

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно - інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Автоматика та телекомунікації
(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри автоматики та
телекомунікацій

_____ **Валерій ПОЦЕПАСВ**
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 2023 р.

Випускна кваліфікаційна робота
бакалавра
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему «Розробка автоматизованої системи керування дорожнім рухом у місті
Покровськ»

Виконав : студент 4 курсу, групи АКТ-19
(шифр групи)

спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-
інтегровані технології
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

_____ **Бакін Єгор Сергійович** _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник ст. викл. каф. АТ _____ **Гліб СТУПАК**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Рецензент к.т.н., доц.доц. каф. ЕТ. _____ **Олександр ШТЕПА**
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ім'я) (підпис)

Нормоконтроль:

Дар'я ЖУКОВСЬКА

23.06.2023 р.

*Засвідчую, що у цій випускній кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.*

Студент _____
(підпис)

Луцьк – 2023 р.

ДВНЗ «Донецький національний технічний університет»
Факультет комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
(повне найменування інституту, назва факультету)

Кафедра автоматики та телекомунікацій
(повна назва кафедри)

Захист відбувся _____
(дата)

з оцінкою _____

Секретар ЕК _____
(підпис)

Випускна кваліфікаційна робота бакалавра

Тема: «Розробка автоматизованої системи керування дорожнім рухом у місті Покровськ»

Виконавець, студент
 гр. АТК-19

Керівник

Консультанти:

Нормоконтроль

		<u>Єгор БАКІН</u>	
(підпис,	дата,	Ім'я,	ПРИЗВИЩЕ)
		<u>Гліб СТУПАК</u>	
(підпис,	дата,	Ім'я,	ПРИЗВИЩЕ)
		<u>Валерій ПОЦЕПАЄВ</u>	
(підпис,	дата,	Ім'я	ПРИЗВИЩЕ)
		<u>Ганна ТЕЛИЧКО</u>	
(підпис,	дата,	Ім'я,	ПРИЗВИЩЕ)
		<u>Дар'я ЖУКОВСЬКА</u>	
(підпис,	дата,	Ім'я,	ПРИЗВИЩЕ)

Луцьк 2023р.

**Державний вищий навчальний заклад
"Донецький національний технічний університет"**

Інститут, факультет Комп'ютерно-інформаційних технологій та автоматизації
 Кафедра Автоматика та телекомунікації
 Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр
 Галузі знань 15 Автоматизація та приладобудування
 (шифр і назва)
 Спеціальність 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
 (шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**В.о. завідувача кафедри АТ
Валерій ПОЦЕПАЄВ**

«_____» _____ 2023 року

З А В Д А Н Н Я

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

Бакіну Єгору Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка автоматизованої системи керування дорожнім рухом у місті Покровськ

керівник роботи: Ступак Г.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від 05.05.2023 року № 175

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: НДРС, практика

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

1) Аналіз предметної області, визначення основних принципів автоматичного регулювання руху.

2) Аналіз дорожньої інфраструктури м. Покровськ.

3) Розробка алгоритму роботи системи, схемо технічні рішення.

4) Підбір компонентів.

5) Програмна реалізація.

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

- схема розташування об'єктів та дорожньої інфраструктури

- схема автоматизації

- блок-схема роботи

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
	Теличко Г.О., доц. каф. АТ		
	Поцєпаєв В.В., в.о. зав. каф. АТ		
нормоконтроль	Жуковська Д.О., асис. каф. АТ	-	23.06.2023р.

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Аналіз предметної області, визначення основних принципів автоматичного регулювання руху	01.05.2023	
2	Аналіз дорожньої інфраструктури м. Покровськ	12. 05.2023	
3	Розробка алгоритму роботи системи, схемо технічні рішення	22. 05.2023	
4	Підбір компонентів	30.05.2023	
5	Програмна реалізація	05.05.2023	
6	Розробка заходів з охорони праці	12.06.2023	
7	Оформлення	15.06.2023	

Студент _____
(підпис)Єгор БАКІН
(прізвище та ініціали)Керівник роботи _____
(підпис)Гліб СТУПАК
(прізвище та ініціали)

ЛИСТ ЗАУВАЖЕНЬ

Посада П.І.Б.	Суть зауваження, оцінка та підпис

АНОТАЦІЯ

Бакін Єгор Сергійович «Розробка автоматизованої системи керування дорожнім рухом у місті Покровськ» / Випускна кваліфікаційна робота на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології. – ДВНЗ ДонНТУ, Луцьк, 2023.

Пояснювальна записка: 69 стор., 12 рис., 9 табл., 12 посилань, 2 додатка.

Випускна кваліфікаційна робота присвячена вирішенню актуальної задачі, а саме розробці системи автоматизованого керування дорожнім рухом в умовах м. Покровськ. В роботі проаналізована дорожня інфраструктура міста та визначено ключові транспортні магістралі, їх пропускна здатність, а також наявність в місті регульованих перехресть. На підставі проведеного аналізу були виявлені основні вади існуючої системи, а саме наявність заторів у години пік і не оптимальність роботи світлофорних об'єктів, які не враховують наявну інтенсивність автомобільного трафіку. Визначено склад необхідного обладнання для моніторингу інтенсивності руху автомобілей а також запропоновано алгоритм керування. Алгоритм роботи системи перевірено на імітаційній моделі.

Ключові слова: АЛГОРИТМ, ІМІТАЦІЙНА МОДЕЛЬ, ПЕРЕХРЕСТЯ, СВІТЛОФОРНИЙ ОБ'ЄКТ, ДИСПЕТЧЕРИЗАЦІЯ, ТРАФІК, ІНТЕНСИВНІСТЬ, РЕЖИМ РОБОТИ, ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ.....	9
ВСТУП.....	10
1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ.....	12
1.1 Загальна характеристика предметної галузі.....	12
1.2 Характеристика дорожньої інфраструктури міста Покровськ.....	14
1.3 Постановка задачі проектування, актуальність проведення розробки та недоліки існуючої системи.....	17
1.4 Аналіз існуючих методів та систем.....	22
Висновки до розділу 1.....	26
2 АПАРАТНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ.....	27
2.1 Класифікація методів управління ВДМ.....	27
2.2 Апаратно-технічні засоби АСУ-ДР.....	30
2.3 Вибір компонентів системи.....	33
Висновки до розділу 2.....	45
3 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ.....	47
3.1 Опис роботи програмного комплексу КОМКОН АСКДР.....	47
3.2 Клітинні автомати для моделювання транспортних потоків.....	48
3.3 Розробка моделі транспортного потоку перехрестя з СФО на базі КА.....	49
3.3.1 Розробка матриці станів.....	49
3.3.2 Алгоритм руху та знаходження відстані до перешкоди.....	52
3.4 Модель класичного режиму роботи світлофора.....	52
3.5 Реалізація адаптивного алгоритму роботи СФО.....	54
3.6 Імітаційне моделювання.....	58
Висновки до розділу 3.....	60
ВИСНОВКИ.....	61
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	63

ДОДАТОК А – Алгоритми ініціалізації та заповнення матриць.....	65
ДОДАТОК Б – Алгоритми роботи СФО.....	68

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

- ВДМ – вулично-дорожня мережа;
ІКТ – інформаційно-комунікаційні технології;
ДТП – дорожньо-транспортна пригода;
СФО – світлофлорний об’єкт;
АСУРСП – автоматизовані системи управління рухом та контролю за станом покриття;
АСУ-ДР – автоматизованих систем управління дорожнім рухом;
ДК – дорожній контролер;
ДКЛ – дорожній контролер локальний;
ДТ – детектор транспорту;
ВПК – виносний пульт керування;
ПШР – показчик швидкості руху;
ТВП – табло виклику пішохода;
КАПП – комплект апаратури пріоритетного пропуску;
СКА – стаціонарний комплект апаратури;
ПКА – пересувний комплект апаратури;
ЦУП – центральний управляючий пункт;
ПКУ – пульт контролю і управління;
УОК – управляючий обчислювальний комплекс;
КДА – комплект контрольно–діагностичної апаратури;
ІТС – інтелектуальні транспортні систем;
КА – клітинні автомати;
НШ – модель Нагеля-Шрекенберга.

ВСТУП

Система управління потоками втілює світові стандарти споживання товарів, де транспорт відіграє роль у забезпеченні руху матеріальних, людських і частково енергетичних потоків.

Основна мета автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУ-ДР) полягає у підвищенні ефективності функціонування міської вулично-дорожньої мережі. Це досягається шляхом вирішення комплексу технологічних, технічних та організаційних завдань, пов'язаних з проектуванням, будівництвом і експлуатацією АСУ-ДР.

Технологічним об'єктом управління в АСУ-ДР є мережа вулиць та потоки транспорту і пішоходів на них, а також набір інструкцій, за якими здійснюється організація та керування дорожнім рухом. Управління дорожнім рухом – це методи і прийоми зміни параметрів транспортних потоків у часі.

Основним засобом управління дорожнім рухом є світлофорна сигналізація, яка призначена для послідовного пропуску учасників дорожнього руху через певний ділянку вулично-дорожньої мережі, а також для позначення небезпечних ділянок на вулицях (дорогах).

Сучасні АСУ-ДР (автоматизовані системи управління дорожнім рухом) мають ієрархічну структуру для обробки інформації. Ця структура передбачає використання кількох рівнів управління, які взаємно підпорядковані один одному: локальний, зональний, районний та загальноміський. Кожен рівень управління керується відповідним алгоритмом і використовує сучасні засоби обчислювання, вимірювання, телеметрії та зв'язку.

У рамках моєї випускної кваліфікаційної роботи на бакалавра, я планую розробити систему автоматизованого керування дорожнім рухом для міста Покровськ.

Актуальність проведення розробки полягає в тому, що зі зростанням кількості автомобілей збільшується інтенсивність руху, що в свою чергу

застосування вимагає нових підходів до управління рухом задля поліпшення екологічної ситуації, зменшення кількості дорожньо-транспортних пригод і збільшення рівня комфорту для всіх учасників дорожнього руху.

Метою даної роботи є зменшення часу перебування автомобілів на регульованих перехрестях міста Покровськ за рахунок розробки адаптивної системи управління світлофорними об'єктами.

Об'єктом виступає вулично-дорожня мережі м. Покровськ і регульовані перехрестя.

Предметом дослідження є системи управління світлофорними об'єктами.

В рамках роботи були поставлені такі **задачі** до вирішення:

- провести загальну характеристика предметної галузі і аналіз існуючих методів та систем;
- проаналізувати дорожню інфраструктуру м. Покровськ;
- дослідити класифікація методів управління ВДМ;
- виконати підбір апаратно-технічні засоби та компонентів системи;
- запропонувати алгоритм роботи системи та довести доцільність його використання шляхом імітаційного моделювання.

Методи й засоби розробки: методи системного аналізу та декомпозиції, комп'ютерне моделювання, програмування.

Отримані результати роботи можуть бути використані для впровадження в реальних умовах. Визначено склад необхідного обладнання для моніторингу інтенсивності руху автомобілей а також запропоновано алгоритм керування. Алгоритм роботи системи перевірено на імітаційній моделі.

Структура та обсяг роботи. Випускна кваліфікаційна робота обсягом 69 машинописних сторінок, складається з вступу, трьох розділів, висновків, переліка використаних джерел, що складається з 12 найменувань. Робота містить 12 рисунків, 9 таблиць.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ПРОЕКТУВАННЯ. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

1.1 Загальна характеристика предметної галузі

У сучасній Україні мережа автомобільних доріг, також відома як вулично-дорожня мережа (ВДМ), виконує важливу роль у транспортній системі країни. Будь-які подорожі транспортом по вулицях міст неможливі без взаємодії з дорожнім рухом, який забезпечується саме ВДМ. У великих містах України вже давно стали очевидними проблеми, пов'язані з погіршенням роботи громадського транспорту та транспортних артерій. Ці проблеми серйозно впливають на функціонування транспортної та дорожньої інфраструктури загалом. Затори, затримки руху, погіршення якості обслуговування, забруднення навколишнього середовища шкідливими викидами та шумом, а також збільшення кількості аварій - все це свідчить про неадекватність дорожньо-транспортної системи міста відносно сучасного рівня автомобілізації в країні. Одна з головних причин цих проблем - відставання у розвитку та погіршення стану ВДМ міст, що виникло внаслідок швидкого зростання автомобільного транспорту в країні. Вирішення цих проблем вимагає впровадження ефективних технічних та адміністративних містобудівних заходів, регулювання та організації дорожнього руху, а також спільної роботи всієї транспортної системи міста [1].

Затори на ВДМ у найбільших і найважливіших містах України вже нормальні і ситуація не покращується. На міських вулицях із погіршенням умов руху затори можна розділити на три види:

- затори на дорогах і погіршення дорожніх умов виникають регулярно майже щодня;
- перевантаження виникає випадково через втрату пропускну здатності елементів ВДМ протягом короткого періоду часу;

- непередбачені затори та непередбачені умови, викликані втратою працездатності елементів ВДМ, погіршенням умов їх експлуатації.

Причинами погіршення умов руху, які призводять до постійних заторів на окремій ділянці ВДМ, є:

- планувальні елементи дороги (наявність перетинів з іншими дорогами, перехресть, розв'язок, трамвайних колій, зупинок громадського транспорту, ухилів, звужень, заокруглень тощо);
- організаційні заходи (технічні засоби та методи організації дорожнього руху);
- оглядовість на дорозі та перехрестях;
- тип покриття та його стан;
- поточний склад і габаритні розміри транспортних одиниць.

Виникнення заторів, причиною яких є випадкові та непередбачені ситуації, виникає внаслідок: погодно-кліматичних умов; Дорожньо-транспортні пригоди; роботи з ремонту доріг; проїзд кортежу; масові заходи; Аварії в технічних мережах

Основними завданнями забезпечення належного рівня комфорту руху транспортних засобів на ВДМ міст є мінімізація заторів руху та підвищення безпеки дорожнього руху при виникненні зазначених ситуацій. Для забезпечення необхідної ефективності дорожньо-дорожньої мережі міста необхідно створити належні дорожні умови, а саме провести роботи з будівництва нових та реконструкції існуючих інженерно-транспортних споруд, а також елементів доріг та доріжок. , але не через постійне вирішення цих проблем покращується робота всієї мережі. Тому паралельно необхідно вирішувати питання ефективних заходів організації дорожнього руху з технічними заходами з будівництва та реконструкції доріг та дорожнього господарства, що дозволяє контролювати рух транспорту на вулицях міста [2].

Використання в цьому контексті саме інформаційно-комунікаційних технологій (ІКТ) дозволяє без втручання у вже існуючі інфраструктурні рішення, а саме ВДМ, покращувати ситуацію з заторами, безпеку дорожнього

руху та зниження викидів CO₂ за рахунок впровадження інноваційних підходів та рішень.

1.2 Характеристика дорожньої інфраструктури міста Покровськ

Як об'єкт проектування в кваліфікаційній випускній роботі виступає дорожня інфраструктура міста Покровськ, предметом же є регульовані перехрестя в місті, які на сьогоднішній день за рахунок не коректного функціонування дають можливість утворення заторів та створюють додаткові ризики для виникнення дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Надамо стислу характеристику міста, та його основних транспортних артерій.

Покровськ – це населений пункт, розташований на заході Донецької області, який часто називають "західними воротами Донбасу". У зв'язку з окупацією частини Донецької області, Покровськ став справжніми "воротами Донбасу". На сьогоднішній день це місто є логістичним центром, який з'єднує південну та північну Донеччину і забезпечує зв'язок з Дніпропетровською, Харківською та Запорізькою областями (рис. 1.1). В табл. 1.1 перераховані назви основних транспортних магістралей, які проходять через місто.

Таблиця 1.1 – Магістральні транспортні артерії

№	Траса	Напрямок	Вулиця
1	М30 (Е50)	Київ, Дніпро, Донецьк	Захисників України
2	Т0406	Межова	Торгівельна
3	Т0515	Запоріжжя, Краматорськ, Харків	Ювілейна, Шосейна, Добропільська
4	Н-32	Дніпро, Бахмут, Сєвєродонецьк	Шмідта

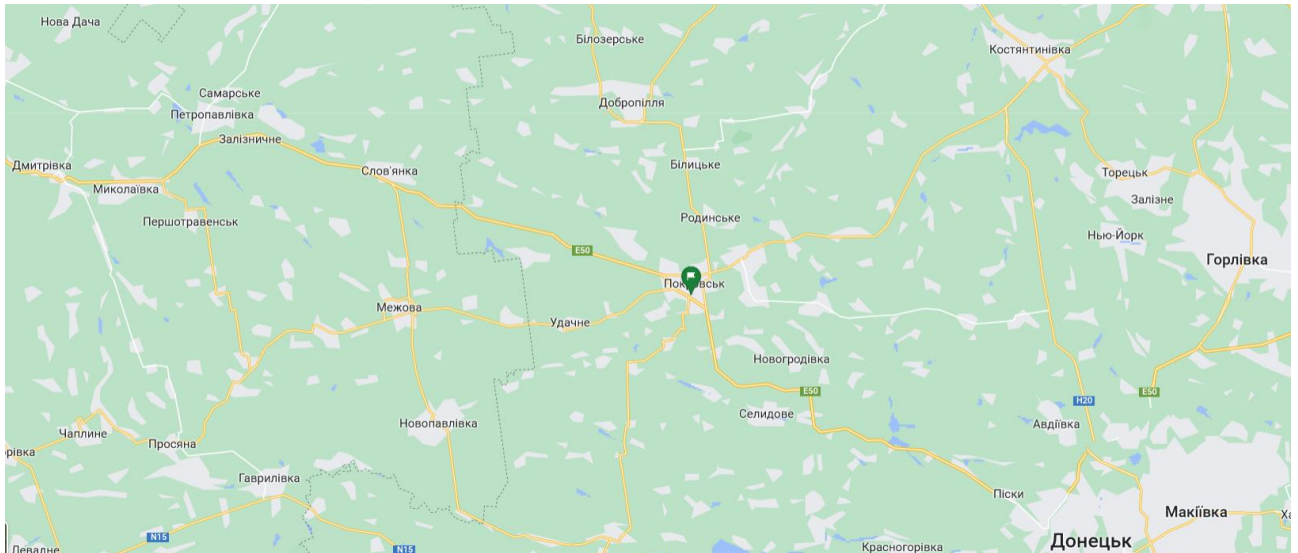


Рисунок 1.1 – Розташування міста

Місто Покровськ є центром однойменного району та містом обласного підпорядкування. В адміністративно-територіальній структурі до нього входять місто Родинське та селище міського типу Шевченко. Загальна площа Покровська становить 0,15% території Донецької області і складає 39,3 квадратних кілометра. Населення міста становить 74 тисячі осіб, що складає 1,8% населення області. Близько 84% цього числа проживають у самому місті Покровськ (50,4 тисячі осіб). Кількість працездатних ресурсів становить 39,4 тисячі осіб [3].

Основою економіки міста є промисловий комплекс, який включає добувну, машинобудівну, металургійну, харчову та інші галузі. В добувному комплексі працює понад 10,5 тисяч осіб. Доля промислової продукції міста в обсязі обласної продукції становить 7,5%.

Найбільшу кількість працюючих представляють підприємства добувної промисловості, що становить майже 70% загальної кількості підприємств промислового комплексу міста. Саме від цих підприємств залежить соціально-економічне життя міста, а їх продукція складає 90% (20,7 млрд. грн.) структури промислового виробництва.

У місті функціонують два підприємства добувної промисловості: ПАТ "Шахтоуправління «Покровське»", яке належить недержавній формі власності,

та ДП "Вугільна компанія «Краснолиманська»", що має державну форму власності.

У місті Покровськ проходять автошляхи Е50 і М04. Відстані до деяких міст, які можна пройти автомобільним шляхом, такі: Київ - 643 км, Краматорськ - 81 км, Дніпро - 183 км, Харків - 261 км, Запоріжжя - 201 км.

Місто Покровськ виконує важливу роль транспортного вузла, де перетинаються важливі автомобільні і залізничні магістралі. Велика частина пасажирських і вантажних перевезень здійснюється автомобільним транспортом. Загальна протяжність автодоріг у місті становить близько 187,43 км.

Транзитні автомобільні зв'язки забезпечуються за допомогою європейського автошляху Е50, який проходить через місто вздовж вулиці Захисників України, від Ужгорода до Ізварине, пролягаючи через Дніпро та Луганськ. Також транзитний рух автотранспорту здійснюється по автомобільній дорозі Т0515, що має місцеве значення і пролягає через Олександрівку, Покровськ і Константинопіль, проходячи через вулицю Шосейну. Деякі ділянки цих доріг можуть не відповідати потребам і обсягам автомобільного руху. В таблиці 1.2 міститься інформація про основні зовнішні автодороги, які перебувають в зоні впливу міста Покровськ.

Таблиця 1.2 – Характеристика основних зовнішніх автодоріг

№	Найменування	Категорія	Ширина проїжджої частини, м	Інтенсивність руху транспорту, авт./доба
1	Європейський автошлях (Е-50) Ужгород - Ізварине	II	9	4000
2	Автошлях територіального значення (Т 0515) Олександрівка - Константинопіль	III	7	2870
3	Автошлях територіального значення (Т 0504) Покровськ - Бахмут	III	8	2500
4	Автошлях територіального значення (Т 0506) Покровськ - Григорівка	IV	8	2100
5	Автошлях районного значення Покровськ - Гришине	IV	6	1100

Незважаючи на значний прогрес у розвитку, існуюча мережа автомобільних доріг не відповідає потребам міста. Стан автомобільних доріг насправді є поганим, з вибоїнами, тріщинами та ямами, і багато дорожнього покриття потребує серйозного ремонту.

Відсутність об'їзних доріг призводить до проходження транзитного транспорту через місто, що негативно впливає на загальну транспортну ситуацію та умови проживання в місті. Шум, пил, вібрація та забруднення повітря вихлопними газами створюють значні незручності для мешканців. Середній час, який транзитний транспорт проводить у місті, складає 17 хвилин, але цей час може змінюватись в залежності від часу доби та напрямку руху, зменшуючись до 14 хвилин або зростаючи до 38 хвилин.

Місто має деякі міжміські і приміські автобусні зв'язки. Автостанція першого класу, розташована на вулиці Захисників України, обслуговує зовнішні автомобільні перевезення. Місто має міжміські зв'язки з такими містами, як деякі обласні центри та інші [4].

1.3 Постановка задачі проектування, актуальність проведення розробки та недоліки існуючої системи

Мета даної роботи полягає у створенні комплексного рішення, яке забезпечуватиме ефективну роботу світлофорних об'єктів ВДМ в місті Покровськ. Перед масштабним вторгненням російської федерації на територію України, вже спостерігався перевантаження транспортних артерій і головних магістралей в місті. Протягом початкових місяців війни світлофорні об'єкти не функціонували, що призвело до того, що всі перехрестя, обладнані ними, фактично стали нерегульованими. Зменшення транспортного потоку на початку не створювало значних проблем. Однак сьогодні ми стикаємося зі ситуацією зростання кількості автомобілів на дорогах міста, а також збільшенням інтенсивності руху. Це призводить до негативних наслідків, таких як:

- збільшення кількості ДТП (дорожньо-транспортних пригод);
- зростання викидів CO₂;
- порушення розкладу та графіків громадського транспорту;
- незручності для пішоходів та інших учасників дорожнього руху.

Перші кроки, які були здійснені відділом транспорту Покровської військової адміністрації, включали відновлення роботи світлофорних систем та встановлення додаткових світлофорів на перехрестях та місцях з високою кількістю ДТП. Загалом, це рішення мало на меті покращити ситуацію та вирішити нагальні проблеми. Однак, використання стандартних режимів та алгоритмів роботи світлофорів на регульованих перехрестях не привело до бажаного результату. Хоча спостерігалось зменшення кількості ДТП, загалом таке рішення призвело лише до затримок транзитного транспорту в місті, погіршення екологічної ситуації та зростання незадоволеності серед населення.

Сьогодні світлофори є складними електронно-оптичними пристроями, але так не завжди було. Вони працюють на основі трьох відомих сигналів: зеленого (дозвільного), жовтого (проміжного, що попереджає про зміну сигналу) та червоного (заборонного). Технологія світлофорів постійно удосконалюється, пристосовуючись до складних умов дорожнього руху. Сучасний термін "електронний регулювальник" описує світлофор як освітлювальний прилад, який послідовно змінює сигнали через певні проміжки часу. Керування світлофорами може здійснюватись складним електронним пристроєм або людиною-контролером. Сучасні світлофори можуть бути керовані за допомогою пультів. Однак, найчастіше використовується електронне керування, оскільки людина, через різні психологічні фактори, може змінювати сигнали з неправильною періодичністю, що може призвести до заторів транспортного потоку. Важливо також пам'ятати про збільшення кількості ДТП, які часто спричиняють непильні та необізнані водії.

Автоматичне керування світлофором виконується складною програмою, яку можна описати як звичайний електромеханічний пристрій. Існують різні типи контролерів залежно від складності керування. Найпростіший контролер -

це електромеханічний пристрій з однією вбудованою програмою. Робочий принцип полягає у наступному: однофазний електродвигун приводить в рух редуктор, який переключає диски, закріплені на вісі. Під час обертання ці диски відкривають і закривають контакти, які включають постійний струм до спеціального поляризованого реле. Коли реле взаємодіє з контактами, світлофор вмикається. Для включення іншого сигналу, наприклад, червоного, кулачок повертається, і інші контакти замикаються, що призводить до подачі зворотного струму на реле. Час, протягом якого червоний сигнал горить, визначається тим, як довго контакт рухається по відповідному червоному сектору диска. Послідовність сигналів така: червоний світлофор спочатку вмикається після жовтого, потім червоний, потім знову жовтий. Автоматичне керування за допомогою програмованого пристрою може використовуватися одразу на кількох світлофорах.

Проте варто пам'ятати, що управління кількома світлофорами однією програмою здійснюється завдяки рівномірному розташуванню дисків у контролері відповідно до їх фізичного розташування. Програма розрахована на однакову інтенсивність руху протягом всього періоду роботи світлофора. Тому автоматичний світлофор не забезпечує оптимального регулювання дорожнього руху внаслідок змін інтенсивності руху протягом доби. Для оптимізації регулювання були розроблені подібні контролери з кількома програмами. Зазвичай вони мають три програми: для нічного часу, для звичайного денного руху і для періоду пік вечірнього трафіку. Технічно вони також мають певні зміни, такі як відсутність перемикаючих реле і профільованих дисків [5].

Наразі у місті Покровську використовуються світлофори типу СД Т1.2-С-ТЖ. Ці світлофори є дорожніми, вони використовують світлодіоди, а також є транспортними. Кожен світлофор складається з трьох секцій. Окрім того, вони поєднані з табло, на якому відображається час у жовтій секції (див. рис. 1.2).



Рисунок 1.2 – Загальний вигляд СД Т1.2-С-ТЖ

Цей тип світлофора є передовим в застосуванні електронних компонентів та світлодіодної техніки. Основні особливості включають:

- Використання спеціально розробленої оптичної системи з джерелом світла розташованим в центрі, зовнішньою розсіювальною лінзою та вбудованою всередині джерела світла лінзою Френеля. Це забезпечує рівномірний розподіл світлового потоку та формування необхідної діаграми спрямованості випромінювання.
- світлодіодні модулі, де джерело світла в центрі більше за лампи розжарювання, а споживання електроенергії становить всього 7-10 Вт, що на порядок менше, ніж у лампових і матричних LED світлофорах.

Технічні характеристики світлофора СД Т1.2-С-ТЖ:

- Параметри світлофора відповідають нормам ДСТУ 4092-2002.
- Напруга живлення 220 В (+22/-33) 50 Гц.
- Похибка виміру інтервалів не перевищує 1 сек.
- Схема включає модуль корекції яскравості.
- Середня споживана потужність однією секцією становить понад 9 Вт.
- Корпус виготовлений з чорного полікарбонату.
- Фронтальні лінзи модулів знебарвлені та повністю усувають фантомне засвічення.
- Ступінь захисту IP65.

Електронна схема джерела світла компенсує температурні зміни довкілля та зміни напруги живлення, що забезпечує стабільність світлового потоку. Світлофор також має диференційну схему управління в залежності від часових рамок. Є три основні режими:

Година пік: зелений – 45 секунд, червоний – 25 секунд.

Звичайний режим: зелений – 30 секунд, червоний – 30 секунд.

Нічний режим: жовтий безперервно.

Всього у місті є 7 регульованих перехресть та пішохідних переходів на основних транспортних магістралях (рис. 1.3).

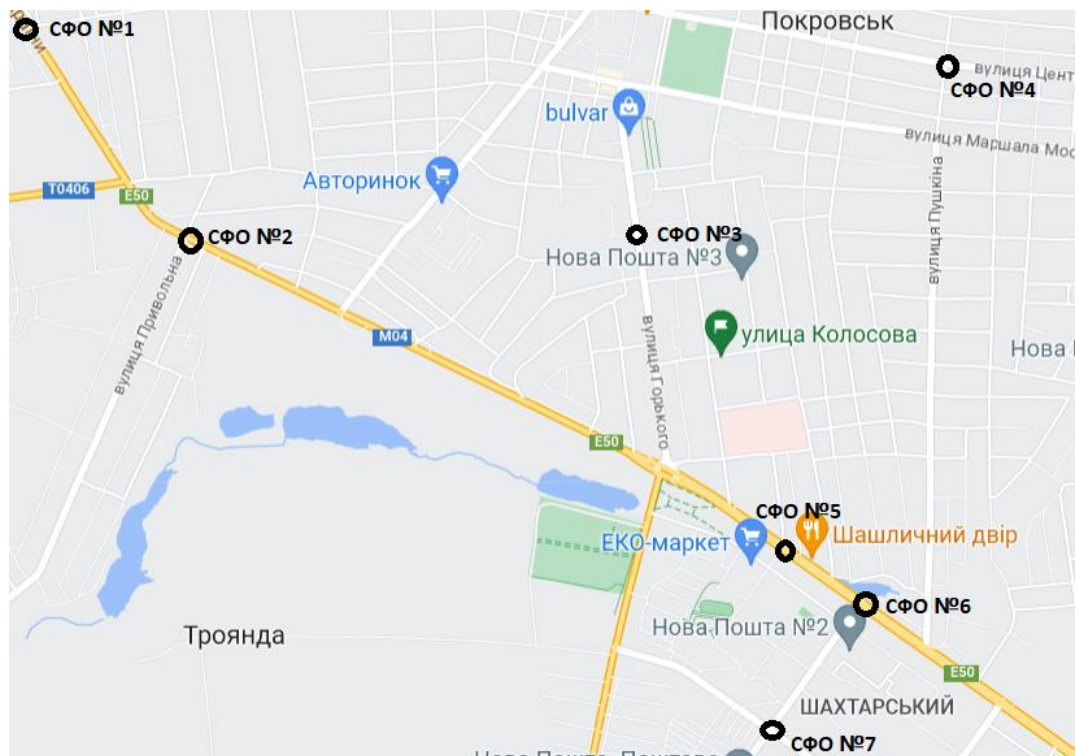


Рисунок 1.3 – Схема розташування світлофорних об’єктів

В таблиці 1.3 наведені основні характеристики перехресть.

Таблиця 1.3 – Характеристики регульованих перехресть

	Перехрестя вулиць	Середньодобовий трафік, авт.	Години пік	Години найменшої інтенсивності
СФО №1	вул. Захисників України - вул. Центральна	4000	07:00-18:00	19:00-06:00
СФО №2	вул. Захисників України - вул. Привольна	4000	07:00-18:00	19:00-06:00
СФО №3	вул. Європейська - вул. Тургенєва	2870	08:00-16:00	17:00-07:00
СФО №4	вул. Пушкіна - вул. Центральна	2500	07:00-10:00; 16:00-18:00	11:00-15:00; 18:00-06:00
СФО №5	вул. Захисників України - пров. Новомосковський	4000	07:00-18:00	19:00-06:00
СФО №6	вул. Захисників України - вул. Володимирська	4000	07:00-18:00	19:00-06:00
СФО №7	вул. Володимирська - вул. Квітнева	2100	07:00-18:00	19:00-06:00

Як бачимо, з проведеного аналізу, вулиці міста та основні транспортні магістралі дуже жваві, що насамперед пов'язано з географічним розташуванням, і тим що місто позиціонується як масштабний логістичний і транспортний вузол західної частини Донецької області, і наразі актуальним є впровадження інноваційних підходів до управління дорожнім рухом та СФО.

1.4 Аналіз існуючих методів та систем

Як було висвітлено вище, в місті Покровськ система регулювання дорожнього руху базується на використанні системи фазово-оптимального (СФО) регулювання. Ця система працює з попередньо заданими графіками роботи протягом доби, не враховуючи актуальну дорожню ситуацію, інтенсивність руху, погодні умови або аварії.

Загалом, під керуванням розуміють вплив на певний об'єкт з метою поліпшення його функціонування. У випадку дорожнього руху об'єктом керування є транспортні та пішохідні потоки. Дорожній рух є особливим об'єктом керування через те, що водії та пішоходи володіють своєю волею та

пересуваються, маючи свої власні цілі. Отже до дорожнього руху додається ще технічно-соціальний аспект, що також впливає на саму специфіку визначення об'єкту управління.

Суть керування полягає в зобов'язанні водіїв та пішоходів, забороні або рекомендації щодо певних дій в інтересах безпеки та забезпечення швидкості руху. Це досягається шляхом включення відповідних вимог до Правил дорожнього руху та застосування комплексу технічних засобів та розпорядчих заходів патрульної поліції та інших уповноважених осіб [8].

Світовий досвід підтверджує, що найефективніше забезпечення безпечного, швидкого, комфортного та економічного перевезення пасажирів та вантажів досягне завдяки повнофункціональним автоматизованим системам АСУРСП.

АСУРСП – це система управління дорожнім рухом і контролю за станом покриття і є важливим компонентом сучасного дорожнього господарства. Вона використовує різноманітні технології та інструменти для забезпечення безпеки та ефективності руху на дорогах.

Один з основних елементів системи управління дорожнім рухом – це система світлофорів. Світлофори встановлюються на перехрестях та регулюють рух транспортних засобів, контролюючи час руху для кожного напрямку. Вони забезпечують безпеку, регулюючи потік транспорту та уникнення заторів.

Крім світлофорів, в системі управління дорожнім рухом використовуються камери спостереження. Ці камери моніторять дорожні ситуації, фіксують порушення правил дорожнього руху та сприяють виявленню аварійних ситуацій. Інформація, отримана з камер спостереження, може використовуватися для регулювання руху або надсилатися на диспетчерський центр для подальшого аналізу.

Ще одним важливим елементом системи управління дорожнім рухом є системи динамічного керування шляхопроводами та дорожніми знаками. Ці системи дозволяють змінювати розміщення дорожніх знаків, наприклад, змінювати швидкісні обмеження або надавати інформацію про дорожні умови.

Такі знаки можуть бути електронними і мати можливість змінювати своє зображення залежно від потреб дорожнього руху.

Окрім управління дорожнім рухом, система контролю за станом покриття займається виявленням та моніторингом дефектів дорожнього покриття. Для цього використовуються спеціальні технології, такі як лазерне сканування або використання датчиків. Ці технології дозволяють виявляти тріщини, ями та інші пошкодження на дорозі. Інформація про стан покриття може використовуватися для планування ремонтів та підтримки якості доріг.

У багатьох сучасних системах управління дорожнім рухом та контролю за станом покриття використовуються алгоритми штучного інтелекту та аналітика даних. Це дозволяє автоматизувати процеси контролю та управління, забезпечуючи ефективну роботу системи та зростання безпеки дорожнього руху.

Розташування дорожньо-транспортних регуляторів здійснене з метою своєчасного інформування водіїв про умови дорожнього руху та стан покриття. Відеокамери встановлено таким чином, щоб забезпечувати огляд території з радіусом до 0,5 км. По території транспортного руху на кожній смузі розміщені детектори, це дозволяє контролювати в'їзд і виїзд на дорогу. Все це сприяє максимальному використанню інженерних засобів і дозволяє використовувати технології з максимальною користю. Структура спрощеної АСУРСП показана на рис. 1.4.

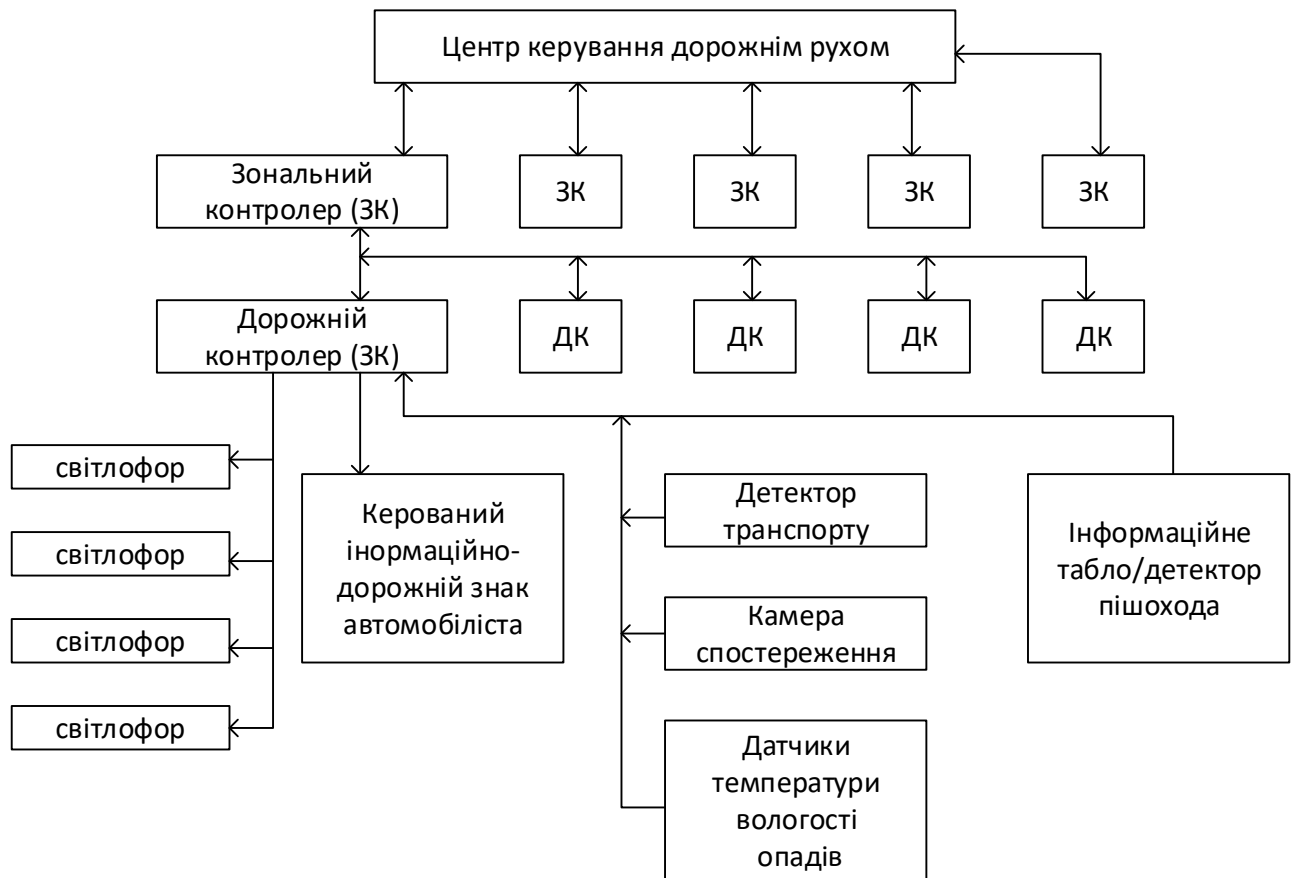


Рисунок 1.4 – Спрощена структура АСУРСРП

У простішому варіанті, система працює так: спеціальні сенсори збирають різноманітну інформацію про рух транспортних засобів, таку як інтенсивність, швидкість та режим руху. Вони також вимірюють показники, які стосуються дорожнього покриття, наприклад, температуру і вологість, а також товщину води або снігу. Крім того, вони можуть визначати концентрацію реагенту, інтенсивність опадів, тиск, видимість і рівень речовин у повітрі, що несе шкоду.

Відеоконтроль здійснюється за допомогою спеціальної апаратури і стежить за наявністю ДТП, дорожньо-ремонтними роботами, рухом спеціальних автомобілів і т.д.

Вся актуальна інформація потрапляє до головного центру керування, де розгортається програмний комплекс АСУРСРП. Він аналізує ситуацію на різних ділянках дороги та генерує оптимальні рішення або надає рекомендації диспетчеру. Сам диспетчер здійснює візуальний контроль за рухом на дорозі за

допомогою камер спостереження та моніторів, а також підтримує зв'язок з поліцією, швидкою допомогою та пожежною службою. З використанням управляючих дорожніх знаків, змінюваних інформаційних табло та світлофорів, диспетчер або програма впливають на ситуацію, надаючи водіям відповідну інформацію і рекомендації [7].

Висновки до розділу 1

У першому розділі моєї випускної кваліфікаційної роботи бакалавра були визначені основні характеристики об'єкта, для якого розробляється система управління. Я провів докладний аналіз предметної галузі, включаючи узагальнену класифікацію систем і визначення ключових компонентів та показників, зокрема факторів, які суттєво впливають на процес управління дорожнім рухом. Я також проаналізував інтенсивність руху на основних магістралях міста Покровськ, де розташовані світлофорні об'єкти. Я визначив середній час перебування транзитного транспорту в місті і вивчив вплив світлофорних об'єктів на цей процес. Цей аналіз підтвердив необхідність проведення заходів з модернізації або розробки нової концептуальної системи управління дорожнім рухом з використанням наявних світлофорів.

2. АПАРАТНИЙ СИНТЕЗ СИСТЕМИ

2.1 Класифікація методів управління ВДМ

У автоматизованих системах організації дорожнього руху (АСУ-ДР), система керування дорожнім рухом і транспортом є основним об'єктом управління. Вона також включає в себе інструкції щодо організації та контролю дорожнього руху. Управління дорожнім рухом включає методи і прийоми для зміни параметрів транспортного потоку з часом. Сучасна АСУ-ДР базується на ієрархічному принципі обробки інформації, що передбачає використання кількох рівнів управління:

Локальне управління: його основна мета – мінімізувати кількість транспортних засобів на перехрестях з урахуванням обмежень, що надходять з вищих рівнів. На цьому рівні встановлюється швидкість руху для кожного автомобіля та загальна швидкість руху в кожному напрямку.

- зональне управління: передбачає вплив на зону, яка складається з декількох взаємопов'язаних перехресть. Це може бути автомагістраль або мережа вулиць з короткими ділянками. На цьому рівні встановлюється базова лінія управління, яка надходить з вищого рівня, і вона коригується для максимізації ефективності управління;
- районне управління: забезпечує єдине, скоординоване управління декількома зонами. Прив'язка зон до району може бути змінною;
- загальноміське управління: включає розрахунок базових планів координації, маршрутизацію транспортних потоків, вирішення проблем заторів, пріоритетний пропуск окремих транспортних засобів, контроль показників якості та ефективності управління, а також перевірка справності технічних і програмних засобів АСУ-ДР.

Системи управління дорожнім рухом (АСУ-ДР) можна класифікувати за структурою на три рівні. Кожен рівень відповідає певному рівню управління і включає певний набір можливих систем.

У загальноприйнятій класифікації АСУ-ДР, рівень знизу переходить до вищого рівня і являється його частиною. Таким чином, кожний рівень взаємодіє з нижнім рівнем і надає йому відповідну функціональність:

- АСУ-ДР 1 – є системою 1-го або ще говорять – локального рівня, такі системи застосовують для окремих перехресть. Вони поділяються на такі типи:
 - АСУ-ДР 1-1 – системи програмованого управління без використання людського фактору;
 - АСУ-ДР 1-2 – системи програмованого управління з використанням людського фактору, що є складовою вищого рівня;
 - АСУ-ДР 1-3 – системи пристосованого управління з використанням людського фактору.
- АСУ-ДР 2 – є системою 2-го або ще говорять – зонального або невеликого району рівня. Вони схожі на системи першого рівня і також поділяються на підрівні:
 - АСУ-ДР 2-1;
 - АСУ-ДР 2-2;
 - АСУ-ДР 2-3.
- АСУ-ДР 3 – є системою 3-го, що застосовують у великих районах чи містах.

Світлофорний цикл – це повна послідовність зміни сигналів світлофорів. Він складається з тактів і фаз. Основний такт – це проміжок часу, коли в одному напрямку горить зелений сигнал, а в конфліктному напрямку – червоний сигнал. Під час зеленого сигналу дозволяється рух. Проміжний такт – це відрізок часу, коли світлофори показують "жовтий" сигнал або поєднання "жовтий-червоний". Він призначений для того, щоб транспортні засоби, які

перетнули стоп-лінію, могли завершити проїзд перехрестя, а ті, що знаходяться перед стоп-лінією, мали час зупинитися.

Існують певні параметри світлофорного циклу:

- мінімальна тривалість основного такту – 6 одиниць часу;
- мінімальна тривалість проміжного такту – 3 одиниці часу;
- максимальна тривалість проміжного такту – 6 одиниць часу;
- мінімальна тривалість циклу – 20 одиниць часу;
- максимальна тривалість циклу – 120 одиниць часу.

Сучасні технічні засоби автоматизованого управління світлофornoю сигналізацією (АСУ-ДР) надають кілька способів управління:

1. Ручне управління – використовується в окремих випадках на локальних перехрестях;
2. Однопрограмне жорстке управління – автоматично повторює світлофорний цикл без змін;
3. Багатопрограмне жорстке управління – має декілька програм управління, які застосовуються в різні періоди доби;
4. Адаптивне управління на локальному перехресті – залежить від параметрів транспортних потоків, вимірюваних детекторами;
5. Координоване управління – використовується на магістральних або загальноміських рівнях, де група системних контролерів працює разом;
6. Управління з участю диспетчера – використовується у випадках заторів, дорожньо-транспортних пригод і технічних проблем;
7. Пріоритетний пропуск транспорту – використовується для деяких транспортних засобів зі спеціальною апаратурою;
8. Метод "зелених вулиць" – являє більш тонкі та швидкі перелаштування маршрутів.

У вашому випадку, для системи управління світлофорами в м. Покровськ можна реалізувати дві підсистеми АСУ-ДР 1-3 та одну АСУ-ДР 2-3, які

включатимуть п'ять АСУ-ДР 1-3. Ці системи будуть зв'язані між собою, і їх розподіл за світлофорами наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Ієрархія АСУ-ДР в м. Покровськ

СФО №3	АСУ-ДР 1-3		АСУ-ДР 3
СФО №4	АСУ-ДР 1-3		
СФО №1	АСУ-ДР 1-3	АСУ-ДР 2-3	
СФО №2	АСУ-ДР 1-3		
СФО №5	АСУ-ДР 1-3		
СФО №6	АСУ-ДР 1-3		
СФО №7	АСУ-ДР 1-3		

При цьому при розробці та імплементації рішень, мають бути застосовані підходи що забезпечать координоване управління з елементами диспетчерського управління в цілому та адаптивного управління на локальному перехресті.

2.2 Апаратно-технічні засоби АСУ-ДР

Структура сучасної АСУ-ДР містить в своєму складі велику кількість обов'язкових компонентів, які покликані максимально ефективно забезпечувати контроль учасників дорожнього руху ВДМ та можливість подальшого управління СФО. На рисунку 2.1 наведена типова структура АСУ-ДР [10].

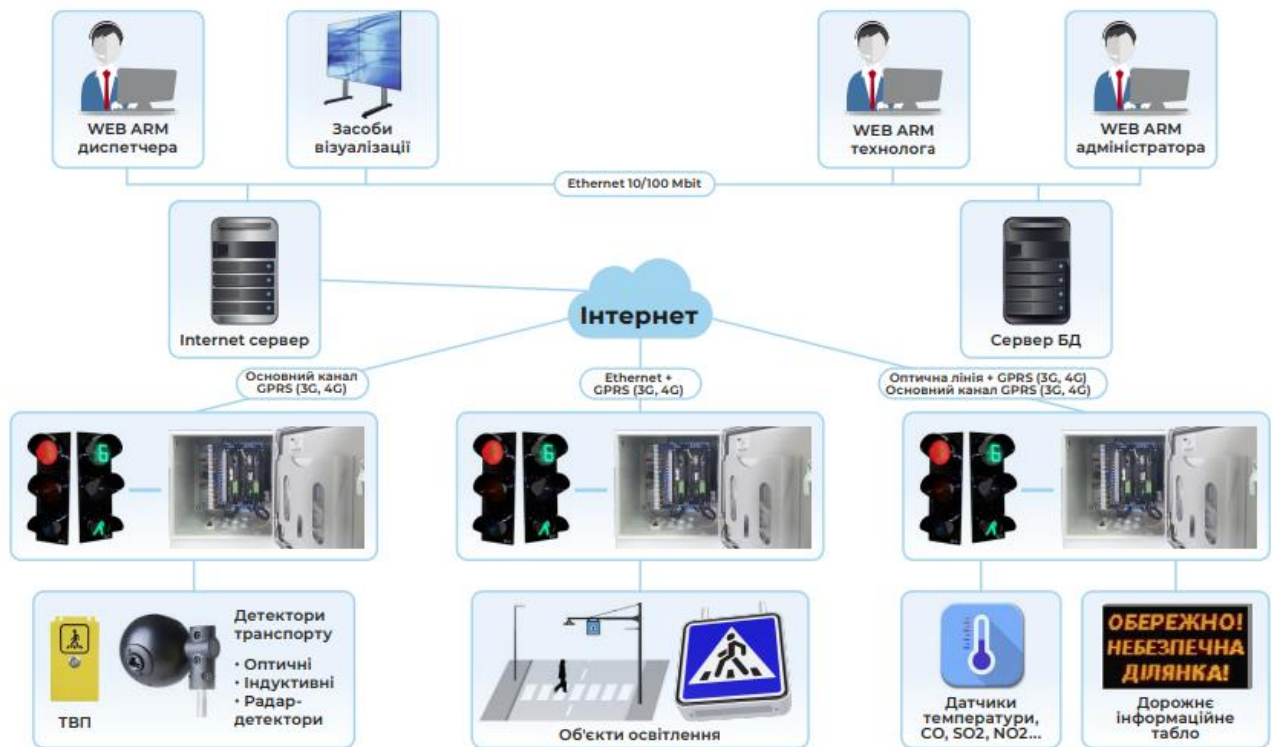


Рисунок 2.1 – Структура АСУ-ДР

Комплекс автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУ-ДР) включає в себе дві складові частини: периферійне та центральне обладнання.

Периферійне обладнання розташоване безпосередньо на вулично-дорожній мережі. Він складається з наступних елементів:

1. Дорожні регулювачі (ДК) призначені для керування сигналізацією світлофорів за заданою програмою. Розрізняють два типи ДК: локальні та системні. Для управління рухом на окремих перехрестях використовуються локальні ДК, а в узгоджених системах управління – системні ДК.
2. Детектори руху (ДТ) використовуються для автоматичного збору даних про транспортні потоки. Вони необхідні для реалізації адаптивного управління трафіком.
3. Пульт дистанційного керування (ППУ) призначений для ручного керування світлофорами на окремих перехрестях через місцеві ДК.

4. Показчики швидкості використовуються для інформування водіїв про рекомендовану швидкість на головних вулицях за допомогою узгоджених сигналів світлофора. Інформація до ПСР передається від центральної системи управління (ЦПУ) по спеціальних каналах зв'язку.
5. Для організації об'їзду на вулично-дорожній мережі міста використовуються контрольовані знаки. Ці пристрої містять набір дорожніх знаків, які можуть змінюватися вручну патрульними поліцейськими або з ЦПУ.
6. Пішохідні табло використовуються для регулювання руху на перехрестях або пішохідних переходах за заявкою пішоходів. Цей метод використовується в тих випадках, коли транспортні потоки інтенсивні, а пішохідні малоінтенсивні.
7. Для організації переважного проїзду спецтранспорту через перехрестя використовуються комплекти обладнання для пріоритетного пропуску (ППП). Вони складаються зі стаціонарного комплекту обладнання (СКА), який встановлюється на перехресті та підключається до ДК, і пересувних комплектів обладнання (ПКА), які встановлюються на спецавтомобілі.

Центральне обладнання розташоване в центральному управляючому пункті (ЦУП) автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУ-ДР). Його склад включає:

1. Пульт контролю та управління (ПКУ), який є робочим місцем оператора диспетчерського центру. Оператор контролює функціонування АСУ-ДР за допомогою ФКУ і при необхідності може втрутитися в процес управління. Координатор використовується для жорсткого скоординованого контролю на головній вулиці за заздалегідь розрахованим планом.
2. Контрольно-обчислювальний комплекс (КОБ) відповідає за отримання інформації, отриманої від периферійного обладнання,

обробку цієї інформації та розрахунок планів координації, які реалізуються в АСУ-ДР нижнього рівня. Використання УОК дозволяє здійснювати адаптивне скоординоване управління транспортними потоками в режимі реального часу.

3. Для налагодження та роботи технічних засобів АСУ-ДР використовується комплект контрольно-діагностичної апаратури (КДА). Комплект КДА-Р призначений для моніторингу працездатності периферійного обладнання та, у разі несправностей, пошуку відповідних проблемних блоків. Він розміщений у мобільній лабораторії на базі фургона. Комплект КДА-УП відповідає за контроль справності обладнання блоку управління, а при виявленні несправностей - пошук несправного блоку.

Усі технічні засоби реалізовані з використанням цифрової техніки. Обмін інформацією між ЦУП та периферійним обладнанням відбувається за допомогою двійкових кодів через радіальні провідні канали зв'язку або радіозв'язку [9].

2.3 Вибір компонентів системи

Виходячи з розглянутих вище компонентів, окрім наявних СФО та інтегрованих до них ДК з можливістю віддаленого керування, до складу автоматизованої системи мають увійти компоненти для організації безпосередньо моніторингу та обчислення транспортного потоку і розбудову диспетчерського центру – ДТ з ПШР, ВПК, ТВП, ПКУ з УОК. Вибір саме вказаних категорій апаратно-технічних засобів дозволить оптимізувати параметри системи в цілому та забезпечити мінімально необхідний функціонал для можливості диспетчерського і автоматизованого управління.

Почнемо вибір обладнання з детектору транспорту, причому слід зауважити, що даний пристрій має в собі також поєднувати контроль швидкості

транспортних засобів. Така нагальна необхідність продиктована відносно високою інтенсивністю трафіку.

Детектори транспорту можна класифікувати за призначенням, принципом дії чутливого елемента і спеціалізації (вимірюваного ними параметра).

Детекторні системи за своїм функціональним призначенням можна класифікувати на наступні категорії:

1. Прохідні сповіщувачі: ці сповіщувачі випромінюють сигнали з нормованою тривалістю, коли транспортний засіб з'являється в зоні, що контролюється детектором.
2. Датчики присутності: ці датчики випромінюють сигнал протягом усього часу перебування транспортного засобу в зоні, контрольованій детектором.
3. Детектори стоп-лінії: ці детектори використовуються для визначення присутності транспортного засобу в зоні стоп-лінії.
4. Тактичні детектори: ці детектори використовуються для моніторингу та довгострокового планування режимів роботи адаптивних систем.
5. Стратегічні детектори: ці детектори призначені для коригування роботи контролерів дорожнього руху в реальному часі. Вони надають інформацію про параметри транспортного потоку, такі як наявність транспортних засобів, відстань між транспортними засобами та швидкість кожного транспортного засобу.

У кожному з призначень можливе використання детекторів тієї чи іншої технології детектування з існуючих на сьогодні та у різних поєднаннях.

За принципом дії виділяють декілька поколінь детекторів транспорту, які часто працюють паралельно в одній системі:

- детектори контактного типу – електромеханічні, пневматичні й п'єзоелектричні. Сигнал про появу автомобіля виникає від безпосереднього зіткнення його коліс із протяжним чутливим елементом, який розташовується на дорожньому полотні

перпендикулярно до руху. Детектори цієї групи дешеві й прості за конструкцією та монтажу, проте вимагають порушення дорожнього полотна та на сьогодні практично не використовуються;

- електромагнітні детектори – котушка з магнітним сердечником або індукційна петля закладаються під дорожнє покриття на деяку глибину. Автомобіль, що має певну металеву масу, реєструється завдяки викривленню магнітного поля або зміні індуктивності рамки у момент його проходження над чутливим елементом детектора;
- детектори випромінювання – фотоелектричні, ультразвукові, інфрачервоні, радарні та відеодетектори. Найбільше поширення одержали детектори останніх двох груп [8].

Перші два покоління детекторів транспорту для інсталяції вимагають проведення робіт на дорожньому полотні, і відповідно додаткових накладних витрат і погоджень, через втручання в структуру покриття ВДМ. Також дані типи детекційних систем здатні проводити лише облік транспортних засобів, причому виділити і якимось чином класифікувати автомобілі вони не зможуть, так само як і провести вимірювання швидкості і розподіл транспортних потоків після проїзду перехрестя.

Третє покоління включає в себе доволі широкий клас пристроїв, які можна монтувати над ВДМ без порушення цілісності асфальто-бетонного покриття. Здебільшого клас радарних детекторів являє собою напрямлену антену, що установлюється збоку від проїзної частини або над нею. Принцип дії радарного детектора заснована на ефекту Допплера. Детектор може фіксувати не лише факт проїзду автомобілем контрольованої зони, але і його швидкість. Розвиток мікроелектронної техніки призвів до появи відеодетекторів, чутливими елементами яких є відеокамера. Використання сучасних мікропроцесорів дозволяє за допомогою спеціального програмного забезпечення аналізувати отримане зображення: виділяти автомобілі, що

рухаються; визначати інтенсивність, швидкість та інші необхідні параметри транспортного потоку.

На сьогодні реалізації дорожніх транспортних систем (ДТ) використовують два або три різновиди датчиків, так звані "подвійні" та "потрійні" технології. Наприклад, в "потрійних" детекторах використовується мікрохвильовий радар для вимірювання швидкості, ультразвуковий датчик для оцінки розмірів та класифікації автомобілів за категоріями, а багатоканальний інфрачервоний датчик використовується для підрахунку автомобілів, визначення інтенсивності руху та зайнятості дорожнього покриття.

Сучасні інтелектуальні транспортні системи (ІТС) набувають популярності як ДТ. Концепція ІТС передбачає вимірювання в реальному часі характеристик транспортних потоків, таких як загальна кількість автомобілів, що проїхали протягом певного періоду часу, класифікація автомобілів за категоріями або іншими ознаками, середня швидкість руху по кожному напрямку і так далі. Отримана актуальна та якісна інформація про транспортні потоки дозволяє реалізувати гнучке регулювання руху з урахуванням реальної ситуації на дорозі, фіксувати та оперативно реагувати на дорожньо-транспортні пригоди, розраховувати навантаження на дорожнє покриття і його зношування, планувати розташування парковок і розв'язок транспортних заторів та багато іншого [8].

На сьогоднішній день в Україні є кілька виробників обладнання АСУ-ДР, зокрема це компанія СЕА, Ком-Кон та Росток-Елеком. Кожна з компаній має досить широкий спектр обладнання, але дорожні контролери на базі камер відеоспостереження виготовляють тільки Ком-Кон та Росток-Елеком. Порівнюючі продуктову лінійку цих двох виробників, було виявлено що продукція Ком-Кон дозволяє проводити контроль до 4-х смуг руху на відміну від конкурента, камера якого може контролювати тільки одну смугу. Виходячи з проведеного порівняння доцільно обрати модель CITILOG XCam – P/NG виробника Ком-Кон.

CITILOG XCam-P/NG є відеодетектором, розробленим компанією CITILOG. Цей пристрій використовується для виявлення транспортних подій і збору даних про транспортний потік на дорозі.

Основна функція CITILOG XCam-P/NG – це аналіз відеозображень для виявлення різних типів подій на дорозі. Він використовує комп'ютерний зор для автоматичного спостереження за дорожнім рухом і аналізу рухомих об'єктів. Деякі з його можливостей включають:

1. Виявлення транспортних потоків: CITILOG XCam-P/NG може розрізняти та підраховувати різні види транспортних засобів, такі як автомобілі, велосипеди, мотоцикли, пішоходи тощо.
2. Виявлення перешкод: Система може виявляти перешкоди на дорозі, такі як затори, аварії, вантажівки з недостатнім простором маневрування та інші подібні ситуації.
3. Моніторинг швидкості: CITILOG XCam-P/NG може вимірювати швидкість руху транспортних засобів і відстежувати випадки перевищення швидкості.
4. Виявлення витоків: Цей відеодетектор може виявляти витoki транспортних рухомих засобів, такі як велика кількість автомобілів, що виїжджають з певної зони.

CITILOG XCam-P/NG допомагає операторам дорожнього руху та місцевим органам управління транспортом збирати дані, аналізувати транспортний потік і приймати ефективні рішення щодо управління дорожнім рухом та безпеки на дорогах.. В таблиці 2.2 наведені основні характеристики обраного виду детектора [11].

Крім камери потрібен додатковий ПШР. Для вибору обладнання також можна звернутись до каталогу товарів «Ком-Кон», де є прила – радар-детектор – один з найсучасніших видів детекторів транспорту. Цей прилад дозволяє визначати положення, швидкість і тип транспортних засобів, має великий радіус дії (до 160 м), може контролювати рух більш ніж у 4 смугах руху одночасно, незалежно від напрямку руху. Залежно від налаштувань та

інтерфейсу підключення може надавати як інформацію про віртуальні петлі, так і повну інформацію про кожен супутній об'єкт (швидкість і напрямок руху, габарити транспортного засобу). Крім того, є можливість візуалізувати дорожню обстановку в реальному часі, в тому числі з накладанням на відео, отримане з камер сімейства CITILOG XCam. В табл. 2.3 наведені основні характеристики пристрою.

Таблиця 2.2 – Характеристики CITILOG XCam- P/NG

Найменування параметра	Значення
Тип матриці	CMOS HDR 1/2,7" – COLOR
Фокусна відстань	3,5мм + x1,5/x3 збільшення
Роздільна здатність матриці	WXGA (1280×800)
Система обробки	ЦОС процесор, 256 Мб пам'яті
Споживана потужність	не більш 3,2 Вт
Напруга живлення	12/24 В
Інтерфейси	RS-485, Ethernet
Робоча температура	-34 .. +74°
Клас захисту	IP67
Вага з кріпленням	600 г
Габарити без кріплення	132 x 254 x 124 мм

Таблиця 2.3 – Характеристики пристрою «Радарний детектор»

Найменування параметра	Значення
Дальність виявлення легкової машини	не менш 90 м. (160 м.)
Інтервал кутів напрямку за азимутом	-35 .. +35° (-18 .. +18°)
Інтервал кутів піднесення	-8 .. +8° (-6 .. +6°)
Габарити без кріплення	95x85x31 мм (110x99x31 мм)
Вага	295 г. (330 г.)
Похибка виміру	2,5%
Діапазон виміру швидкості	0,36 .. 300 км/г
Робоча температура	-34 .. +75°
Клас захисту	IP67
Напруга живлення	7 .. 32 В
Споживана потужність	3,7 Вт

Поєднання CITILOG XCam і радар-детектора дозволить скласти повну картину транспортного потоку, оцінити якість і швидкість композиції, провести відповідну аналітику.

Також важливою складовою системи автоматичного керування регульованими перехрестями є ТВП, яка в номенклатурі виробників Ком-Кон має назву КОМКОН КВП, яка призначена для включення пішохідної фази на світлофорному об'єкті під керуванням регулювальник. Основні характеристики:

- пристрій комутує низковольтні сигнали (5, 12, 24В);
- підтвердження натиснення на кнопку горінням світлодіода;
- вандалозахисне виконання корпусу із сталі 1,5 мм;
- маркування виводів: червоний -«плюс», синій -«мінус»;
- передбачений захист від сигналів зворотної полярності;
- ступінь захисту оболонки – IP54;
- робочий діапазон температур від -40 °С до +85 °С.

По суті, ВПК може бути реалізований на базі інтегрованого в СФО ДК, який має можливість оперативно змінювати деякі параметри за допомогою втручання віддаленого диспетчера або, наприклад, патрульного поліцейського. Також потрібен ДК для можливості передачі даних з ДТ, ТВП, ВПК на ПКУ з УОК. Інтегрований ДК в СФО не може використовуватися з попередньо вибраними компонентами через те, що виробники даного обладнання є різними вендорами (СЕА і Ком-Кон відповідно), вони використовують у своїх продуктах фірмові протоколи інтерфейсу.

На наступному кроці для повної картини реалізації АСУ-ДР 1-3 та АСУ-ДР 2-3 є крок обрання відповідного ДК зі списку обладнання Com-Con. В якості такого контролера ми вибираємо продукт – контролер Моноблок КОМКОН КДК-16-05, який призначений для управління світлофорними об'єктами малого та середнього розміру. Конструкція контролера моноблока відрізняється тим, що все електронне обладнання пристрою встановлено на єдиному шасі. При цьому контролер зберігає всі технічні характеристики та можливості контролерів серії КДК, включаючи можливість роботи в складі АСКДР. Основні характеристики вказані в табл. 2.4

Таблиця 2.4 – Характеристики пристрою КОМКОН КДК-16-05

Найменування параметра	Значення
Напруга живлення	150 – 240 В
Частота напруги живлення	50 Гц
Споживана потужність	не більш 10 Вт
Максимальний струм навантаження на 1 канал	3 А
Мінімальна потужність навантаження на 1 канал	4 Вт
Кількість вихідних каналів управління	до 16
Кількість регульованих фаз руху	до 16
Кількість КВП*, що підключаються	2
Вага контролера	Не більш 20 кг
Габаритні розміри контролера	840x400x350 мм
Група захисту	IP 54
Діапазон робочих температур	-40 .. +60°C

Реалізація ПКУ (пункту контролю управління) та УОК (управління об'єктами контролю) в першу чергу залежить від програмного забезпечення та апаратного складу комп'ютерної техніки, на яких можна встановити відповідне програмне забезпечення. Наразі не доцільно обирати комп'ютерну техніку та засоби візуалізації мнемосхем, а зосередитись на виборі програмного забезпечення.

На ринку програмного забезпечення є три основних вендорів: СЕА, Ком-Кон та Росток-Елеком. Кожен з них використовує власні протоколи для взаємодії зі своїм обладнанням, але також має відкриті і загальнодоступні протоколи. Варто зазначити, що деякі програмні продукти дозволяють використовувати сторонні алгоритми, що розширює можливості диспетчерів і робить систему більш гнучкою та адаптивною.

Порівнюючи продукти трьох вендорів на українському ринку, можна зробити висновок, що найбільш широкі та гнучкі можливості щодо підтримки пропрієтарних протоколів інших виробників, а також можливість імплементації власних алгоритмів та окремих частин програмного забезпечення, має продукт Ком-Кон - Автоматизована система керування дорожнім рухом КОМКОН АСКДР. Вона є сучасним інструментом для контролю і управління світлофорною мережею міста.

КОМКОН АСКДР побудовано за принципом використання системи модульності, що дозволяє налаштовувати систему під потреби великих і малих міст, розширювати функціональність у міру необхідності, при цьому надзвичайно висока надійність системи залишається незмінною.

Система КОМКОН АСКДР дозволяє:

- диспетчерське, узгоджене та адаптивне управління як окремими світлофором, так і цілими групами;
- системний контроль стану обладнання світлофорних об'єктів, режимів їх роботи, вияв можливих поломок, аварійних ситуацій з побудовою циклограми режимі реального часу;
- збір та аналіз даних детекторів руху з формуванням на їх основі рекомендацій щодо зміни організації руху світлофорів;
- відображення потоків з відеокамер на об'єктах;
- візуалізація системних даних зі зручним і зрозумілим інтерфейсом, з можливістю тонкого налаштування відповідно до побажань конкретного користувача.

Система може використовувати різні добові програми, які можуть відрізнятися від тих, що записані локально в контролері. Кількість таких програм не є обмеженою. Імітація роботи контролера дозволяє відображати циклограму та схему перехрестя, що візуально дозволяє оцінити правильність виконання завдань добової програми. На рис. 2.2 показано приклад мнемосхеми диспетчерського пульта.

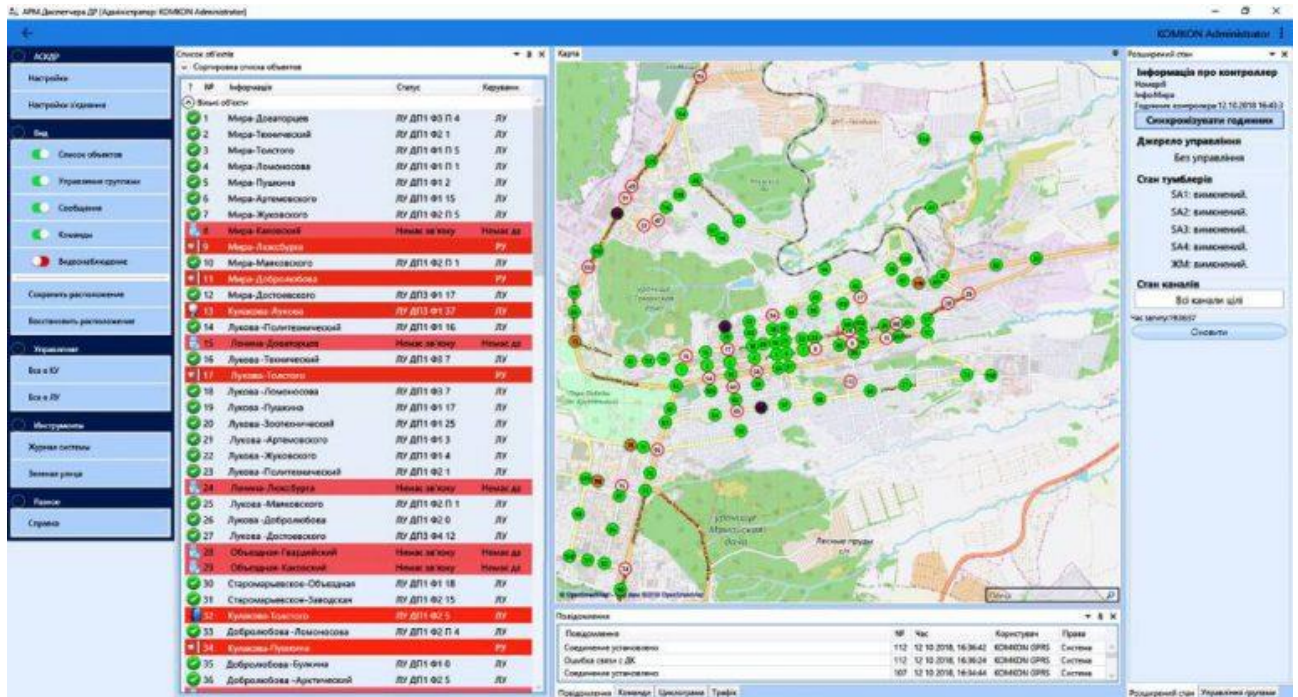


Рисунок 2.2 – Мнемосхема диспетчерського пульта

Координація дій виконується згідно з планами, які покладені в основу спільного управління. Не існує обмежень щодо кількості програм та їх перемикачів. Диспетчерське керування дозволяє швидко регулювати робочий режим дорожнього контролера і переводити його в спеціальні режими. Запроваджена інноваційна можливість "зеленої вулиці". Диспетчер може організовувати проїзд спеціального транспорту за заздалегідь підготовленими маршрутами, в яких зазначена послідовність об'єктів на шляху і включена фаза на час проїзду. Контроль несправностей забезпечує інформацію про можливі внутрішні поломки дорожнього контролера (неполадки у схемі контролю напруги, годинникових батарей, внутрішньої магістралі тощо), а також про проблеми з зовнішніми пристроями: перегорання ламп (у будь-яких каналах, не обмежуючись червоними), відмовки каналів, конфлікти напрямків, застрягання кнопок виклику пішохідних фаз. Об'єкти на карті символізуються векторними позначками міста, а кольорова сигналізація передає 18 унікальних станів кожного об'єкта. Карта також може змінювати масштаби. Автоматизована система контролю та диспетчеризації дорожнього руху дозволяє відображати

стан об'єктів на мнемосхемі, надаючи ще більшу унікальність та зручність в управлінні.

Види зв'язку:

- радіо;
- двохпровідні лінії;
- GPRS
- IP-мережі (вита пара, оптоволокно, WiFi, WiMax).

Протоколи роботи з дорожніми контролерами:

- КОМКОН;
- РОСТОК-Елеком;
- СЕА;
- СТАРТ.

Використання системи КОМКОН АСКДР пропонує набір функцій для розширення масштабу системи та можливість впровадження власних алгоритмів управління та диспетчеризації [11].

На рис. 2.3 представлена схема підключення об'єкту проектування з відповідними протоколами зв'язку, використовуючи ієрархічну структуру, що базується на підсистемах АСУ-ДР 1-3, АСУ-ДР 2-3 та АСУ-ДР 3. Ця схема візуально демонструє компонування технічних засобів, засобів зв'язку та програмного забезпечення відповідно до обраної ієрархічної побудови системи, яка описана в таб. 2.1.

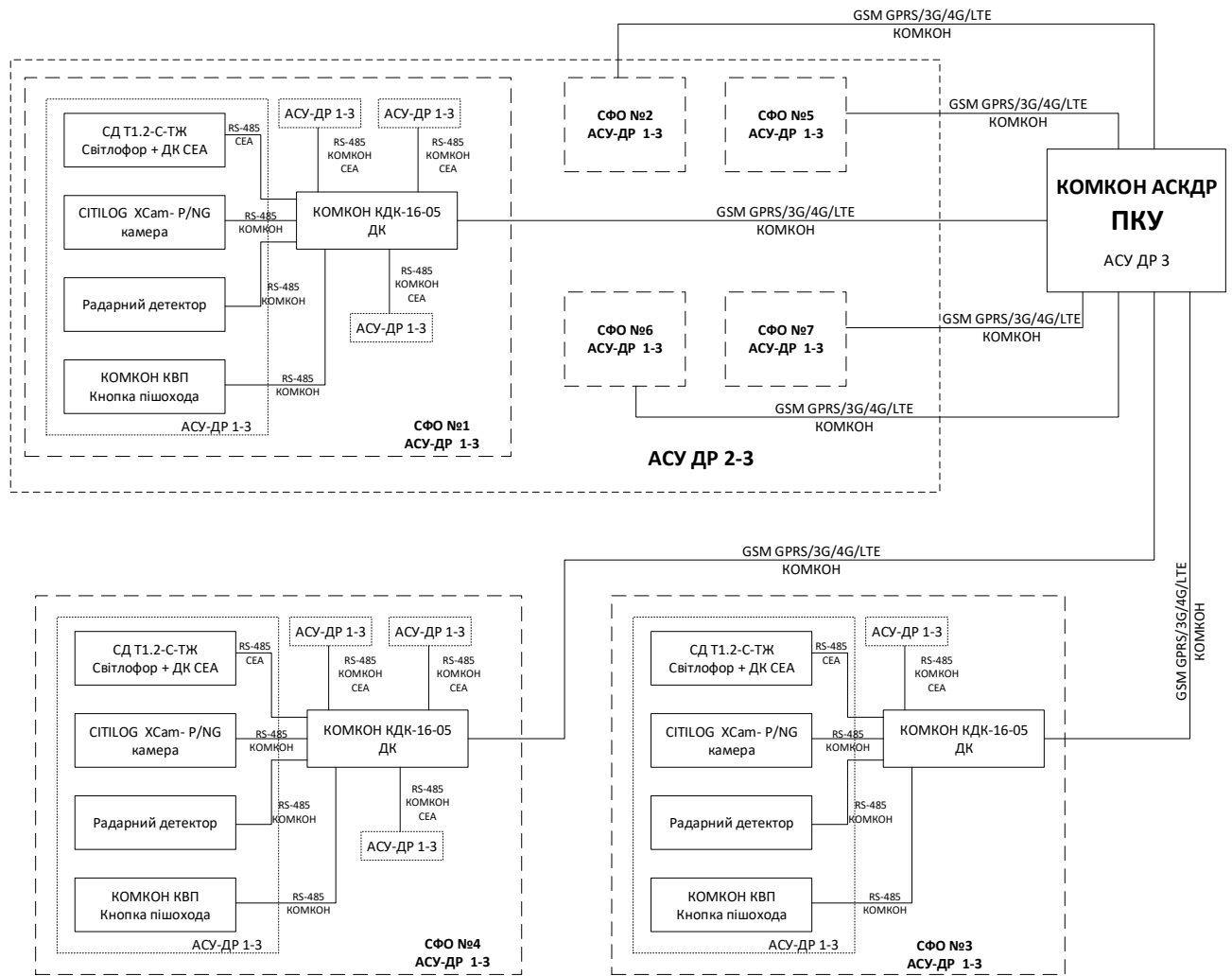


Рисунок 2.3 – Схема включення обладнання

Система складається з двадцяти шести станційно-функціональних об'єктів (СФО), які побудовані на основі автоматизованої системи управління дистанційного руху поїздів (АСУ ДР 1-3). Вони об'єднані в єдину систему диспетчеризації за допомогою семи контролерів КОМКОН КДК-16-05, розділені на три відокремлені підсистеми. Ці підсистеми включають дві окремі СФО №4 АСУ ДР 1-3, СФО №3 АСУ ДР 1-3 і одну АСУ ДР 2-3, що включає СФО №1, СФО №2, СФО №5, СФО №6, СФО №7.

Підключення обладнання КОМКОН до АСУ ДР 1-3 виконане через інтерфейс RS-485 за власним протоколом КОМКОН. Підключення обладнання СЕА (СДТ1.2-С-ТЖ + ДК) також виконане через інтерфейс RS-485, але за протоколом СЕА.

Об'єднання в АСУ ДР 2-3 та АСУ ДР 3 та підключення відокремлених СФО АСУ ДР 1-3 здійснюються за допомогою мобільного зв'язку, зокрема за допомогою технологій передачі даних GPRS/3G/4G/LTE з використанням протоколу КОМКОН.

Організація персонального комп'ютера управління (ПКУ) базується на використанні наявного периферійного комп'ютерного обладнання з встановленим програмним забезпеченням КОМКОН АСКДР.

Кількісний склад обладнання, з урахуванням наявного та необхідного програмного забезпечення, наведений у таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Кількісний склад обладнання та ПЗ для реалізації АСУ ДР

Найменування	Кількість	Наявність	Опис
СД Т1.2-С-ТЖ + ДК	26	наявне	Світлофор + ДК СЕА
СІТІLOG XCam-P/NG	26	нове	камера
Радарний детектор КОМКОН	26	нове	Радарний детектор
КОМКОН КВП	26	нове	Кнопка пішохода
КОМКОН КДК-16-05	7	нове	дорожній контролер
КОМКОН АСКДР	1	нове	програмне забезпечення ПКУ

Висновки до розділу 2

У другому розділі досліджувальної роботи було проведено аналіз необхідних засобів, які потрібні для створення автоматизованої системи управління СФО (системою функціонального освітлення) у місті Покровськ. З переліку доступного обладнання будуть використовуватись світлофори СД Т1.2-С-ТЖ з дорожніми контролерами СЕА, а також периферійне комп'ютерне обладнання. Система буде реалізована за трьохрівневою ієрархічною схемою ААСУ ДР (автоматизованої адаптивної системи управління дорожнім рухом). Розподіл та інкапсуляція рівнів відбувається відповідно до наявної ВДМ (вулично-дорожньої мережі) та розподілу трафіку транспортних потоків. Для

доповнення обладнання був обраний постачальник КомКон. З переліку їхньої продукції будуть використовуватись дорожні контролери КОМКОН КДК 16-05, камери спостереження і аналізу СІТІLOG XCam-P/NG, радарні детектори КОМКОН, пішохідні кнопки КОМКОН КВП, а також програмне забезпечення КОМКОН АСКДР для керування системою. Була розроблена схема підключення обладнання, використовуючи інтерфейси RS-485, GSM GPRS/3G/4G/LTE згідно з протоколами КОМКОН та СЕА.

3. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ

3.1 Опис роботи програмного комплексу КОМКОН АСКДР

Загалом вже існують системи, які здатні контролювати транспортні потоки у режимі реального часу. Однак, на основі результатів попереднього дослідження, для базової системи Автоматизованої Системи Управління Дорожнім Рухом (АСУ ДР) була вибрана система КОМКОН. Ця система має можливість додавати власні алгоритми для управління світлофорами. Обрана система включає контролер, відеокамеру для відеоспостереження та детектор транспорту. Прийняття рішень може здійснюватись як централізовано, так і децентралізовано. Децентралізоване управління окремими перехрестями дозволяє краще реагувати на місцеві умови руху в реальному часі. Система може працювати в режимі реального часу та керувати тривалістю фаз сигналів світлофорів або мережі світлофорів за допомогою адаптивних алгоритмів. Цей підхід базується на автоматичному виборі плану з бібліотеки, яка містить дані про наявність автомобілів та пішоходів.

Для проведення дослідження розробленої системи з метою поліпшення роботи світлофорів у місті Покровськ, необхідно здійснити імітаційне моделювання. Експериментування з реальним світлофором є неможливим, а аналіз даних є складним завданням. Для вирішення цієї проблеми може використовуватись імітаційне моделювання, зокрема з використанням клітинних автоматів. Розглянемо класичний метод регулювання світлофорів, який використовується в даний час, а також адаптивний алгоритм..

3.2 Клітинні автомати для моделювання транспортних потоків

Багато досліджень присвячено моделюванню транспортних потоків за допомогою клітинних автоматів. Перші клітинні автомати для моделювання доріг були використані в роботах [12], де було розглянуто моделювання однієї дорожньої лінії (машини рухалися в одному напрямку). В НШ-моделі, дорога розділяється на клітини, тобто L . Кожна клітина має довжину 7,5 метра і може містити автомобіль або залишатися порожньою. $x_i(t)$, $v_i(t)$ позначають положення та швидкість i -го автомобіля в часі t відповідно. Швидкість приймає цілі значення в діапазоні від 0 до v_{max} , де v_{max} – максимальна швидкість автомобіля. $d_i(t)$ позначає відстань між автомобілями i та $i+1$. Ця модель складається з 4 правил:

1. Прискорення. Якщо $v_i < v_{max}$, то швидкість i -го автомобіля збільшується на одиницю; якщо $v_i = v_{max}$, то швидкість не змінюється:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, v_{max}) \quad (3.1)$$

2. Гальмування – якщо перед i -м автомобілем перебуває перешкода, то швидкість дорівнює відстані до перешкоди:

$$v_i(t + 1) = \min(v_i(t) + 1, d_i(t)) \quad (3.2)$$

3. Випадкові обурення – існує ймовірність p , коли швидкість автомобіля зменшується на одиницю:

$$\text{if } e(t) < p \text{ then } v_i(t + 1) = \max(v_i(t + 1) - 1, 0) \quad (3.3)$$

4. Рух автомобілів – зміна становища автомобіля на полі КА відповідно до знову обчисленої швидкості:

$$x_i(t + 1) = v_i(t + 1) + x_i(t) \quad (3.4)$$

Ця модель описує рух транспортного потоку в одному напрямку. Щоб перевірити правильність роботи алгоритму і його подальше вдосконалення, необхідно створити модель перехрестя зі змішаним рухом транспорту, де є дві смуги.

3.3 Розробка моделі транспортного потоку перехрестя з СФО на базі КА

Виокремлення клітинних автоматів передбачає наявність матриці або масиву станів, як я вже зазначав раніше. Зміна станів відбувається одночасно. Для моделювання перехрестя та руху автомобілів також використовуються додаткові матриці, які описують напрямки руху та переміщення, які можна розв'язати.

3.3.1 Розробка матриці станів

На першому етапі визначаємо положення різних елементів на матриці станів, таких як машини, дорога, світлофор, а також визначимо елемент, який не належить до дорожньої мережі, це буде звичайна стіна. На рис. 3.1 (а) показана сітка станів, де відображені різні елементи: стіна (wall), дорога (road), машини (car), світлофор (traffic light).

На другому етапі визначаємо матрицю напрямків (рис. 3.1 (б)). Ця матриця вказує, в якому напрямку будуть рухатись машини. Перше число в кожному елементі масиву відповідає вертикальному переміщенню, а друге число – горизонтальному переміщенню. Значення, які є позитивними у горизонтальній складовій, вказують рух вправо, а позитивні значення у вертикальній складовій

означають рух вниз. Негативні значення відповідають протилежним напрямкам.

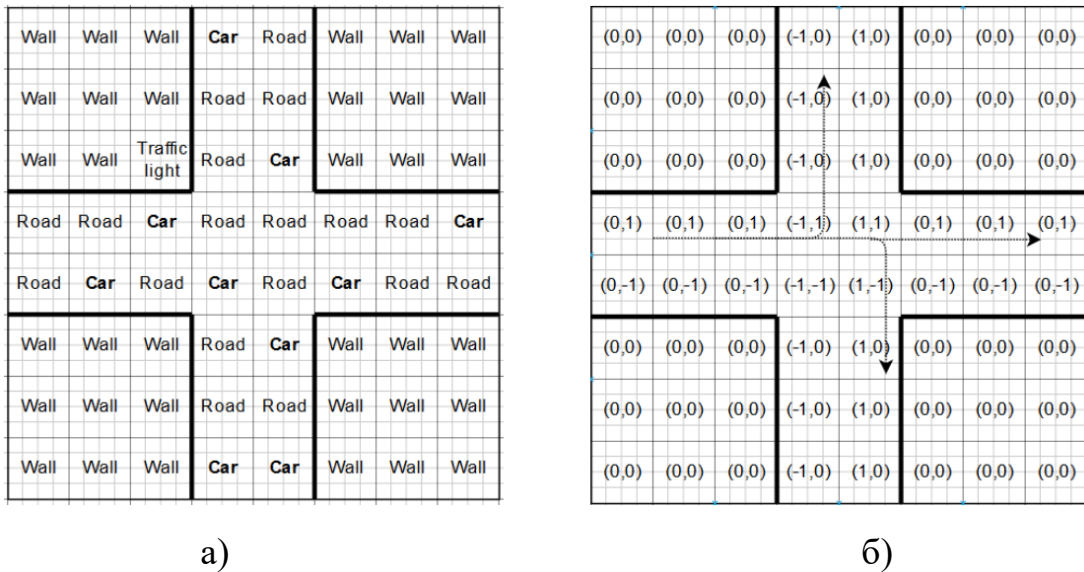


Рисунок 3.1 – Матриця станів (а), матриця напрямків (б)

Матриця допустимих переміщень визначає, які рухи є дозволеними в залежності від стану світлофора (рис. 3.2). Наприклад, коли горить зелений сигнал, дозволене лише горизонтальне переміщення (0,1), під час червоного сигналу можна рухатися лише вертикально (1,0), а жовтий сигнал призводить до того, що всі рухи в масиві дозволених переміщень в межах перехрестя стають недоступними (0,0), тобто рух всередині перехрестя заборонений.

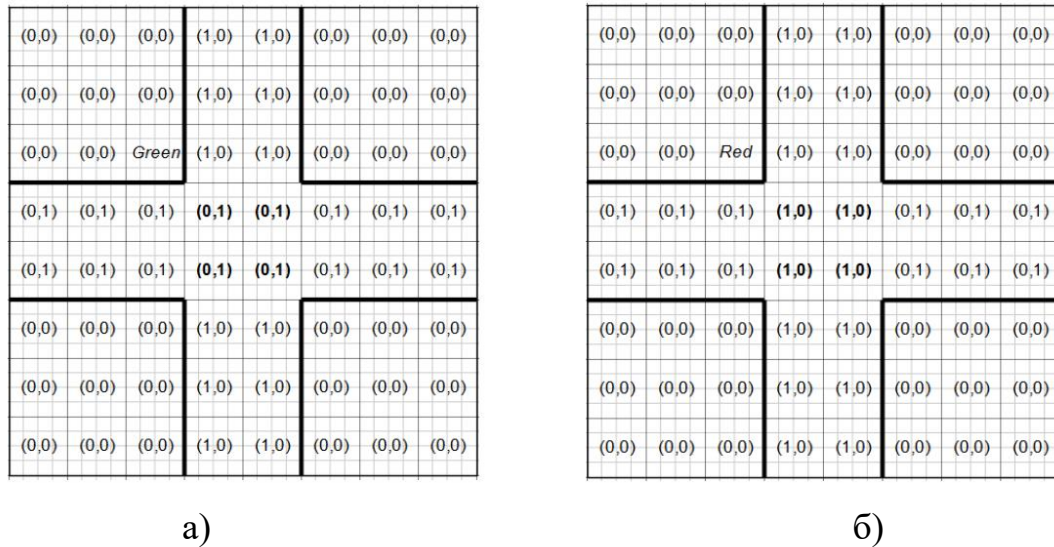


Рисунок 3.2 – Матриця переміщень зелений (а), для червоний (б) режими роботи світлофора

На рисунку 3.3 видно осередки, які містять автомобілі, і в цих осередках ми надаємо швидкості, залежні від напрямку руху. Швидкість визначається кількістю клітин, на які автомобіль може переміститися у вертикальному та горизонтальному напрямках. У тих осередках, де немає автомобілів, швидкості відсутні. У додатку А наведені відповідні алгоритми для ініціалізації та заповнення цих матриць.

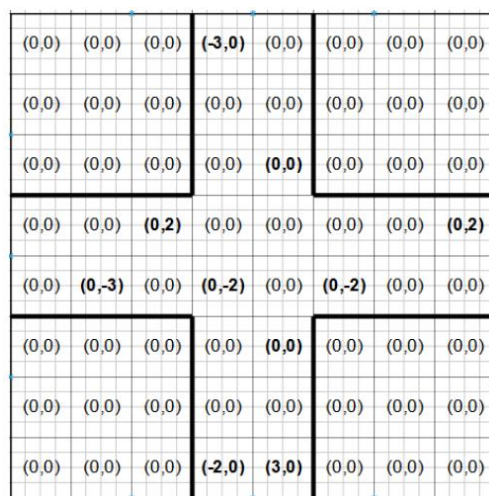


Рисунок 3.3 – Матриця швидкостей

3.3.2 Алгоритм руху та знаходження відстані до перешкоди

Пошук перешкод відбувається шляхом перегляду осередків вздовж напрямку руху. Якщо рух по дорозі заборонено або зустрічається перехрестя, то вони вважаються перешкодами. Для визначення перехрестя перевіряється матриця розв'язуваних переміщень вздовж горизонтального та вертикального напрямків. Якщо значення відповідних компонент матриці дорівнює (1,0), (0,0), (0,1) або (0,0) відповідно, то є перехрестям.

Кількість клітин обмежена, тому масив не може містити нескінченну кількість осередків. Якщо перешкод немає, то відстань вважається нескінченною і має максимальне ціле значення типу Integer. В такому випадку автомобіль рухається з максимальною заданою швидкістю.

Рух автомобілів базується на правилах моделі НШ. Автомобілі переміщуються в межах матриці станів, змінюючи координати. Швидкість визначається відповідно до правил НШ: автомобіль прискорюється до максимальної швидкості, якщо немає перешкод у напрямку руху; автомобіль гальмує до відстані до наступної перешкоди, якщо його поточна швидкість більша за цю відстань.

При переміщенні автомобіля новий стан записується в окрему матрицю станів, щоб забезпечити одночасність переходів і зберегти попередні стани.

3.4 Модель класичного режиму роботи світлофора

Для прикладу розглянемо класичний алгоритм функціонування світлофора, який оперує за допомогою постійних інтервалів часу для перемикання між різними станами.

Сам світлофор має чотири унікальні стани: ЧЕРВОНЕ світло (RED), ПЕРЕХІД ВІД ЧЕРВОНОГО ДО ЗЕЛЕНОГО (RED_TO_GREEN), ЗЕЛЕНЕ

світло (GREEN) і ПЕРЕХІД ВІД ЗЕЛЕНОГО ДО ЧЕРВОНОГО (GREEN_TO_RED). На рис. 3.4 показана схема переходів між цими станами.

Під час ЧЕРВОНОГО світла дозволений лише вертикальний рух, під час ЗЕЛЕНОГО – лише горизонтальний рух. Стани ПЕРЕХІД ВІД ЗЕЛЕНОГО ДО ЧЕРВОНОГО і ПЕРЕХІД ВІД ЧЕРВОНОГО ДО ЗЕЛЕНОГО відповідають жовтому кольору світлофора і необхідні для переключення від ЧЕРВОНОГО до ЗЕЛЕНОГО або від ЗЕЛЕНОГО до ЧЕРВОНОГО відповідно. Переходи між станами відбуваються у вказаній послідовності.

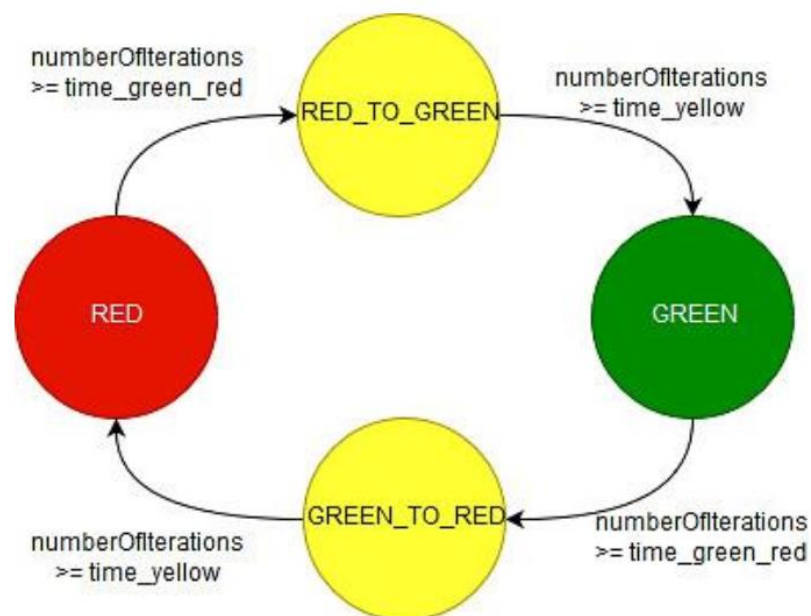


Рисунок 3.4 – Переходи

Розрахунок часу використовується змінна цілочисельного типу для визначення числа ітерацій, яке відповідає кількості оновлень станів матриці. Кожного разу, коли матриця оновлюється, значення змінної часу збільшується на одиницю (інкрементується).

Для відліку тривалості роботи червоного, зеленого та жовтого світлофора використовуються змінні `time_green_red` і `time_yellow`. Наприклад, коли світлофор перебуває в стані RED і значення матриці розв'язуваних переміщень становить (0,1) всередині перехрестя, якщо кількість ітерацій

(numberOfIterations) перевищує тривалість роботи червоного світлофора (time_green_red), світлофор має перейти в стан RED_TO_GREEN. При цьому значення змінної numberOfIterations обнуляється, а значення матриці розв'язуваних переміщень всередині перехрестя стають рівними (0,0). Тривалість перебування у цьому стані визначається значенням time_yellow.

Після досягнення numberOfIterations значення time_yellow, змінна numberOfIterations знову обнуляється, і світлофор переходить в стан GREEN. У цьому стані значення матриці розв'язуваних переміщень становить (1,0) всередині перехрестя. Якщо numberOfIterations перевищує тривалість роботи зеленого світлофора (time_green_red), світлофор переходить в стан GREEN_TO_RED. Значення змінної numberOfIterations знову обнуляється, а значення матриці розв'язуваних переміщень всередині перехрестя стають рівними (0,0). Час перебування у цьому стані визначається значенням time_yellow. Після цього світлофор повертається до стану RED, і цикл повторюється. Класичний алгоритм перемикання станів світлофора представлений у додатку Б.

3.5 Реалізація адаптивного алгоритму роботи СФО

Вище було розглянуто загальний режим роботи об'єкту управління. Тепер проаналізуємо адаптивний алгоритм керування режимом роботи об'єктом управління, який залежить від декількох важливих параметрів. Цей алгоритм враховує кількість автомобілів, що прямують до перехрестя, а також їх відстань до нього. У додатку Б також представлена схема даного алгоритму.

Конкретні кроки роботи алгоритму подано нижче.

На кожній ітерації клітинного автомата обчислюються значення наступних функцій для вертикального та горизонтального напрямків:

$$f_V(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{V_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.5)$$

$$f_H(t) = \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{0i}}(t)} \right)^p + \sum_i \left(\frac{1}{\text{distance}_{H_{1i}}(t)} \right)^p, \quad (3.7)$$

За введеними величинами:

- *дистанція* $V_{0i}(t)$ представляє собою відстань від перехрестя до першої смуги дороги для автомобіля номер i , який рухається в напрямку перехрестя по вертикальній осі;
- *дистанція* $V_{1i}(t)$ представляє собою відстань від перехрестя до другої смуги дороги для автомобіля номер i , який рухається в напрямку перехрестя по вертикальній осі;
- *дистанція* $H_{0i}(t)$ представляє собою відстань від перехрестя до першої смуги дороги для автомобіля номер i , який рухається в напрямку перехрестя по горизонтальній осі;
- *дистанція* $H_{1i}(t)$ представляє собою відстань від перехрестя до другої смуги дороги для автомобіля номер i , який рухається в напрямку перехрестя по горизонтальній осі;
- $p > 0$ є статичний параметр.

2. Далі вираховується складова відношення функцій, щоб відбувалося перемикання об'єкту керування, що залежить від даного стану об'єкта. Маємо, що:

а) Якщо світлофор має червоний сигнал та співвідношення функцій $f_H(t) / f_V(t)$ є більшим за k , відбувається перехід до стану "Червоний-зелений" (RED_TO_GREEN), де k - інерційний параметр.

б) Якщо світлофор має зелений сигнал та співвідношення функцій $f_V(t) / f_H(t)$ є більшим за k , відбувається перехід до стану "Зелений-червоний" (GREEN_TO_RED), де k - інерційний параметр.

с) Якщо світлофор перебуває у стані "Червоний-зелений" (RED_TO_GREEN), обробка станів відбувається так само, як описано у розділі 3.2: після того, як кількість ітерацій (numberOfIterations) перевищує тривалість

цього стану, що визначається змінною `time_yellow`, світлофор перемикається у стан "Зелений" (GREEN).

d) Якщо світлофор перебуває у стані "Зелений-червоний" (GREEN_TO_RED), обробка станів відбувається так само, відтоді я кількість ітерацій (`numberOfIterations`) перевищує тривалість цього стану, що визначається змінною `time_yellow`, світлофор перемикається у стан "Червоний" (RED).

На рис. 3.5 показано схему переходів між станами згідно описаному вище алгоритму.

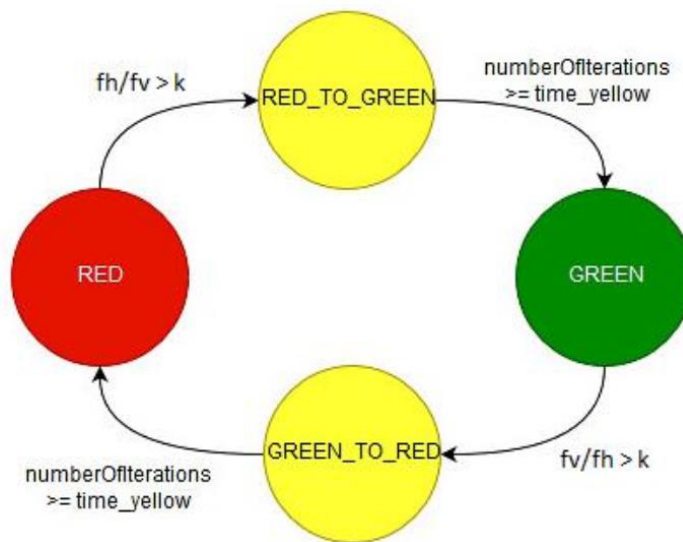


Рисунок 3.4 – Схема переходів

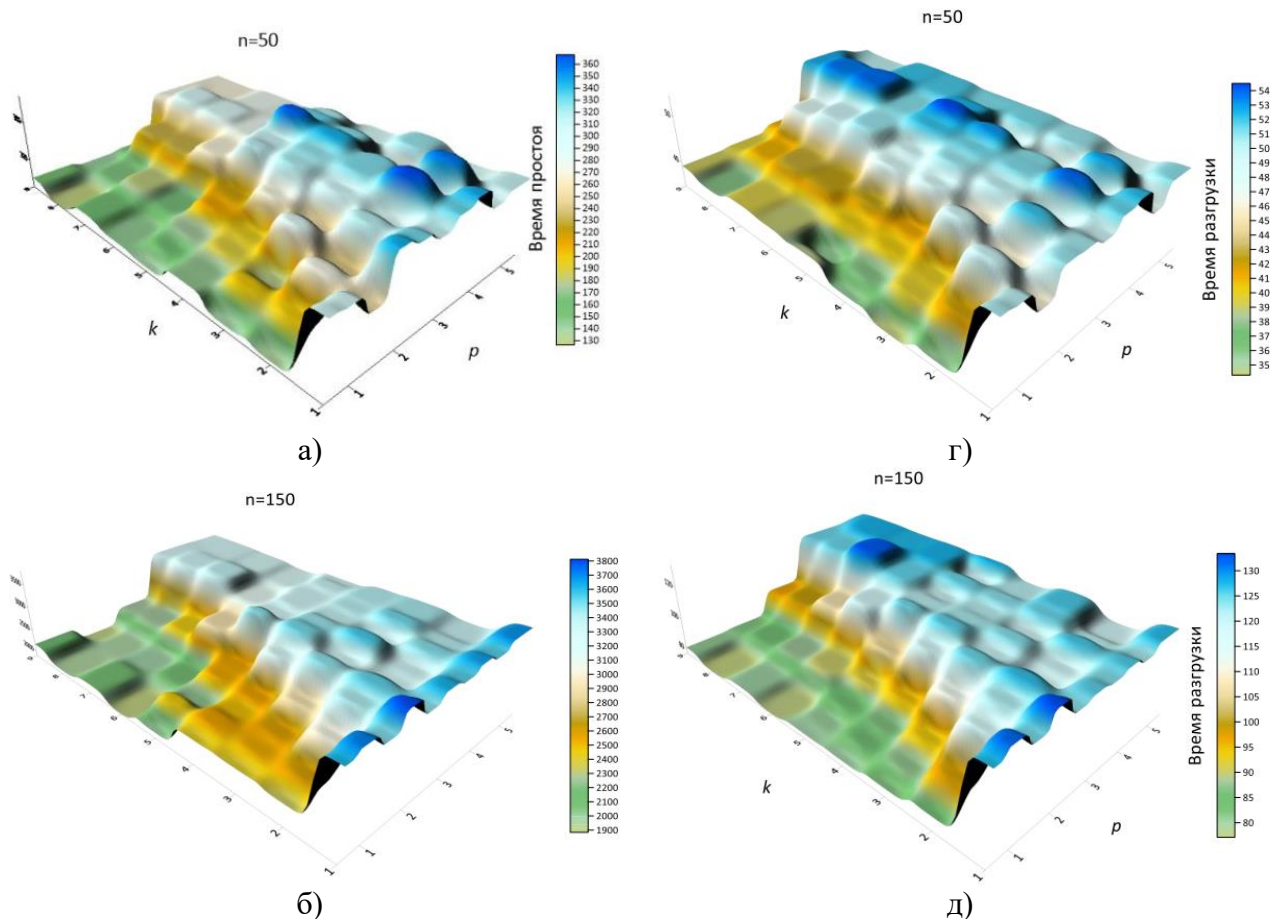
Запропонований алгоритм використовує два налаштування, які можна вибрати на розсуд: ступінь p і коефіцієнт k . Вибір цих параметрів впливає на час, необхідний для розвантаження перехрестя, а також на час, протягом якого автомобілі перебувають у стані бездіяльності. Далі, для даного транспортного потоку, було вирішено виконати багатокритеріальну оптимізацію з метою знаходження оптимальних значень цих параметрів.

В якості міри ефективності параметрів використовуються два критерії: час бездіяльності автомобілів (тобто час, коли вони не рухаються) і час, необхідний для розвантаження перехрестя (тобто час, за який всі автомобілі

виїжджають з перехрестя). Оптимізація полягає в мінімізації обох цих критеріїв.

Розроблена модель передбачає появу автомобілів у випадкових місцях дороги. Для більш точного аналізу було проведено 20 експериментів для кожної кількості автомобілів. В результаті обчислено середнє арифметичне значення часу бездіяльності та часу розвантаження.

Для візуалізації результатів дослідження можна переглянути побудовані графіки, що показують залежність часу бездіяльності (рис. 3.5) та часу розвантаження перехрестя від значень параметрів p і k для різної кількості автомобілів – n .



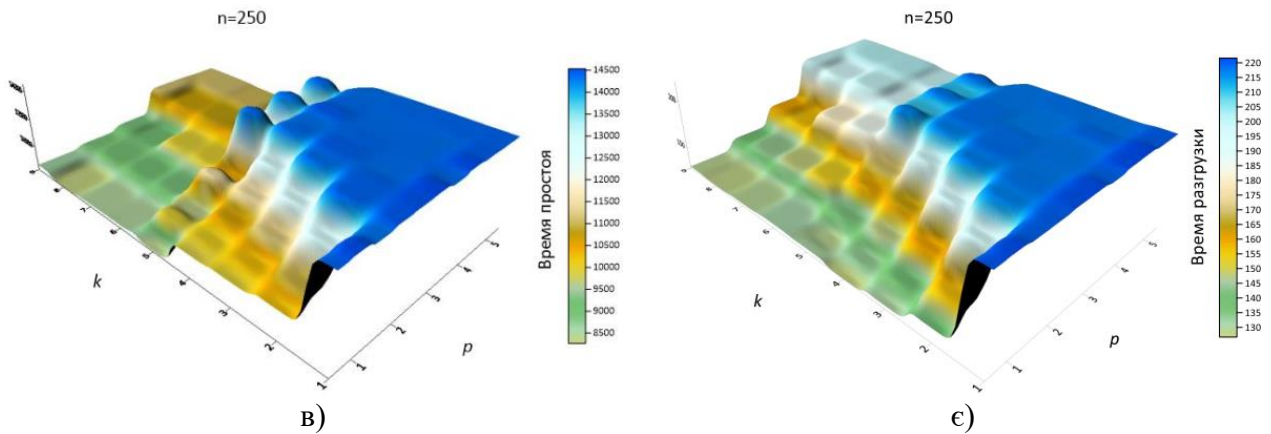


Рисунок 3.5 – Графіки залежності часу бездіяльності та часу розвантаження перехрестя

Після аналізу графіків можна зробити наступний узагальнений висновок: при значеннях статичних параметрів $p < 2$ та $k > 5$ спостерігається найменший час простою та час розвантаження. Далі, збільшення значення k не призводить до поліпшення результатів, оскільки час простою та час розвантаження залишаються практично на одному рівні.

3.6 Імітаційне моделювання

Для тестування класичної моделі та запропонованого алгоритму автоматичного регулювання світлофорів на перехрестях міста Покроськ була створена програма за допомогою мови Java та середовища розробки Processing 3 IDE.

Створена модель транспортних потоків може вміщувати до 252 автомобілів. В результаті дослідження було встановлено, що оптимальні значення параметрів знаходяться в наступних діапазонах: статичний від 0 до 2, інерційний більше 5.

Результати моделювання показують залежність середньо-арифметичного часу розвантаження та середньо-арифметичного часу очікування від початкової кількості автомобілів при використанні адаптивного алгоритму з різними

параметрами та класичного алгоритму управління світлофорами. З цих даних можна зробити висновок про ефективність розробленого алгоритму: зі збільшенням кількості автомобілів він працює ефективніше:

- при кількості автомобілів 100, час розвантаження перехрестя менший протягом 30 ітерацій, а час очікування менший протягом 300 ітерацій, ніж у класичного алгоритму;
- при кількості автомобілів 200, час розвантаження перехрестя менший протягом 40 ітерацій, а час очікування менший протягом 1600 ітерацій, ніж у класичного алгоритму.

Таб. 3.1 наводить порівняльні характеристики, де адаптивний алгоритм має параметри: $p = 0,5$ і $k = 5$.

Таблиця 3.1 – Порівняння результатів роботи класичного та адаптивного алгоритмів

	кількість автомобілів, шт.					
	50		150		250	
	час простою, с	час розв., с	час простою, с	час розв., с	час простою, с	час розв., с
класичний алгоритм	50,15	218,2	108,3	2819,7	12759,1	174,9
адаптивний алгоритм	36,8	155,7	77,9	2016,9	8354,8	129,9
дельта	13,3	62,5	30,4	802,8	4404,3	45

Можна зробити висновок, що даний алгоритм усуває перебування автомобілей на СФО у режимі очікування протягом довгого часу.

В третьому розділі було реалізовано та промодельовано алгоритм транспортних потоків на перехресті з використанням клітинних автоматів. Метою було розробити модель, яка б дозволяла адаптивно керувати світлофором відповідно до цієї моделі. Адаптивний алгоритм приймає рішення залежно від навантаження автомобілями на різних ділянках дороги (головною та перпендикулярною до неї). Для оцінки класичного та адаптивного алгоритмів була використана спроектована модель транспортних потоків.

Отже, розроблений адаптивний алгоритм здатний замінити класичний алгоритм управління світлофором і, зменшує загальний час необхідний розвантаження перехрестя і час простою проти класичним.

ВИСНОВКИ

Робота присвячена впровадженню автоматизованої системи управління дорожнім рухом (АСУ-ДР) для умов міста Покровськ. Метою даної роботи було зменшення часу перебування автомобілів на регульованих перехрестях міста Покровськ за рахунок розробки адаптивної системи управління світлофорними об'єктами.

У першому розділі випускної кваліфікаційної роботи бакалавра були визначені основні характеристики об'єкта, для якого розробляється система управління. Я провів докладний аналіз предметної галузі, включаючи узагальнену класифікацію систем і визначення ключових компонентів та показників, зокрема факторів, які суттєво впливають на процес управління дорожнім рухом. Я також проаналізував інтенсивність руху на основних магістралях міста Покровськ, де розташовані світлофорні об'єкти. Я визначив середній час перебування транзитного транспорту в місті і вивчив вплив світлофорних об'єктів на цей процес. Цей аналіз підтвердив необхідність проведення заходів з модернізації або розробки нової концептуальної системи управління дорожнім рухом з використанням наявних світлофорів.

У другому розділі досліджувальної роботи було проведено аналіз необхідних засобів, які потрібні для створення автоматизованої системи управління СФО (системою функціонального освітлення) у місті Покровськ. З переліку доступного обладнання будуть використовуватись світлофори СД Т1.2-С-ТЖ з дорожніми контролерами СЕА, а також периферійне комп'ютерне обладнання. Система буде реалізована за трьохрівневою ієрархічною схемою ААСУ ДР (автоматизованої адаптивної системи управління дорожнім рухом). Розподіл та інкапсуляція рівнів відбувається відповідно до наявної ВДМ (вулично-дорожньої мережі) та розподілу трафіку транспортних потоків. Для доповнення обладнання був обраний постачальник КомКон. З переліку їхньої продукції будуть використовуватись дорожні контролери КОМКОН КДК 16-05,

камери спостереження і аналізу CITILOG XCam-P/NG, радарні детектори КОМКОН, пішохідні кнопки КОМКОН КВП, а також програмне забезпечення КОМКОН АСКДР для керування системою. Була розроблена схема підключення обладнання, використовуючи інтерфейси RS-485, GSM GPRS/3G/4G/LTE згідно з протоколами КОМКОН та СЕА.

В третьому розділі було реалізовано та промодельовано алгоритм транспортних потоків на перехресті з використанням клітинних автоматів. Метою було розробити модель, яка б дозволяла адаптивно керувати світлофором відповідно до цієї моделі. Адаптивний алгоритм приймає рішення залежно від навантаження автомобілями на різних ділянках дороги (головною та перпендикулярною до неї). Для оцінки класичного та адаптивного алгоритмів була використана спроектована модель транспортних потоків.

Отже, розроблений адаптивний алгоритм здатний замінити класичний алгоритм управління світлофором і, зменшує загальний час необхідний розвантаження перехрестя і час простою проти класичним.

У ході виконаної роботи було побудовано модель транспортних потоків на основі клітинних, що описує двосторонній рух, регульований світлофором перехрестя, автоматів та застосований до нього розроблений адаптивний алгоритм керування світлофором.

Отримані результати роботи можуть бути використані для впровадження в реальних умовах.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Степанчук О.В. Методологічні основи підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст/ О.В. Степанчук // Проблеми міського середовища: Науково-практичний збірник / – К.: НАУ, 2011 – Вип. 6. – С. 230-236.
2. Степанчук О. В Ефективні методи розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі в сучасних умовах / О. В Степанчук // Вісник Інженерної академії України. – 2013. – Вип. 3-4. – С. 171-174.
3. Покровська міська військова адміністрація. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pokrovsk-rada.gov.ua/uk> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
4. Додаток No1 до Стратегії економічного розвитку міста Покровська Донецької області на період до 2030 року. Профіль міста Покровська Донецької області на період до 2030 року. Аналітично-описова частина до Стратегії розвитку міста. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://pokrovsk-rada.gov.ua/upload/editor/OMxn71jAO37URqm.pdf> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
5. Світлофор. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%B2%D1%96%D1%82%D0%BB%D0%BE%D1%84%D0%BE%D1%80> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
6. Світлофор світлодіодний СД Т1.2-С-ТЖ. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/svetofornaya-produkciya/transportnye-led-svetofory/svetofor-svetodiodnyj-sd-t12-s-tz/> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.
7. Лекція – 16. Тема: автоматизовані системи управління дорожнім рухом. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: https://msn.khmn.edu.ua/pluginfile.php/288553/mod_resource/content/1/%D0%9B

[%D0%B5%D0%BA%D1%86%D1%96%D1%8F%20-%2016.pdf](#) – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.

8. Кір'янов, О.Ф. Інформаційні технології на автомобільному транспорті: навч. посіб. / О.Ф. Кір'янов, М.М. Мороз, Ю.О. Бойко, Кременчуцький нац. ун-т ім. Михайла Остроградського.– Харків: Друкарня Мадрид, 2015.– 270 с.: ISBN 978-617-7294-07-7: 31.00.

9. Конспект лекцій з дисципліни «Автоматизовані системи управління на транспорті» (для студентів 4 курсу всіх форм навчання напряму підготовки 1004 «Транспортні технології»). Укл.:В.С. Віниченко – Харків: ХНАМГ, 2007. – 68 с.

10. Автоматизована система керування дорожнім рухом. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://www.sea.com.ua/ua/svetofornaya-produkciya/kompleksnaa-sistema-upravlenia-doroznym-dvizeniem/> – Дата доступу: травень 2023. – Назва з титул. екрана.

11. Портал компанії КомКон [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://komkon.ua/> – Дата доступу: червень 2023. – Назва з титул. екрана.

12. Nagel K., Schreckenberg M. A cellular automaton model for freeway traffic // J.Phys. I.France. 1992. Vol. 2. Pp. 2221-2229.

ДОДАТОК А – Алгоритми ініціалізації та заповнення матриць

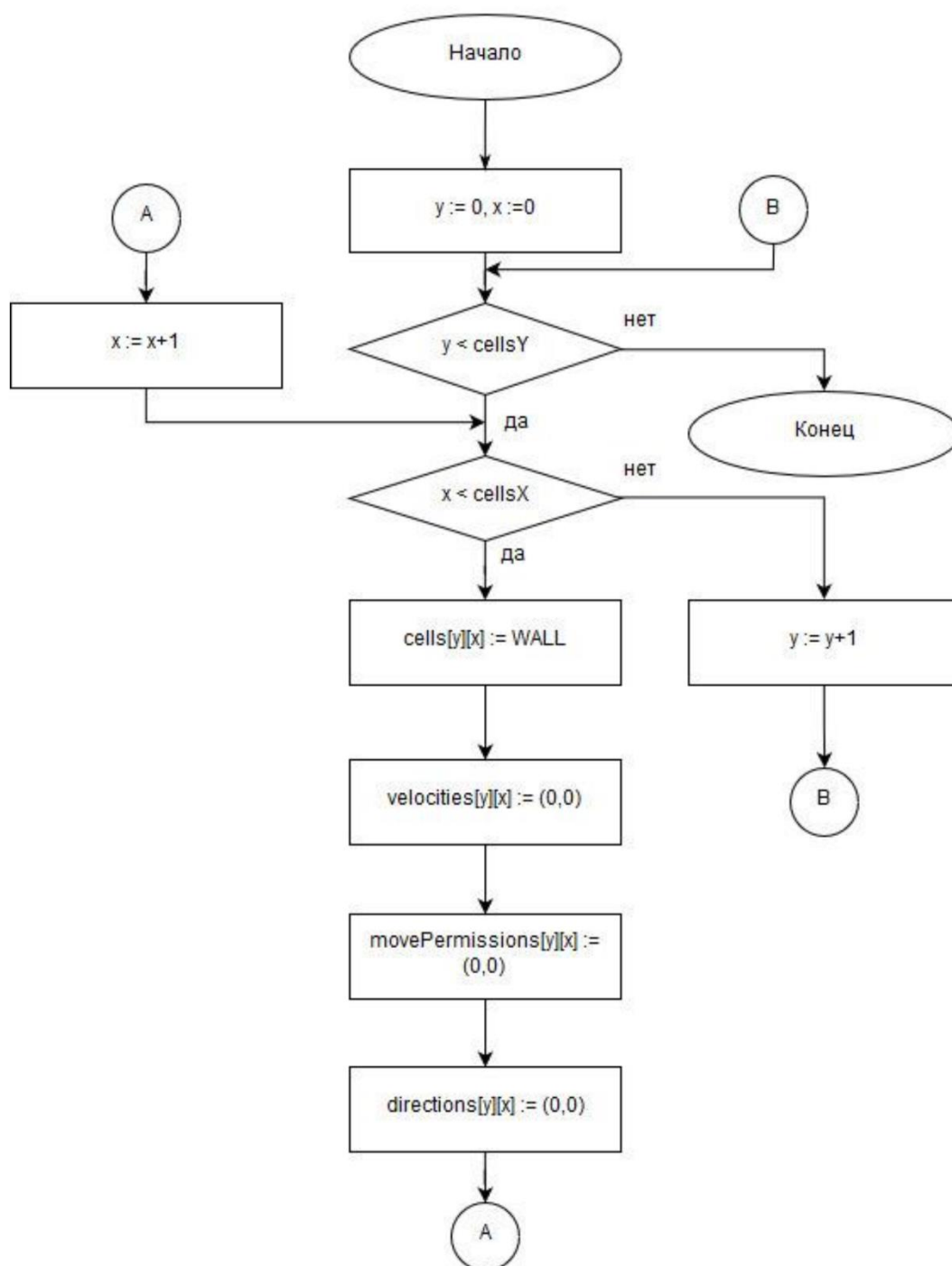


Рисунок А.1 – Блок-схема алгоритму заповнення матриць станів та напрямків

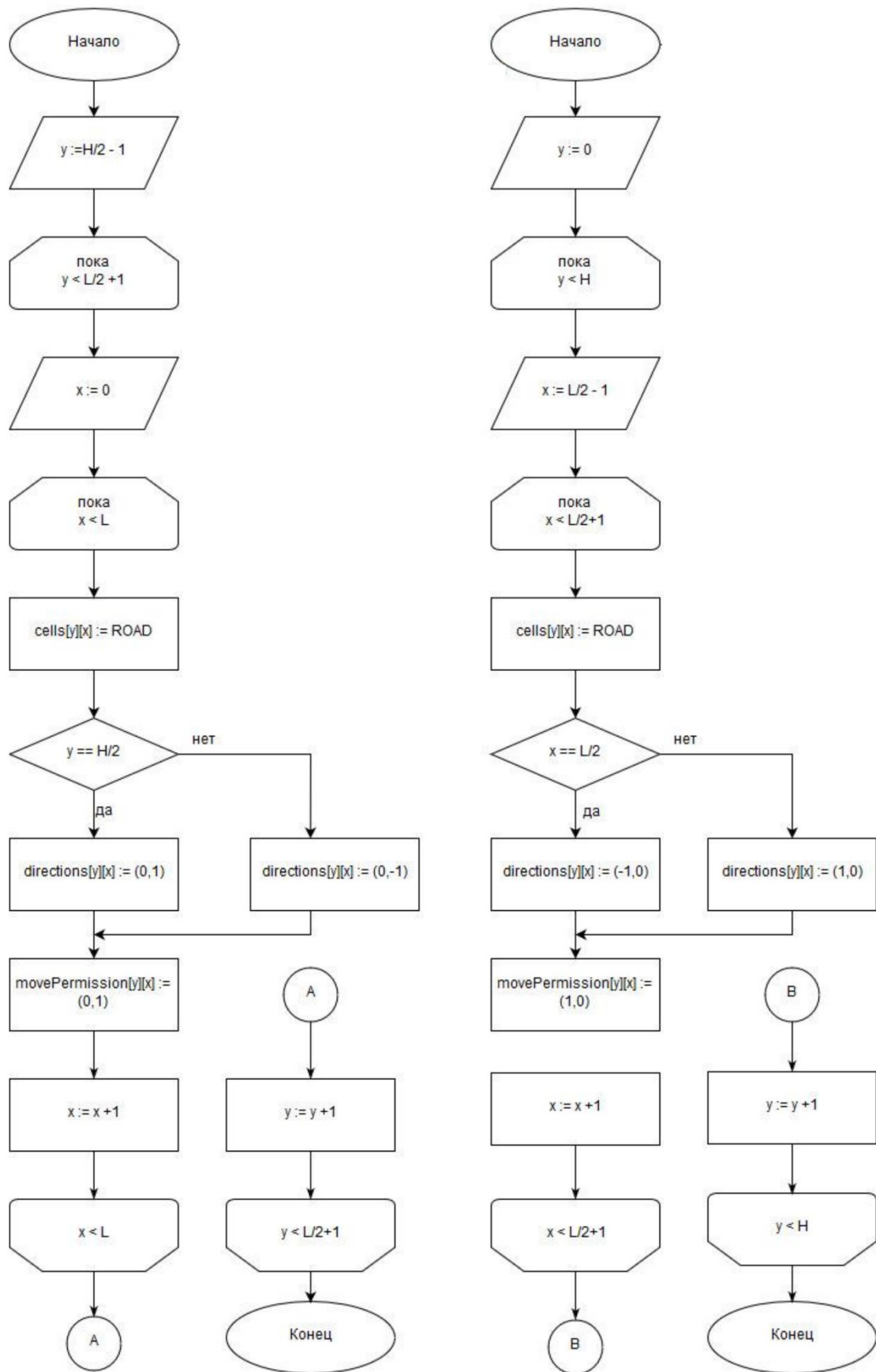


Рисунок А.2 – Блок-схема заповнення матриці «дорога» (ROAD)



Рисунок А.3 – Блок-схема заполнения матрицы автомобилей (CAR)

ДОДАТОК Б – Алгоритми роботи СФО

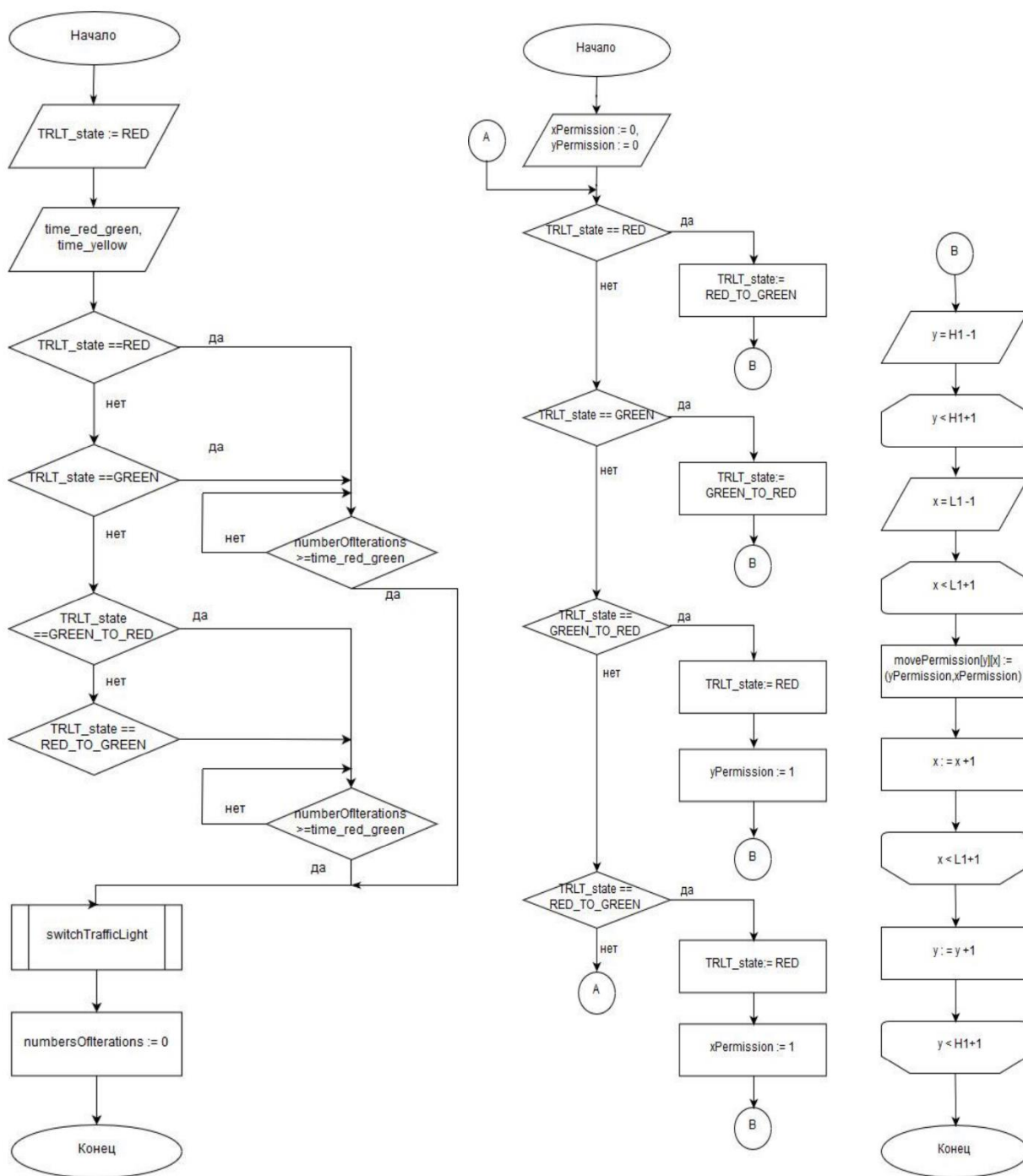


Рисунок Б.1 – Блок-схема класичного алгоритму

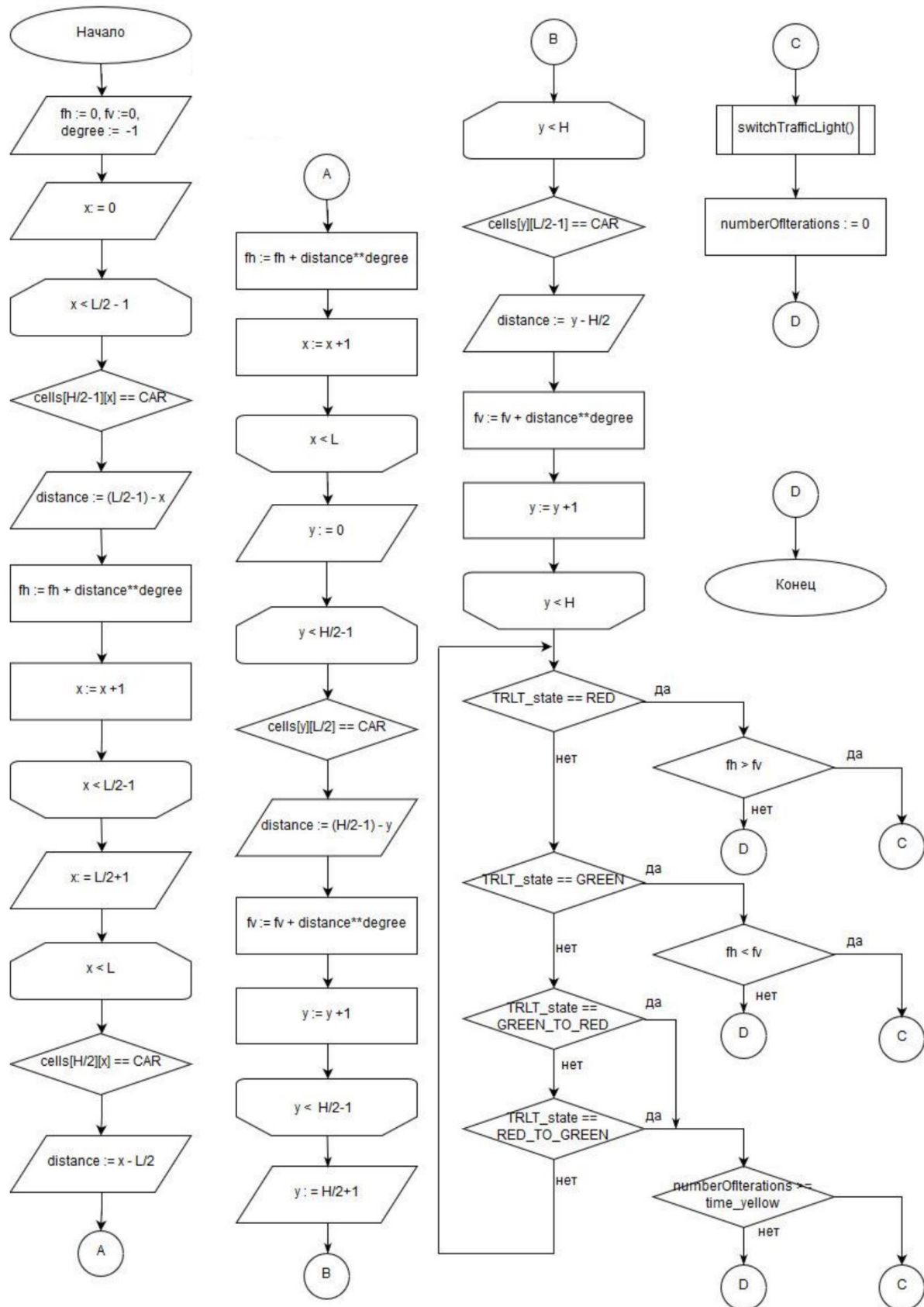


Рисунок Б.2 – Блок-схема адаптивного алгоритму