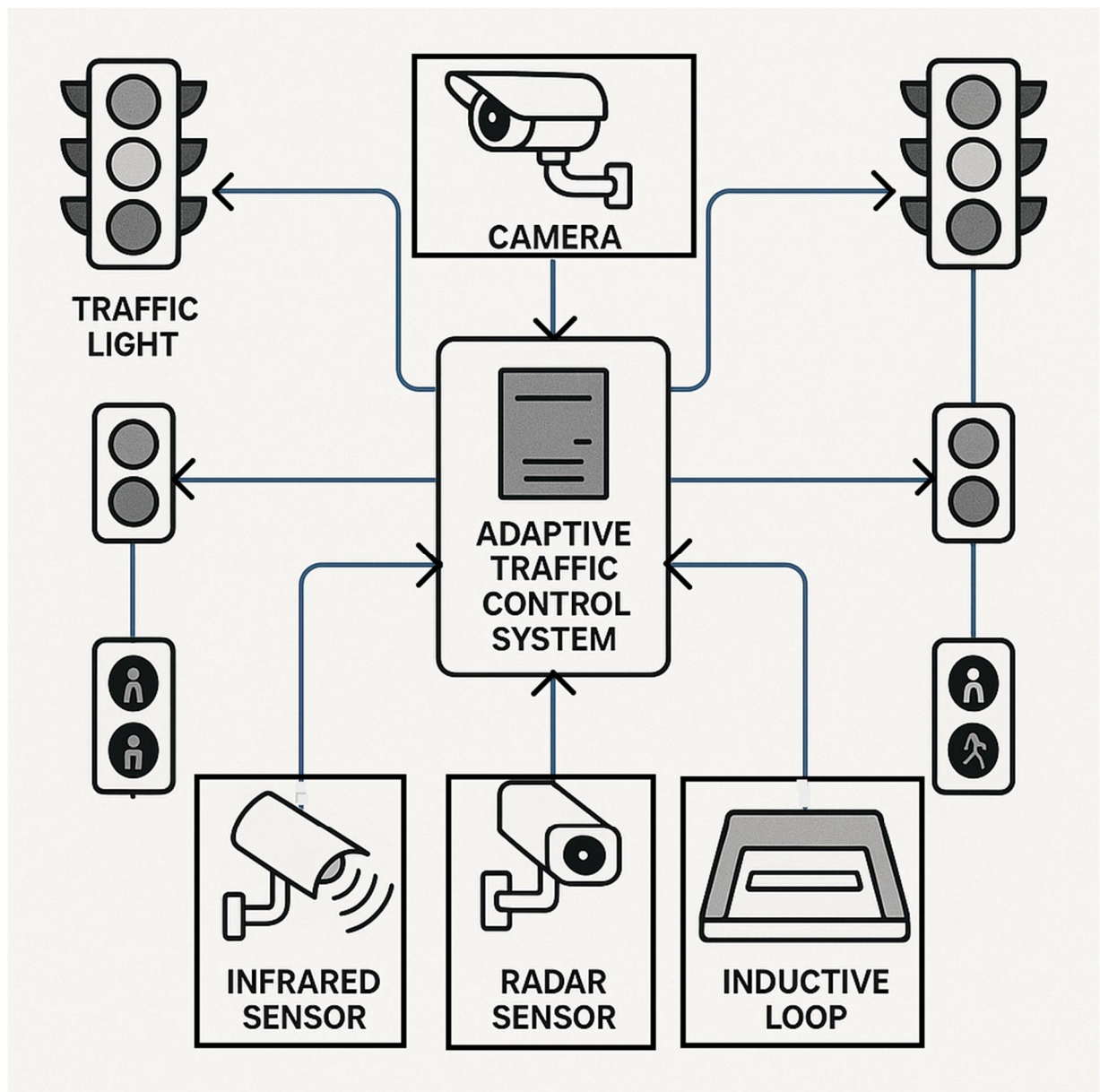


Рисунок 2.5 – Структурна схема адаптивної системи керування дорожнього руху.

Адаптивна система керування дорожнім рухом, зображена на схемі 2.1, ілюструє принцип роботи сучасної інтелектуальної транспортної інфраструктури. У центрі системи перебуває контролер, який у режимі реального

часу регулює фази роботи світлофорів на основі даних, отриманих із численних сенсорів і пристроїв моніторингу.

На перехрестях встановлено кілька стандартних трисекційних світлофорів для транспорту, які змінюють свої сигнали відповідно до інтенсивності руху. Для забезпечення безпеки пішоходів передбачені двосекційні пішохідні світлофори, які синхронізуються з основними світлофорами.

Збір інформації про дорожню ситуацію здійснюється за допомогою індукційних петель, вмонтованих у дорожнє покриття. Вони фіксують наявність та кількість транспортних засобів на під'їздах до перехресть. Окрім цього, система використовує інфрачервоні та ультразвукові датчики для визначення швидкості та напрямку руху автомобілів.

Камери відеоспостереження встановлені над дорогами для візуального контролю ситуації, виявлення заторів, порушень чи аварійних подій. Усі ці елементи передають інформацію до центрального контролера, який аналізує отримані дані та приймає рішення щодо оптимальної тривалості фаз світлофорів.

Інформаційний обмін між елементами системи відбувається через інтерфейси зв'язку, які можуть бути реалізовані на базі бездротових технологій або волоконно-оптичних ліній. Завдяки цьому система працює синхронізовано та реагує на зміну умов на дорозі практично миттєво.

Таким чином, адаптивна система дозволяє знизити час очікування на перехрестях, підвищити середню швидкість руху транспорту, зменшити кількість зупинок і стартів, а отже – і викиди CO₂ в атмосферу. Такий підхід сприяє більш комфортному, ефективному та екологічно безпечному управлінню міським трафіком[13][14].

У таблиці 2.1 проведено аналіз різних систем керування дорожнім рухом.

Таблиця 2.1 – Аналіз різних систем керування дорожнім рухом.

Ознака	Фіксовані цикли	Напіваактивні	Адаптивні
Тип керування	Графік	Реакція на присутність авто	Реальний аналіз трафіку
Гнучкість	Низька	Середня	Висока

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

Вартість	Низька	Помірна	Висока
Реакція на зміну трафіку	Відсутня	Обмежена	Динамічна
Придатність для великих міст	✗	Частково	✓
Приклад використання	Невеликі міста, спальні райони	Другорядні дороги, розв'язки	Центр міста, великі перехрестя

2.3 Алгоритми систем керування дорожнім рухом

У сучасних умовах інтенсивного дорожнього руху традиційні методи регулювання світлофорів часто виявляються неефективними, особливо у великих містах. Для забезпечення динамічного управління транспортними потоками були розроблені спеціалізовані алгоритми, здатні адаптуватися до змін у режимі реального часу. Такі системи враховують актуальні дані про трафік, дозволяючи оптимізувати тривалість сигналів світлофора залежно від поточного навантаження. Вони не лише зменшують затори, а й сприяють зниженню викидів шкідливих речовин, підвищуючи ефективність дорожньої інфраструктури. У цьому розділі буде розглянуто принцип роботи кількох найпоширеніших адаптивних алгоритмів управління — SCOOT, SCATS та Green Light. Кожен із них має власну архітектуру, особливості реалізації та підходи до збору і обробки даних. Розуміння цих алгоритмів дозволяє оцінити їх переваги й недоліки при впровадженні в різних міських умовах.

SCOOT (Split Cycle and Offset Optimization Technique)

Принцип роботи SCOOT базується на постійному моніторингу транспортного потоку та адаптивному налаштуванні світлофорних циклів для оптимізації часу проходження автомобілів через перехрестя. Основні етапи роботи системи SCOOT включають:

Збір даних. SCOOT використовує датчики, розташовані на перехрестях, для збору даних про транспортний потік. Це можуть бути індукційні петлі,

відеокамери або інші типи сенсорів, які фіксують кількість автомобілів, їх швидкість і час прибуття до світлофорів.

Розрахунок фази світлофора. Після збору даних система оцінює інтенсивність трафіку на кожному перехресті і відповідно налаштовує тривалість фази кожного світлофора. Наприклад, якщо на одному напрямку зібралось більше транспорту, фаза світлофора для цього напрямку буде подовжена.

Оптимізація циклів. SCOOT оптимізує не тільки тривалість світлових фаз, але й зміщення фаз між сусідніми світлофорами. Це дозволяє зменшити кількість зупинок транспортних засобів і створити плавний рух у вигляді «зеленої хвилі». Зміщення фаз дозволяє транспорту проходити кілька світлофорів без зупинок, що значно зменшує затори.

Адаптивність. SCOOT постійно аналізує змінювану ситуацію на дорозі, і система може в реальному часі коригувати цикл світлофора в залежності від зміни потоку транспортних засобів. Якщо, наприклад, на одному напрямку з'являється більше автомобілів, система автоматично подовжить зелену фазу, щоб дозволити їм проїхати без зупинок.

Зворотний зв'язок. Система також забезпечує зворотний зв'язок, адаптуючи свої стратегії управління залежно від довгострокових даних, таких як середньодобовий трафік або сезонні зміни в інтенсивності руху.

Переваги SCOOT:

- Забезпечує більш ефективний потік транспорту завдяки оптимізації світлофорних циклів.
- Плавне регулювання світлофорів під час змін у трафіку.
- Можливість застосування в реальному часі для великих міських агломерацій.

SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System)

Принцип роботи SCATS є ще одним прикладом адаптивної системи керування трафіком, яка фокусується на оптимізації роботи світлофорів за допомогою збору даних та їх аналізу в реальному часі. SCATS була розроблена

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

в Сіднеї, Австралія, і з того часу стала однією з найпоширеніших адаптивних систем у світі. Основні елементи її роботи включають:

- динамічне регулювання світлофорних фаз. SCATS здійснює динамічне регулювання фаз світлофора, використовуючи дані з індукційних петель або інших сенсорів, розташованих на перехрестях. Система в реальному часі вимірює потік транспорту на кожному напрямку і налаштовує тривалість зеленого, жовтого та червоного сигналів відповідно до виявленого трафіку;

- аналіз та адаптація за допомогою централізованої платформи. На відміну від деяких інших систем, SCATS зазвичай використовує централізовану платформу, яка збирає дані з усіх світлофорів на певному ділянці міста або району. Це дозволяє здійснювати оптимізацію не лише на рівні окремого перехрестя, а й на більш широкому рівні, враховуючи глобальні потоки трафіку і адаптуючи світлофори до загального стану на дорогах;

- координація між перехрестями. SCATS оптимізує не тільки окремі світлофори, але й їх взаємодію між собою. Система координує зміни світлофорних фаз таким чином, щоб створити плавний рух транспорту через кілька перехресть без необхідності зупинок. Це особливо ефективно на основних транспортних коридорах;

- гнучкість і масштабованість. SCATS може бути налаштована для різних типів міських середовищ, від великих мегаполісів до менших міст. Система здатна адаптуватися до різних умов трафіку, враховуючи час доби, сезонні зміни і специфічні особливості дорожнього руху в різних частинах міста;

- модульність. SCATS має модульну архітектуру, що дозволяє її інтеграцію з іншими транспортними системами, такими як моніторинг паркування, контроль пішоходів та управління трафіком на основі погодних умов або подій на дорозі.

Переваги SCATS:

- забезпечує високий рівень координації між світлофорами, що сприяє створенню «зеленої хвилі»;
- висока адаптивність до змін у потоці трафіку та різних умовах на дорозі;

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		38

- централізоване управління дозволяє здійснювати моніторинг і оптимізацію трафіку на великій території.

Хоча обидві системи використовують подібні принципи адаптивного регулювання світлофорів, основні відмінності між ними полягають у підходах до збору і обробки даних. SCOOT орієнтований на оптимізацію окремих світлофорів з акцентом на зміщення фаз і адаптацію до локальних змін трафіку. SCATS, у свою чергу, має централізовану платформу, що дозволяє координувати роботу світлофорів на більш широкому рівні та забезпечує гнучкість і масштабованість для різних міст [13-15].

Метод "зеленої хвилі" (англ. *green wave*) — це координований метод керування світлофорами, при якому сигнали узгоджуються таким чином, щоб транспортні засоби, які рухаються з певною швидкістю, могли проїжджати серію перехресть без зупинок на червоне світло. "Зелена хвиля" реалізується шляхом синхронізації світлофорів на певній вулиці або маршруті. Коли автомобіль потрапляє в цю хвилю, він, рухаючись зі сталою рекомендованою швидкістю (наприклад, 50 км/год), проїжджає низку перехресть на зелений сигнал. Якщо він їде повільніше або швидше — "вилітає" з хвилі та зупиняється на червоне. Система «зеленої хвилі» — це спеціально налаштована координація роботи світлофорів, що дозволяє транспортним засобам рухатися через кілька перехресть без зупинок, якщо вони дотримуються певної швидкості. Такий підхід має низку важливих переваг, однак також супроводжується деякими обмеженнями.

Однією з головних переваг є зменшення заторів. Оскільки автомобілі не змушені зупинятися на кожному світлофорі, пропускна здатність дороги суттєво підвищується. Це особливо помітно в умовах щільного міського трафіку, де кожна затримка впливає на загальну швидкість руху.

Другою важливою перевагою є зниження витрат пального. Часті зупинки та наступні розгони призводять до зайвого споживання пального. Коли ж рух

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

відбувається плавно, витрати зменшуються, що також позитивно впливає на екологію завдяки нижчим викидам CO₂.

Плавність руху — ще один позитивний аспект. Водії не дратуються через часті червоні сигнали, а пересування стає рівномірним і передбачуваним. Це сприяє підвищенню безпеки на дорогах і зниженню рівня стресу для учасників руху.

До технічних переваг належить і менше зношення гальмівної системи та зчеплення. Через зменшення кількості гальмувань автомобільні механізми працюють в щадному режимі, що продовжує термін їх служби.

Крім того, рівномірний рух сприяє зниженню рівня шумового забруднення. Часті старты та зупинки, які зазвичай супроводжуються підвищеним рівнем шуму, значно скорочуються, що є важливим для комфортного життя у міських районах.

Незважаючи на всі переваги, впровадження зеленої хвилі має і свої обмеження. Насамперед — потребу в точній координації. Для досягнення бажаного ефекту необхідно синхронізувати велику кількість світлофорів. Це складне завдання, особливо в умовах змінного трафіку, аварій або дорожніх робіт.

Іншим суттєвим недоліком є те, що зелена хвиля не працює одночасно в обох напрямках. Зазвичай пріоритет віддається одному з напрямків, а у зворотному русі умови стають менш зручними, що може викликати дисбаланс у транспортних потоках.

Також ускладнення виникають при нерівномірному розподілі трафіку на перехрестях. Наприклад, якщо одна з вулиць має значно більшу інтенсивність руху, зелена хвиля на іншій вулиці може призвести до заторів і затримок.

Крім того, система не завжди враховує інтереси пішоходів та громадського транспорту. Відсутність адаптивних механізмів може знизити рівень безпеки пішоходів або створити незручності для трамваїв та автобусів.

Останнім, але не менш важливим недоліком є залежність від поведінки водіїв. Якщо водії не дотримуються рекомендованої швидкості для проходження

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

зеленої хвилі, ефект синхронізованого руху зникає, що зводить нанівець всі переваги системи.

Найефективніше зелена хвиля працює на магістральних дорогах із довгими прямими ділянками, де можна забезпечити стабільну швидкість руху. Також вона широко застосовується у центральних частинах міст на вулицях з одностороннім рухом, де легше реалізувати синхронізацію. У деяких містах навіть впроваджено окрему зелену хвилю для велосипедистів, яка розрахована на швидкість приблизно 15–20 км/год, що дозволяє забезпечити безпечний та зручний проїзд для двоколісного транспорту.

Сьогодні деякі адаптивні системи здатні самостійно формувати так звані «зелені хвилі» в реальному часі, аналізуючи поточний стан трафіку. Одним із найяскравіших прикладів сучасного підходу є програма «Green Light», розроблена компанією Google. Метою цієї програми є оптимізація часу перемикання світлофорів із використанням алгоритмів штучного інтелекту (AI), які обробляють реальні дані про дорожній рух.

Система працює на основі інформації з Google Maps, що надходить від смартфонів водіїв, які перебувають у русі. Завдяки цьому не потрібно встановлювати додаткові камери або сенсори. Алгоритми в реальному часі аналізують потоки транспорту, моделюють найбільш ефективні режими роботи світлофорів і розраховують оптимальні часові інтервали перемикання світлофорних фаз. Таким чином створюються динамічні «зелені хвилі», які зменшують кількість зупинок на перехрестях. Зібрані дані відображаються на інтерактивній онлайн-панелі, що дає змогу міським інженерам швидко змінювати налаштування світлофорів відповідно до рекомендацій системи.

Проект уже реалізовано у Сіетлі та ще в 12 інших містах по всьому світу. Згідно з даними компанії Google, впровадження системи дозволило скоротити до 30% кількості зупинок на світлофорах та зменшити до 10% викидів CO₂ у районах із високою інтенсивністю руху.

Такий підхід до організації дорожнього руху має низку суттєвих переваг, які роблять його привабливим для сучасних міст. Насамперед варто відзначити

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

масштабованість — систему можна впроваджувати поступово в різних населених пунктах без потреби у великих інвестиціях у дорожню інфраструктуру. Це особливо важливо для міст із обмеженим бюджетом, які все ж прагнуть підвищити ефективність транспортних потоків.

Ще одна важлива характеристика — гнучкість. Така система здатна адаптуватися до реального стану руху в місті, оперативно реагуючи на зміни трафіку, аварійні ситуації чи несподівані навантаження. Завдяки цьому забезпечується кращий контроль за дорожнім середовищем у режимі реального часу.

Крім того, цей підхід є екологічно доцільним, оскільки зменшує кількість зупинок і повторних розгонів транспорту. Це безпосередньо впливає на зниження споживання пального, а отже, і на скорочення викидів шкідливих речовин у атмосферу.

Проте існують і певні недоліки, які варто враховувати при впровадженні. По-перше, ефективність системи значною мірою залежить від наявності смартфонів із GPS у достатньої кількості користувачів. Без цього неможливо зібрати необхідні дані про рух транспорту для аналітики та управління.

По-друге, для повноцінного функціонування такої системи потрібна тісна співпраця між технічними службами міста та розробниками програмного забезпечення. Це вимагає високого рівня координації, відповідальності та технічної компетентності з обох сторін.

Ще одне важливе питання — конфіденційність. Збір та обробка даних про переміщення користувачів викликає занепокоєння щодо захисту персональної інформації. Тому при впровадженні таких рішень необхідно забезпечити чітке дотримання правил щодо збереження приватності[16].

Таблиця 2.1 – Порівняння алгоритмів: SCOOT, SCATS, Green Light

Характеристика	SCOOT	SCATS	Green Light
----------------	-------	-------	-------------

Принцип роботи	Адаптація фаз світлофорів за потоком транспорту.	Центральне управління на кількох перехрестях.	Оптимізація через дані з GPS та Google Maps.
Тип даних	Сенсори (петлі, камери).	Сенсори та централізовані дані.	Дані з смартфонів водіїв.
Адаптивність	Висока, реальний час.	Адаптація на основі даних з кількох перехресть.	Висока, аналіз трафіку в реальному часі.
Масштабованість	Легка інтеграція в міста.	Масштабована для великих територій.	Масштабована без великої інфраструктури.
Гнучкість	Висока, адаптація до змін.	Висока, коригування в реальному часі.	Висока, адаптується на основі даних.
Екологічність	Знижує викиди CO ₂ .	Знижує викиди CO ₂ .	Зменшує зупинки та викиди CO

2.4. Розробка загальної методики проектних робіт

У межах виконання даної роботи було розроблено загальну методику проектування системи керування дорожнім рухом із урахуванням сучасних технологічних підходів. На початковому етапі я провів аналіз основних типів світлофорів, які використовуються в міському середовищі, зокрема світлофори з фіксованими циклами, напіваактивні систему та адаптивні системи керування

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

дорожнім рухом, що здатні змінювати режими роботи залежно від інтенсивності руху.

Також в межах даної роботи було створено структурну схему адаптивної системи керування дорожнім рухом. Така система має здатність змінювати режими роботи світлофорів на основі даних, що надходять у реальному часі від сенсорів або інших джерел інформації про трафік. В основі адаптивної структури лежить модуль збору даних, який фіксує інтенсивність потоку транспорту, а також аналізує затримки, черги та середню швидкість руху. Ці дані надходять до центрального обчислювального модуля, де за допомогою певного алгоритму (наприклад, SCATS або Green Light) обирається оптимальна тривалість кожної фази світлофора.

У схемі також передбачено зворотний зв'язок — результат застосованого режиму керування знову надходить у систему аналізу, що дозволяє здійснювати постійне самоналаштування алгоритмів. Такий підхід забезпечує гнучкість, ефективне реагування на змінні дорожні умови та загальне підвищення пропускної здатності дорожніх перехресть. Представлена схема адаптивної системи може стати основою для подальшої розробки програмного забезпечення та впровадження на реальних перехрестях.

Наступним кроком стало програмування програмованого логічного контролера (ПЛК) для реалізації фіксованих циклів перемикання сигналів світлофора. Для цього було обрано середовище CODESYS, яке забезпечує зручні засоби для програмування за допомогою мови LD (Ladder Diagram), що імітує електричні реле та логіку керування.

Після створення логіки фіксованого циклу, я реалізував візуалізацію процесу в середовищі CODESYS, що дозволило протестувати функціональність керування світлофором у реальному часі. У результаті тестування було підтверджено правильність алгоритму перемикання фаз, а також коректність взаємодії між компонентами системи.

Таким чином, розроблена методика охоплює:

- аналіз типів світлофорів і вибір відповідної моделі;

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		44

- створення структурної схеми системи керування дорожнім рухом;
- програмування світлофора який працює на основі фіксованих циклів;
- тестування алгоритму за допомогою вбудованої візуалізації.

Ця методика може бути використана як основа для подальшої роботи та модернізації систем керування дорожнім рухом, включно з додаванням сенсорів і переходом до напівактивних або адаптивних систем.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

3. РОЗРОБКА ТА МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ РЕГУЛЮВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ

3.1 Програмування ПЛК для світлофора, який працює на основі фіксованих циклів

На рисунку 3.1 представлено інтерфейс середовища розробки CODESYS, яке використовується для програмування програмованих логічних контролерів (ПЛК). Це середовище підтримує стандарт IEC 61131-3 та дозволяє використовувати кілька мов програмування, зокрема Ladder Diagram (LD), який широко застосовується для задач керування, таких як реалізація світлофорних систем.

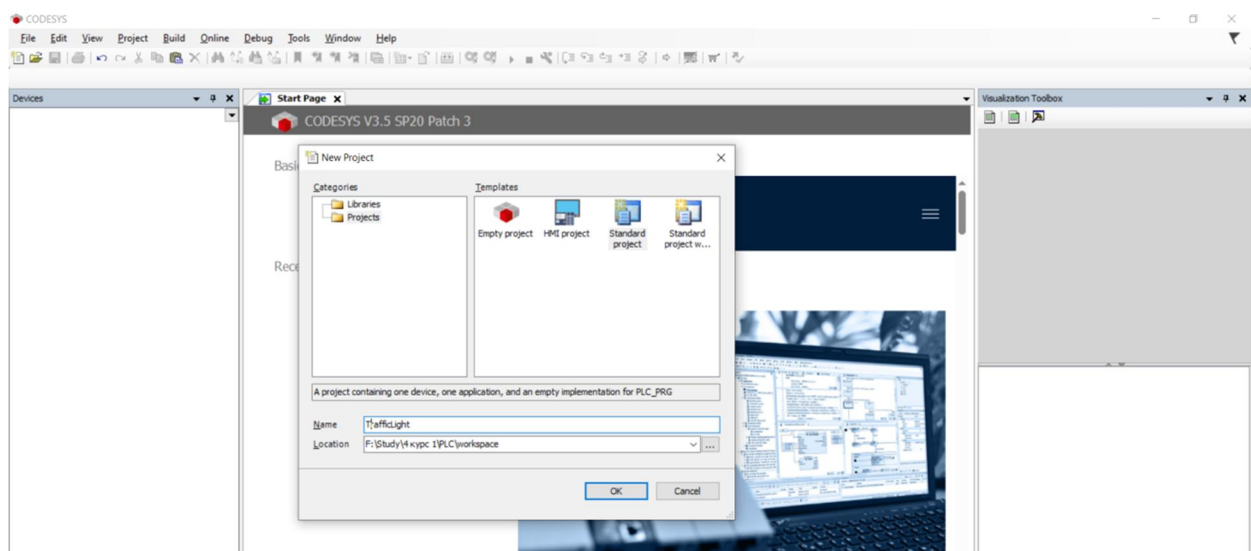


Рисунок 3.1 – Початок роботи у codesys.

Для початку роботи виконується створення нового проекту:

- у головному меню обирається "File" → "New Project";
- у вікні, що з'являється, задається назва проекту "TrafficLight";
- вибирається тип контролера (рисунок 3.2), наприклад CODESYS Control Win.

V3 — віртуальний ПЛК, який дозволяє тестувати проєкт без фізичного обладнання. У нашому випадку це не так важливо оскільки ми будемо використовувати візуалізацію.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Обирається мова програмування — LD (Ladder Diagram), яка найкраще підходить для візуального подання логіки перемикання світлофорів.

Таким чином створюється робоче середовище, в якому можна розробити алгоритм керування світлофорними сигналами, використовуючи графічні елементи (контакти, котушки, таймери тощо), які імітують електричні схеми.

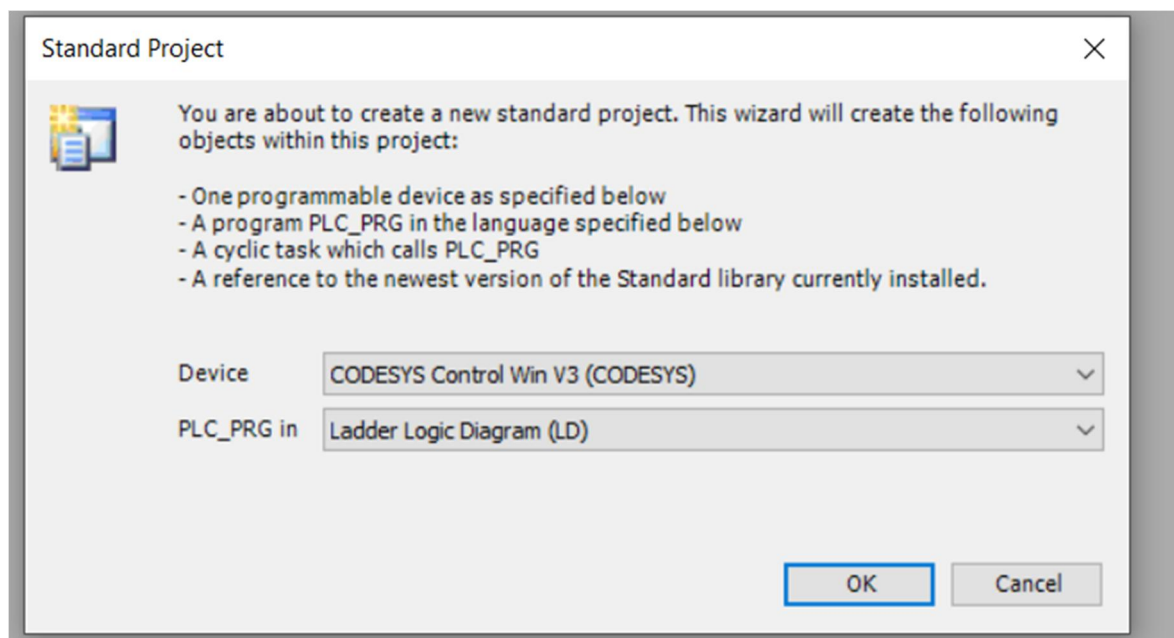


Рисунок 3.2 – Налаштування проекту.

Оголошення змінних для керування світлофором у середовищі CODESYS

На рисунку 3.3 показано середовище CODESYS після створення нового проекту, на етапі програмування основної логіки у вікні PLC_PRG. У цьому вікні здійснюється оголошення змінних, необхідних для реалізації роботи світлофорної системи.

У структурі проекту використано наступні основні елементи:

- PLC Logic → PLC_PRG (PRG) — головна програма, де пишеться логіка.
- MainTask — головне завдання, що періодично викликає програму.
- Visualization Manager — модуль, який дозволяє створити графічну візуалізацію процесу.

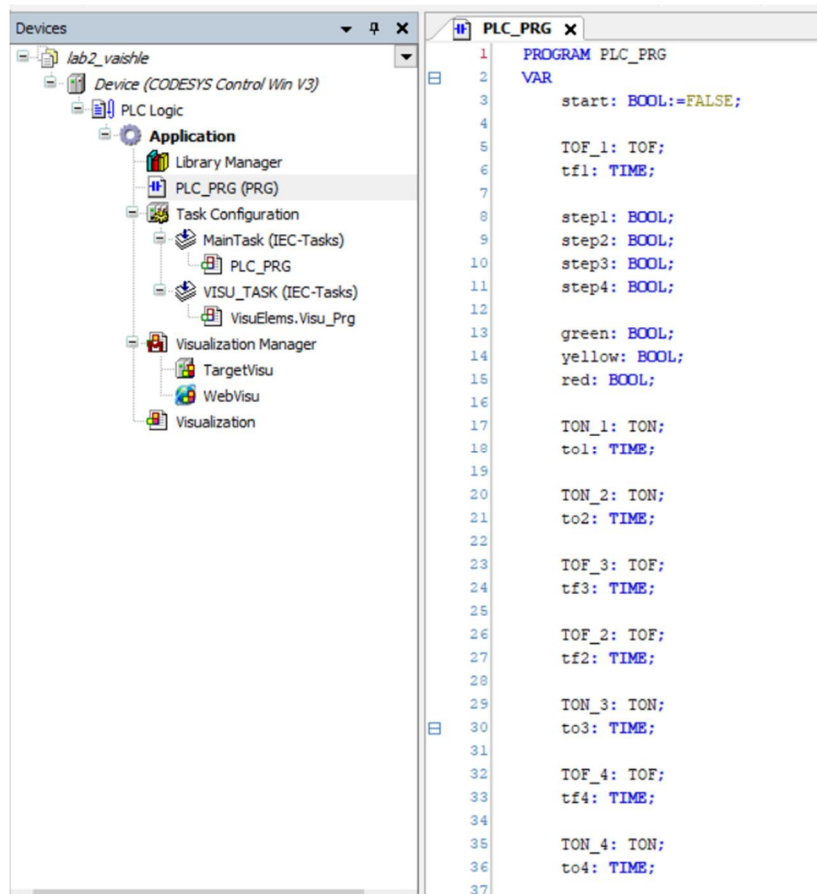


Рисунок 3.3 – Оголошення змінних для світлофора з фіксованими змінними.

У правій частині рисунку показаний фрагмент коду(додаток А), що містить оголошення змінних:

Логічні змінні (типу BOOL)

- start — змінна для запуску програми (ініціалізована як FALSE).
- step1 ... step4 — змінні для реалізації поетапного алгоритму перемикавання світлофора.
- green, yellow, red — логічні змінні, що відповідають за стан світлофорів (зелений, жовтий, червоний).

Таймери

- TON_x, TOF_x — таймери типу TON (on-delay) і TOF (off-delay), які відповідають за затримку увімкнення або вимкнення певного етапу.
- tfx, tox — змінні типу TIME, які задають тривалість відповідної затримки.

Ці змінні використовуються для створення часової логіки світлофора. Зокрема, кожна фаза (наприклад, зелений сигнал) буде активною протягом

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

певного часу, після чого автоматично перемикатиметься на наступну фазу (жовтий, потім червоний).

Завдяки таймерам програміст має можливість реалізувати послідовну логіку перемикання світлофора, імітуючи поведінку реальної транспортної системи.

На рисунку 3.4 представлена реалізація логіки роботи світлофора у вигляді релейно-контактної схеми (Ladder Diagram) у середовищі CODESYS. Програма побудована на основі поетапного алгоритму з використанням таймерів TON (затримка на ввімкнення) та TOF (затримка на вимкнення), які забезпечують керування трьома сигналами світлофора: зеленим, жовтим і червоним.

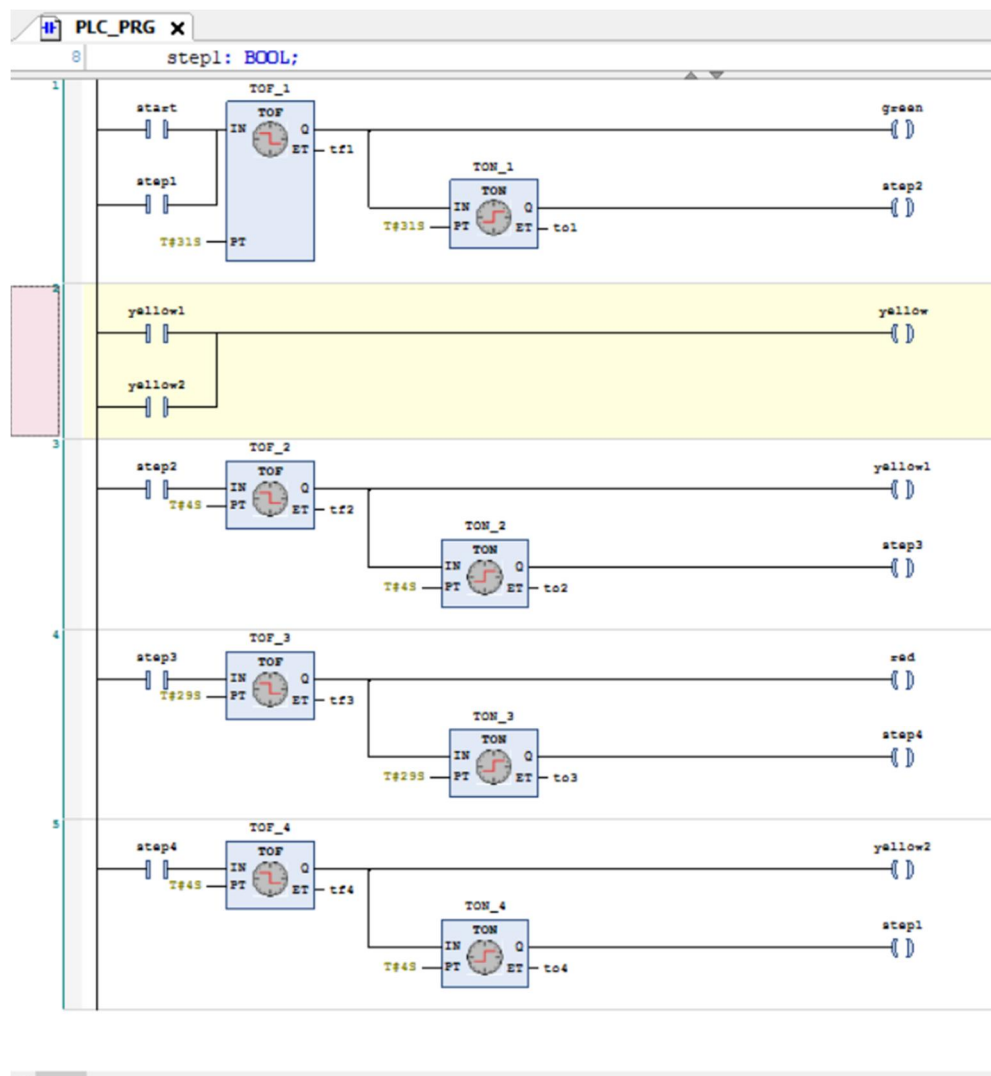


Рисунок 3.4 – Логіка роботи світлофора з фіксованими циклами.

Алгоритм роботи світлофора реалізується у вигляді послідовних етапів, кожен з яких відповідає певному кольору світлового сигналу. Програма запускається за допомогою сигналу start, після чого активується змінна step1, яка ініціює перший етап — увімкнення зеленого сигналу. У цьому етапі спочатку активується таймер TOF_1 (затримка на вимкнення) з заданим параметром часу tf1. Після завершення роботи TOF_1 запускається таймер TON_1 (затримка на увімкнення) з параметром to1, по завершенню якого активується сигнал green, що відповідає за включення зеленого світла. Коли таймер TON_1 завершує роботу, система переходить до наступного етапу — step2.

У другому етапі, який відповідає увімкненню першого жовтого сигналу, активується таймер TOF_2 з часом tf2. Після завершення його роботи запускається таймер TON_2 з параметром to2, після чого активується змінна yellow1, що включає перший жовтий сигнал світлофора. Завершення цього етапу супроводжується переходом до змінної step3.

На третьому етапі, який відповідає увімкненню червоного сигналу, активується змінна step3, яка ініціює роботу таймерів TOF_3 та TON_3. Після завершення їхньої роботи активується змінна red, що вмикає червоне світло. Далі система переходить до етапу step4.

Четвертий етап реалізує увімкнення другого жовтого сигналу. Як і в попередніх кроках, активуються таймери TOF_4 та TON_4, які керують змінною yellow2. Завершення цього етапу означає повернення до step1, після чого вся послідовність повторюється по циклу. Таким чином, система забезпечує поетапне автоматизоване керування світлофором у межах фіксованого циклу. green, yellow, red — логічні змінні, які виводяться на візуалізацію або фізичні виходи ПЛК для керування світлодіодами або світлофорами.

Таким чином, побудована схема дозволяє реалізувати повноцінний цикл роботи світлофора: зелений → жовтий → червоний → жовтий → зелений. Кожна фаза керується власною парою таймерів, що забезпечує точне дотримання часових інтервалів і циклічну роботу системи.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		50

3.2 Тестування програми у середовищі codesys

На рисунку 3.5 показано візуалізацію даної програми. У візуалізацію програми додано кнопку Start, яка розпочинає роботу світлофора та 6 ламп(3 для першого світлофора та 3 для другого світлофора). Лампи відображають сигнали світлофора червоний, жовтий та зелений відповідно.

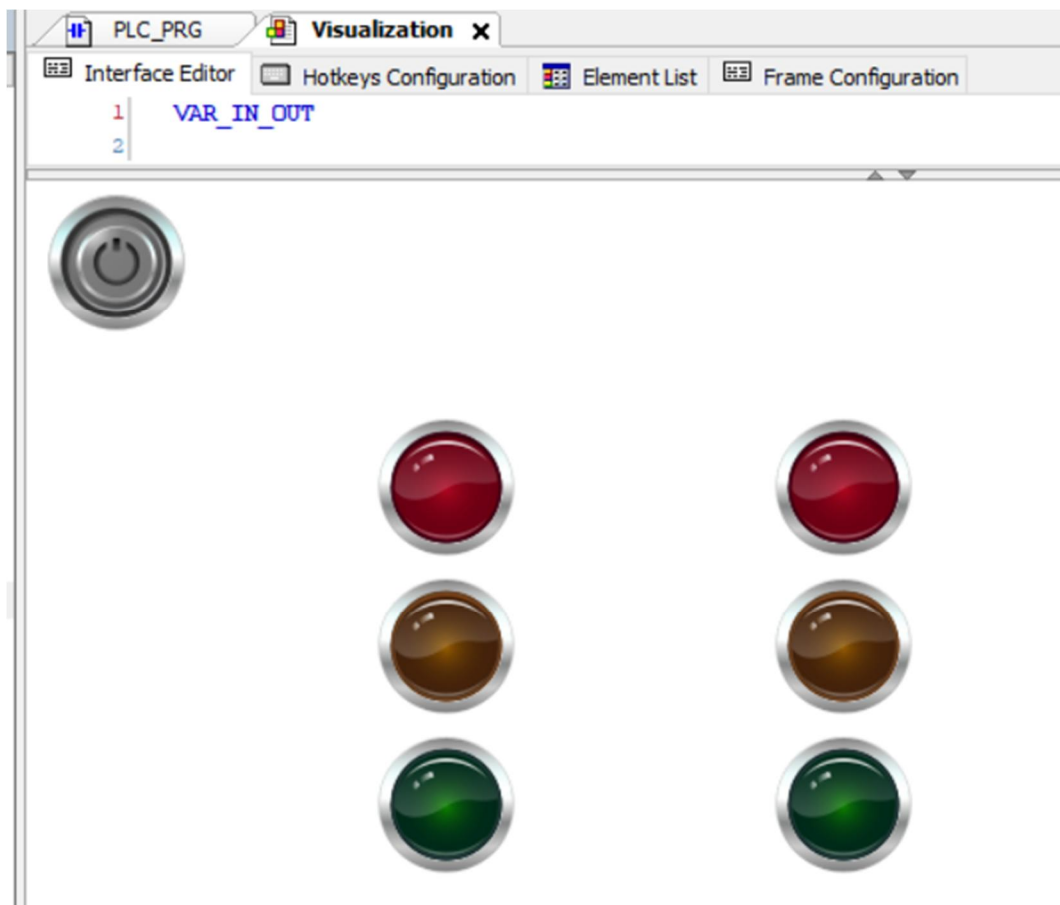


Рисунок 3.5 – Створення візуалізації у CODESYS.

Після вмикання кнопки старт два світлофори починають свою роботу(рисунок 3.6). На першому світлофорі загоряється зелений сигнал, тобто рух в одну сторону дозволено. В той же час на другому світлофорі горить червоний сигнал, рух заборонено.

На першому етапі роботи програми (рисунок 3.6) ініціюється запуск світлофорної системи. Це відбувається після активації логічної змінної start, яка виконує роль кнопки запуску. Як тільки програма отримує сигнал про запуск, починається виконання логіки перемикавання сигналів.

Першим кроком є встановлення логічного стану змінної step1 у TRUE. Ця змінна відповідає за початкову фазу алгоритму — включення зеленого сигналу світлофора. У рамках цього етапу активується таймер TOF_1, який є таймером затримки на вимкнення. Йому задається параметр часу tf1, який визначає, скільки часу система чекатиме перед вимкненням попередньої фази (якщо така була) або перед переходом до нового стану.

Після завершення відліку часу таймера TOF_1 програма переходить до наступного кроку — активується таймер TON_1. Цей таймер належить до типу затримки на увімкнення (on-delay) і працює за заданим параметром часу to1. Це означає, що після запуску TON_1 система чекатиме певний період, перш ніж активувати наступну дію.

Після завершення часу таймера TON_1, відбувається активація логічної змінної green. Ця змінна сигналізує про те, що зелений світлофор увімкнено, і таким чином дозволяється рух транспорту у відповідному напрямку.

Одразу після цього, програма переходить до наступного етапу — step2, де буде реалізовано включення жовтого сигналу світлофора. Таким чином, перший етап завершується, і система починає виконання другої фази циклу.

Другий етап роботи програми (рисунок 3.7) передбачає увімкнення жовтого сигналу світлофора після завершення першої фази. Ось як відбувається цей процес:

На початку другого етапу активується таймер TOF_2, який є таймером затримки на вимкнення. Цей таймер працює за заданим параметром часу tf2, що визначає, скільки часу система чекатиме перед переходом до наступного кроку. Таймер TOF_2 активується після завершення попередньої фази та забезпечує затримку перед увімкненням жовтого сигналу.

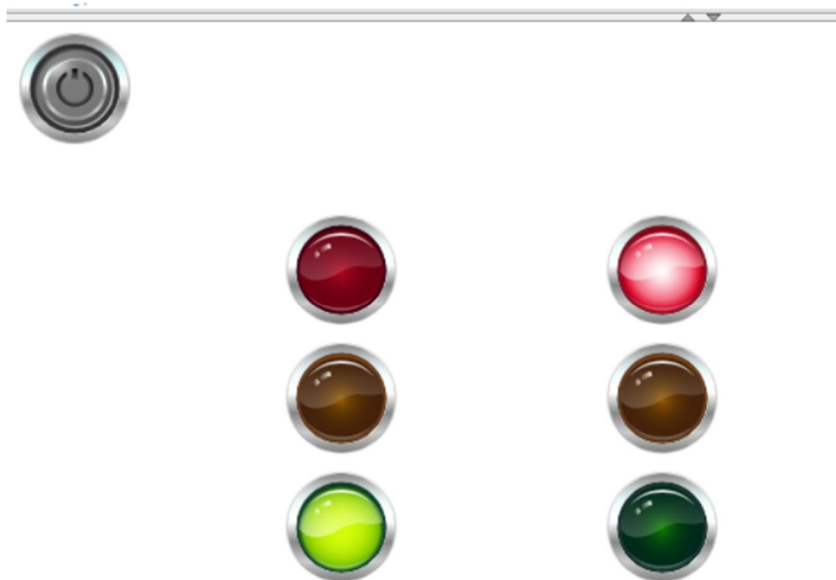


Рисунок 3.6 – Перший етап роботи світлофора з фіксованими циклами.

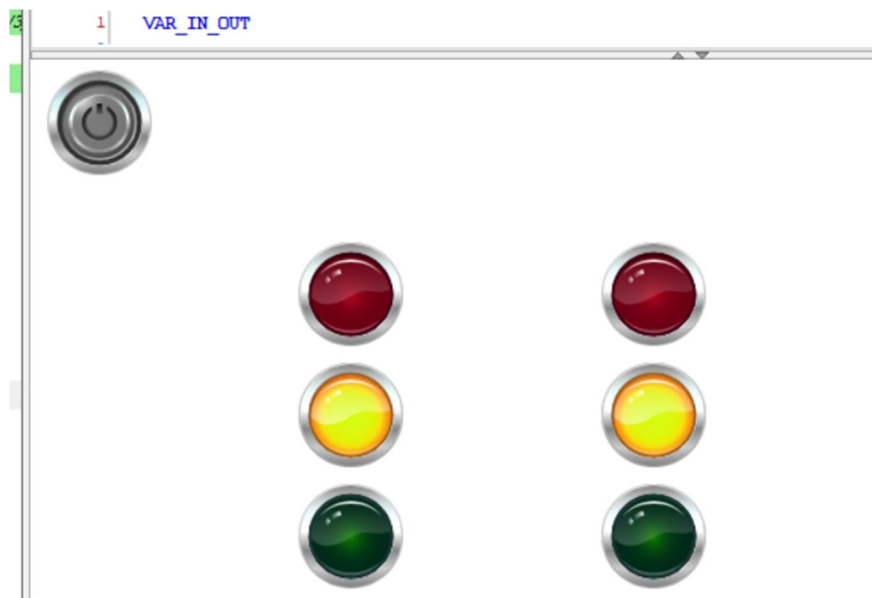


Рисунок 3.7 – Другий етап роботи світлофора з фіксованими циклами.

Після завершення часу затримки таймера TOF_2, програма переходить до наступного кроку: активується таймер TON_2, який є таймером затримки на увімкнення (on-delay). Цей таймер працює за параметром часу to2, який визначає, скільки часу система чекатиме перед увімкненням жовтого сигналу.

Коли таймер TON_2 завершує свій відлік, відбувається активація логічної змінної yellow1, яка сигналізує про те, що жовтий сигнал світлофора увімкнено.

Це дає сигнал для зупинки руху транспорту або для підготовки до переходу до червоного сигналу.

Одразу після активації змінної yellow1, програма переходить до наступного етапу — step3, де буде реалізовано увімкнення червоного сигналу світлофора. Таким чином, другий етап завершується, і система переходить до наступної фази роботи, забезпечуючи плавний перехід від жовтого сигналу до червоного.

На третьому етапі (рисунок 3.8) програма переходить до увімкнення червоного сигналу світлофора. Спочатку активується змінна step3, яка сигналізує про перехід до цього етапу. Після цього запускаються два таймери — TOF_3, що відповідає за затримку на вимкнення, і TON_3, який є таймером затримки на увімкнення. Таймер TOF_3 працює до того часу, поки не завершиться заданий час затримки tf3, після чого запускається таймер TON_3, що чекає певний період to3 перед увімкненням червоного сигналу.

Після того як обидва таймери завершують відлік, активується червоний сигнал red, який зупиняє рух транспорту. Як тільки таймер TON_3 завершує відлік, програма автоматично переходить до наступного етапу, готуючись до наступних дій або до початку нового циклу роботи системи.

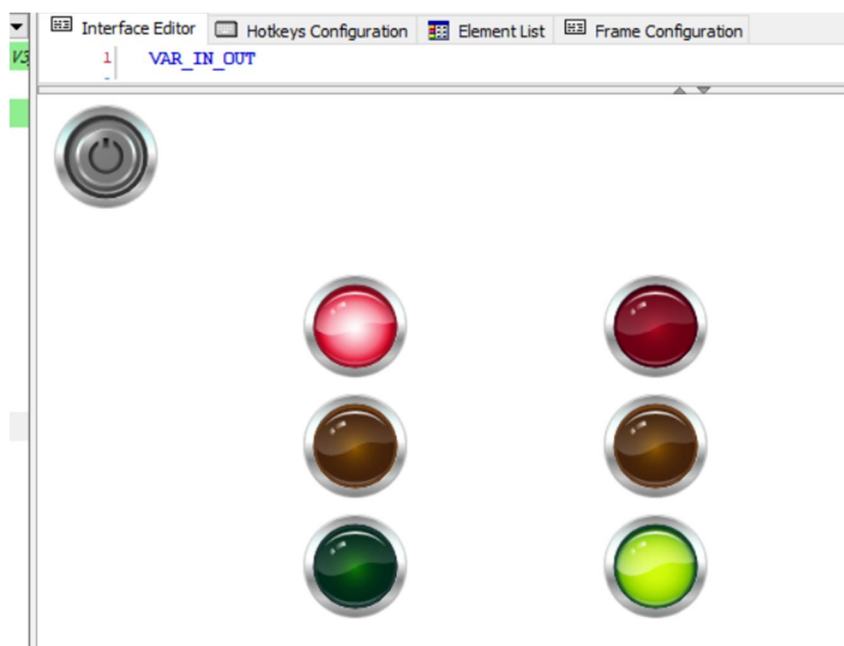


Рисунок 3.8 – Третій етап роботи світлофора з фіксованими циклами.

У цьому прикладі було реалізовано світлофор фіксованих циклів, який заснований на поетапному перемиканні світлових сигналів — зелений → жовтий → червоний → жовтий → зелений. Такі світлофори колись активно використовувалися на дорогах, особливо на перехрестях з низьким рівнем трафіку, де не було необхідності в складній логіці керування. Вони забезпечували базове регулювання руху транспорту, однак не враховували ані інтенсивність потоку, ані присутність пішоходів, ані аварійні ситуації.

Основним недоліком подібних систем є нездатність адаптуватися до реальної ситуації на дорозі. Тривалість сигналів у таких світлофорах фіксована та не змінюється в залежності від часу доби, кількості автомобілів чи дорожніх умов. Це призводить до зайвих затримок, втрати часу, а іноді й до аварійних ситуацій.

Сучасні транспортні системи переходять на інтелектуальні світлофори, які використовують сенсори руху, камери відеоспостереження, інтеграцію з GPS та центральними системами моніторингу. Такі світлофори можуть автоматично змінювати тривалість сигналів, координувати роботу з іншими перехрестями (створюючи так звану «зелену хвилю»), а також реагувати на транспортні пріоритети (наприклад, пропуск машин екстрених служб або громадського транспорту).

Незважаючи на це, прості моделі, подібні до реалізованої, залишаються актуальними для навчання, прототипування, локального керування рухом у закритих просторах (заводи, території підприємств) або як основа для подальшого розвитку складніших систем. Вони дозволяють зрозуміти базову логіку роботи керуючих алгоритмів та принципи використання таймерів у ПЛК-програмуванні[17, 18, 19, 20].

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

ВИСНОВКИ

У рамках даної роботи було проаналізовано різні види систем керування дорожнім рухом, а саме: системи з фіксованими циклами, напівактивні та адаптивні системи. Системи з фіксованими циклами є найпростішими за своєю структурою та логікою роботи — вони функціонують за наперед заданими інтервалами часу, незалежно від реальної дорожньої ситуації. Такі системи використовуються переважно на перехрестях із незначною інтенсивністю руху, де не виникає потреби в гнучкому реагуванні на потоки транспорту. Їх основною перевагою є простота впровадження та надійність, проте водночас вони не враховують змін трафіку, що може призводити до заторів або нераціонального використання пропускної здатності дороги. Напівактивні системи керування дорожнім рухом є більш гнучкими, оскільки мають здатність реагувати на наявність транспортних засобів або пішоходів за допомогою сенсорів. У таких системах основна програма залишається фіксованою, проте допускається корекція тривалості або черговості сигналів залежно від зовнішніх факторів, таких як натискання кнопки пішоходом або виявлення автомобіля на смузі очікування. Це дозволяє частково адаптуватися до змін у русі, покращуючи ефективність у порівнянні з повністю фіксованими схемами. Найбільш досконалими є адаптивні системи керування дорожнім рухом, які в режимі реального часу аналізують дані з дорожніх сенсорів, камер або інших джерел інформації та динамічно змінюють алгоритми роботи світлофорів. Такі системи здатні автоматично підлаштовуватися під інтенсивність руху в кожному напрямку, створювати "зелені хвилі", пріоритезувати громадський транспорт або спецтехніку, що значно підвищує ефективність і безпеку дорожнього руху. Вони потребують складнішого технічного забезпечення та програмного забезпечення, проте виправдовують себе в умовах високої динаміки транспортних потоків.

Також у процесі виконання роботи була розроблена структурна схема для світлофора з фіксованими циклами. Структурна схема демонструє логіку перемикання між сигналами, що реалізується на основі базових принципів

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		56

роботи програмованих логічних контролерів (ПЛК). Такий підхід дозволяє візуалізувати процес керування і є зручним для реалізації в навчальних або демонстраційних цілях.

Паралельно з цим була також розроблена структурна схема адаптивної системи керування дорожнім рухом. У цій схемі враховано наявність датчиків транспортного потоку, які фіксують інтенсивність руху в реальному часі. Сигнали від датчиків надходять до обчислювального модуля, що виконує аналіз отриманих даних і формує керуючі дії — змінює тривалість сигналів світлофора, враховуючи поточну ситуацію на дорозі.

У рамках роботи також було здійснено програмування програмованого логічного контролера (ПЛК) для реалізації роботи світлофора з фіксованими циклами. Програма була створена з урахуванням чіткої послідовності перемикання світлових сигналів: зелений → жовтий → червоний → жовтий → зелений. Для цього були використані таймери, що задають тривалість кожного з етапів, а також логічні умови перемикання між ними. Реалізація логіки відбувалася у середовищі розробки CodeSys, що дозволило наочно відобразити алгоритм роботи світлофора та забезпечити його стабільне функціонування. Програмний код був адаптований для подальшого тестування, за допомогою візуалізації, що дозволяє перевірити працездатність без використання фізичного обладнання.

У подальшому перспективним напрямом дослідження є поглиблене вивчення адаптивних систем керування дорожнім рухом, які враховують змінні умови на дорозі, інтенсивність транспортного потоку та наявність пішоходів. Особливу увагу варто приділити розробці алгоритмів, що динамічно змінюють тривалість світлових сигналів залежно від поточної ситуації. Такі системи можуть бути реалізовані у середовищі CODESYS з використанням програмованих логічних контролерів, що відкриває широкі можливості для побудови гнучких та ефективних рішень з автоматизованого регулювання руху на перехрестях.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
						57
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		

1. Семенов, В. І. Історія виникнення та еволюція світлофорного регулювання дорожнього руху. Київ: Центр транспортних досліджень, 2015. – 145 с.
2. Злобін, М. А., Лаврентьєв, С. В. Автоматизація дорожнього руху: принципи та технології. Харків: ХНУ, 2018. – 280 с.
3. Гнатюк, О. В. Основи проектування систем автоматичного регулювання дорожнього руху. Львів: Видавництво ЛНТУ, 2020. – 215 с.
4. Міністерство інфраструктури України. Правила дорожнього руху України. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2016. – 180 с.
5. Міністерство інфраструктури України. Технічні вимоги до світлофорів та їх обладнання. Київ: Міністерство інфраструктури України, 2017. – 120 с.
6. Халявка, В. М., Молошніков, І. В. Основи автоматизації та управління в технічних системах. Київ: Наукова думка, 2019. – 350 с.
7. Шевченко, А. І. Аналіз ефективності адаптивного регулювання світлофорів у містах України. Автоматика та приладобудування, 2021, 10(2), 33–40.
8. Петров, І. І. Інтелектуальні світлофори та їх вплив на безпеку дорожнього руху. Транспорт і логістика, 2020, 12(3), 45-51.
9. Єрмаков, А. О. Впровадження інтелектуальних транспортних систем у містах: стан і перспективи. Транспортна аналітика, 2022, 15(1), 12–18.
10. Іванова, Л. М. Моделювання світлофорних систем з фіксованими циклами в умовах високого трафіку. Журнал транспортних систем, 2021, 9(4), 22-28.
11. Papageorgiou, M. Applications of Automatic Control Concepts to Traffic Flow Modeling and Control. Springer, 2020. – 310 с.
12. Громов, І. Ю. Сучасні методи програмування світлофорних регуляторів. Праці НТУУ "КПІ", 2020, 8(3), 61–67.

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

13. Saad, N., Zainal, A. Real-Time Traffic Light Control Using Machine Learning. Journal of Advanced Transportation, 2021, Article ID 9981452.

14. Калюжний, С. Л., Гуменюк, Т. В. Імітаційне моделювання транспортних потоків в умовах адаптивного регулювання. Вісник НТУ, 2022, 27(2), 88–94.

15. Мельник, Ю. П. Технології розумного міста: транспортний аспект. Київ: Університет «Україна», 2021. – 165 с.

16. Google Research. Green Light Project – Improving City Traffic with AI. Official White Paper, 2023. – 24 p.

17. Дьяків, С. П., Чернявський, Ю. М. Програмовані логічні контролери в системах управління. Дніпро: ДНУ, 2018. – 240 с.

18. Іванов, В. П. Теорія автоматичного управління та застосування ПЛК. Харків: ХНУ, 2017. – 290 с.

19. Mills, Dag H. CODESYS Programming Guide – 1st Edition. Independently published, 2020. – 150 с.

20. Kazmierczak, M. Introduction to PLC Programming with CODESYS. Berlin: Springer, 2021. – 175 с.

PROGRAM PLC_PRG

VAR

start: BOOL:=FALSE;

TOF_1: TOF;

tf1: TIME;

step1: BOOL;

step2: BOOL;

step3: BOOL;

step4: BOOL;

green: BOOL;

yellow: BOOL;

red: BOOL;

TON_1: TON;

to1: TIME;

TON_2: TON;

to2: TIME;

TOF_3: TOF;

tf3: TIME;

					ДП.АКІТ.9702464.00.00.00.000 ПЗ						
Змн	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата							
Розроб.		Вайшле В. О.			Лістинг програми світлофора			Лім.	Арк.	Аркушів	
Перевір.		Шевчук А. М.								60	
Консульт.		Возна Н.Я.						ЗУНУ.ФКІТ.АКІТ-41			
Н. Контр.		Заставний О.М									
Затверд.		Сегін А.І.									

TOF_2: TOF;

tf2: TIME;

TON_3: TON;

to3: TIME;

TOF_4: TOF;

tf4: TIME;

TON_4: TON;

to4: TIME;

yellow1: BOOL;

yellow2: BOOL;

END_VAR