



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ



ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ

КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА МАГІСТЕРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Оптимізація параметрів інтелектуальних транспортних
систем ситуаційного управління транспортними потоками у
ТОВ «АВТО ТРЕЙД 2021», м. Кропивницький»

Виконав:

магістрант групи ТТ-23М Олександр СІЛІН
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

Д.Т.Н. , проф. Віктор АУЛІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н. , доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Рецензент:

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«__» _____ 2024 р.

Кропивницький – 2024 р.

ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ
ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА ТРАНСПОРТУ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

Рівень вищої освіти: другий (магістерський) рівень вищої освіти

Галузь знань: 27 «Транспорт»

Спеціальність: 275 «Транспортні технології (на автомобільному транспорті)»

Освітньо-професійна програма: «Транспортні технології (автомобільний транспорт)»

«ЗАТВЕРДЖУЮ»

Завідувач кафедри «Експлуатація та
ремонт машин»

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
«__» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ

Сіліна Олександра Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

1. Тема роботи «Оптимізація параметрів інтелектуальних транспортних систем ситуаційного управління транспортними потоками у ТОВ «АВТО ТРЕЙД 2021», м. Кропивницький»

керівник роботи Аулін Віктор Васильович, д.т.н., професор

(прізвище, ім'я, по батькові)

(науковий ступінь)

(вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від «07» 08 2024 року
№43-13

2. Строк подання здобувачем роботи «30» листопада 2024 року.

3. Вихідні дані до роботи 1. Матеріали науково-дослідної практики.

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

4.1 Розділ 1 Проаналізувати стан питання в області розробки і впровадження системи інтелектуальних транспортних систем у завданні ситуаційного управління дорожніми рухами; проблем затримок транспортних засобів на автомобільних дорогах і міжнародного дослідження вирішення проблеми організації дорожнього руху при виникненні дорожньо-транспортної пригоди в місті. Оглянути нормативні документи та наукові джерела у задачі підвищення якості організації дорожнім рухом при дорожньо-транспортній пригоді. Розглянути стан транспортної системи та інтелектуальної транспортної системи м. Києва.

4.2 Розділ 2 Побудувати математичну модель визначення оптимальних параметрів ІТС у завданні ситуаційного управління. Визначити цільові функції

і типи наукового завдання та обґрунтування математичного апарату. Розглянути метод моделювання та програмного оброблення.

4.3 Розділ 3 Провести експериментальні дослідження ефективності роботи інтелектуальної транспортної системи. Розробити методики експериментального дослідження. Провести експериментальні дослідження щодо визначення оптимальної схеми управління дорожнім рухом в вулично-дорожній мережі. Експериментально визначити оптимальний сценарій управління дорожнім рухом у транспортній мережі. Обробити та отримати результати експериментальних досліджень.

4.4 Розділ 4 Оцінити адекватність модель і техніко-економічну ефективність реалізації методу ситуаційного управління дорожнім рухом. Сформувати вихідні матеріали. Дати опис інтерфейсу та форми вихідних параметрів. Визначити коефіцієнти значущості. Провести експеримент на прикладі реальної ділянки вулично-дорожньої мережі. Визначити точність побудованої моделі. Розробити методики визначення оптимального варіанта учасників дорожнього руху. Запропонувати рекомендації розробленого результату дослідження ..

5. Перелік ілюстративного матеріалу на 16 слайдах

ГРАФІК ВИКОНАННЯ ЕТАПІВ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	РОЗДІЛ 1	18.10.2024	
2	РОЗДІЛ 2	08.11.2024	
3	РОЗДІЛ 3	22.11.2024	
4	РОЗДІЛ 4	28.11.2024	
5	Ілюстративний матеріал	29.11.2024	

Магістрант _____
(підпис)

Олександр СІЛІН _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Віктор АУЛІН _____
(ім'я та прізвище)

РЕФЕРАТ

Магістерська робота складається з пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.

Пояснювальна записка має 112 сторінок тексту формату А4, 54 рисунки, 23 таблиці, 20 використані джерела по переліку посилань.

В першому розділі проаналізовано стан питання в області розробки і впровадження системи інтелектуальних транспортних систем у завданні ситуаційного управління дорожніми рухами; проблем затримок транспортних засобів на автомобільних дорогах і міжнародного досвіду вирішення проблеми організації дорожнього руху при виникненні дорожньо-транспортної пригоди в місті. Оглянуто нормативні документи та наукові джерела у задачі підвищення якості організації дорожнім рухом при дорожньо-транспортній пригоді. Розглянуто стан транспортної системи та інтелектуальної транспортної системи м. Києва.

В другому розділі побудовано математичну модель визначення оптимальних параметрів ІТС у завданні ситуаційного управління. Визначено цільові функції і типи наукового завдання та обґрунтування математичного апарату. Розглянуто метод моделювання та програмного оброблення.

В третьому розділі проведено експериментальні дослідження ефективності роботи інтелектуальної транспортної системи. Розроблено методики експериментального дослідження. Проведено експериментальні дослідження щодо визначення оптимальної схеми управління дорожнім рухом в вулично-дорожній мережі. Експериментально визначено оптимальний сценарій управління дорожнім рухом у транспортній мережі. Оброблено та отримати результати експериментальних досліджень.

В четвертому розділі оцінено адекватність модель і техніко-економічну ефективність реалізації методу ситуаційного управління дорожнім рухом. Сформовано вихідні матеріали. Дано опис інтерфейсу та форми вихідних параметрів. Визначено коефіцієнти значущості. Проведено експеримент на прикладі реальної ділянки вулично-дорожньої мережі. Визначено точність побудованої моделі. Розроблено методики визначення оптимального варіанта

учасників дорожнього руху. Запропоновано рекомендації розробленого результату дослідження.

Метою магістерської роботи є мінімізація загальних витрат пересування учасників дорожнього руху для ситуації зниження пропускної спроможності навантаженої ділянки вулично-дорожньої мережі (ВДМ), у тому числі через виникнення ДТП, за рахунок управління транспортним потоком із застосуванням систем директивного та непрямого управління в інтелектуальній транспортній системі.

Основні завдання дослідження, відповідно до мети, полягали в наступному:

- визначення основного елемента системи управління транспортним рухом у разі виникнення заторів з допомогою аналізу досвіду реалізації інтелектуальної транспортної системи;
- обґрунтування сукупності показників ефективності вибору оптимальних сценаріїв управління транспортним рухом та математичної моделі визначення мінімальної витрати пересування учасників дорожнього руху через мережу;
- проведення експериментальних досліджень з оптимізації управління дорожнім рухом у разі виникнення заторів;
- проведення економічної оцінки ефективності оптимізації ремаршрутизації транспортного потоку.

Об'єкт дослідження – процеси в транспортній системі міста, зокрема вулично-дорожньої мережі із встановленою інфраструктурою систем непрямого та директивного управління транспортними потоками.

Предметом дослідження є параметри транспортних потоків, їх взаємовплив на визначення сценарію управління дорожнім рухом системами непрямого та директивного управління транспортними потоками при зниженні пропускної спроможності проїжджої частини з причин виникнення аварійних ситуацій.

Наукова новизна роботи полягає у:

- сформовано фактори, що зв'язує параметри, які характеризують пересування учасників дорожнього руху по мережі як критерії вибору маршруту руху водіїв у разі ДТП;
- розроблена математична модель визначення мінімальної витрати

пересування учасників дорожнього руху через мережі у ситуації перекриття однієї чи кількох смуг проїжджої частини дороги;

- визначено нейронну мережу з максимальним значенням обсягу перенаправленого транспортного потоку у вулично-дорожню мережу в залежності від характеристик запропонованого водіям об'їзної дороги;

- побудовано алгоритм визначення оптимального сценарію управління транспортними потоками в умовах високих ризиків виникнення транспортних колізій.

Практичною значимістю магістерської роботи є: розроблена методика визначення оптимального сценарію управління транспортними потоками в умовах високих ризиків виникнення транспортних колізій, за яких перекрито одну або кілька смуг проїзної частини доріг.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ОБЛАСТІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У ЗАВДАННІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

1.1 Аналіз проблем затримок транспортних засобів на автомобільних дорогах

1.2 Аналіз міжнародного досвіду вирішення проблеми організації дорожнього руху при виникненні дорожньо-транспортної пригоди в місті

1.3 Огляд нормативних документів та наукових джерел у задачі підвищення якості організації дорожнім рухом при дорожньо-транспортній пригоді

1.4 Огляд стану транспортної системи та інтелектуальної транспортної системи м. Києва

Висновки за 1 розділом

РОЗДІЛ 2. ПОБУДУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ІТС У ЗАВДАННІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Визначення цільової функції

2.2 Визначення типу наукового завдання та обґрунтування математичного апарату

2.3 Метод моделювання та програмного оброблення

Висновки за 2 розділом

РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка методики експериментального дослідження

3.2 Проведення експериментальних досліджень щодо визначення оптимальної схеми управління дорожнім рухом в вулично-дорожній мережі

3.3 Експериментальні визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом у транспортній мережі

3.4 Розрахунки та результати експериментальних досліджень

Висновки за 3 розділом

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

ДОРОЖНІМ РУХОМ

4.1 Формування вихідних матеріалів

4.2 Опис інтерфейсу та форми вихідних параметрів

4.3 Визначення коефіцієнтів значущості

4.4 Проведення експерименту на прикладі реальної ділянки вулично-дорожньої мережі

4.5 Визначення точності побудованої моделі

4.6 Розробка методики визначення оптимального варіанта учасників дорожнього руху

4.7 Застосування розробленого результату дослідження

Висновки по 4 розділу

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Сучасна транспортна система характеризується зростаючим попитом на пересування пасажирів і вантажів, що призводить до постійного збільшення числа транспортних засобів, що виїжджають щодня на вулиці міста. Системи організації дорожнього руху все частіше оснащуються передовими та сучасними видами технологічного обладнання. Велике значення у розвитку та підвищення ефективності складних процесів, механізмів та автоматизації у транспорті має правильне управління та експлуатація транспортних процесів.

У зв'язку з невідповідністю рівня розвитку вулично-дорожньої мережі (ВДМ) чисельності парку транспортних засобів (ТЗ) умови руху на міських та позаміських магістралях ускладнюються, що призводить до виникнення заторів на ВДМ. Затори спричиняють різні економічні втрати: втрати часу пасажирями міського транспорту; власниками індивідуальних транспортних засобів; зниження ефективності вантажних перевезень; збільшення витрати палива та інші прямі чи супутні непередбачені витрати. Це негативно впливає на екологічний стан довкілля. Тому виникає необхідність у підвищенні надійності процесу реагування транспортної системи при заторі, оснащенні її обладнанням, що дозволяє оперативно реагувати на зміни технічного стану транспортної мережі та підвищувати ефективність її експлуатації.

Особливо важливим стає це завдання в умовах міст для керуючої техніки в організації дорожнього руху (ОДР). На думку фахівців, ліквідувати чи скоротити тривалість заторів, що виникають при ДТП чи інших аварійних ситуаціях, можна за допомогою оперативних та грамотних дій патрульної служби поліції (ПСП). Разом з розвитком науки, технологій та заходів щодо організації дорожнього руху та транспортної інфраструктури для усунення дорожніх заторів необхідно розвивати нові сучасні технічні заходи щодо організації дорожнього руху у великих містах зі складними транспортними умовами. До таких рішень відноситься інтелектуальна транспортна система (ІТС) і зокрема підсистеми непрямого управління транспортним потоком, що входять до її складу, і директивного управління транспортним потоком.

РОЗДІЛІ. АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ В ОБЛАСТІ РОЗРОБКИ І ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ У ЗАВДАННІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМИ РУХАМИ

1.1 Аналіз проблем затримок транспортних засобів на автомобільних дорогах

Транспортна система у різних країнах світу перебуває у постійному процесі інтенсивного розвитку з метою покращення якості перевезень пасажирів та вантажів, а також сприяння економічному зростанню. Безперечно, ці зусилля сприяють покращенню життя населення та забезпеченню сприятливих умов для розвитку економіки. Паралельно з розвитком транспортної системи виникають і інші соціально-економічні проблеми, і однією з таких проблем є дорожні затори. Ця проблема стає все більш актуальною та негативно впливає на суспільство, економіку та навколишнє середовище.

За статистикою індекс трафіку 2020 року, в якому вказано рівні завантаженості транспортної системи у 416 містах 57 країн, 239 міст (57%) збільшили рівень завантаженості в період з 2018 по 2019 рік, і лише 63 міста показали помітне зниження. Цей індекс теж показує, що найбільш завантаженим містом світу є Київ, водії якої на 54% більше часу проводять у пробках.

Це глобальне збільшення завантаженості доріг, незважаючи на те, що затор ТЗ є показником сильного розвитку економіки, обходиться економіці через затори мільярди доларів.

Затори на дорогах не лише серйозно знижують ефективність роботи транспортної системи, але також є одним із головних джерел забруднення довкілля шкідливими викидами. Рівень шуму в районах із транспортними заторами також значно зростає. Крім того, транспортні затори викликають інші економічні, соціальні проблеми, з якими стикаються міста по всьому світу.

У звіті, опублікованому компанією INRIX , що займається даними про транспорт, йдеться, що затори тягнуть у себе як емоційні, а й високі економічні

витрати. У своєму дослідженні, заснованому на даних GPS INRIX порахував економічний вплив, об'єднавши як прямі витрати, такі як час і витрачене паливо, так і непрямі, такі як високі споживчі ціни, викликані підвищеними цінами на доставку через затори.

У міжнародному масштабі найгіршими країнами для водіїв у базі даних INRIX були країни зі столицями, системи доріг і громадського транспорту яких не встигають за зростанням населення. В Азіатських країнах, наприклад у Таїланді, водії втрачають у середньому 56 годин на рік через затори в години пік. Так само найгіршим місцем для їзди в Європі була транспортна система України, на яку припадало п'ять із десяти найбільш густонаселених міст континенту. Серед решти європейських країн домінує Німеччина. Хоча міста Німеччини, як правило, середнього розміру з невеликим населенням та економікою в порівнянні з Лондоном і Парижем, і мають сучасну транспортну інфраструктуру, їх дороги, як і раніше, забиті вантажами, що йдуть у морські порти та з них.

На наведеному нижче графіку (рис. 1.1) показано ціну бездіяльності на проблему транспортних заторів - для кожного пасажера. Без своєчасної дії проблеми з дорожнім рухом тільки посилюються. Як показує синя лінія на графіку, щорічні витрати при заторі продовжують зростати.

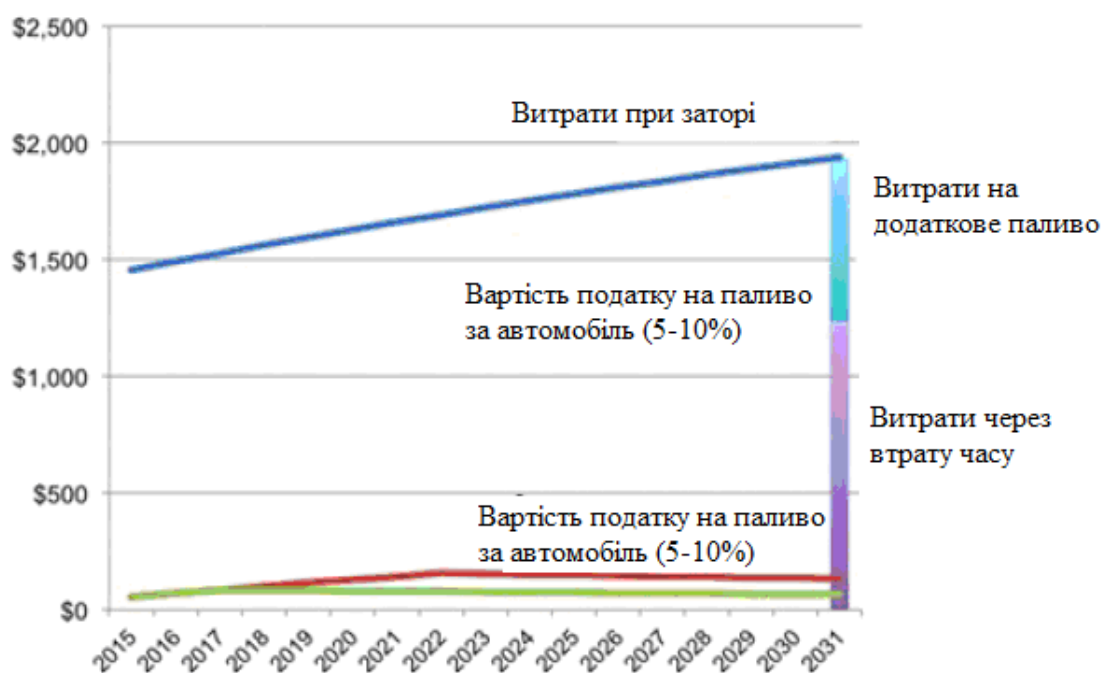


Рисунок 1.1 – Прогноз зміни наведених паливнихі часових втрат в результаті заторів

Більшу частину цієї суми – приблизно 700 доларів на рік на кожного учасника дорожнього руху – становлять витрати на додаткове паливо, яке спалюється автомобілями під час заторів. Вартість втраченої заробітної плати та продуктивності через додатковий час у пробках становить понад 800 доларів на одного пасажера, що показано фіолетовою смугою на графіку вище. Загалом, щорічні витрати бездіяльності становлять близько 1500 доларів на водія та не менше 800 доларів на пасажера. Лінії тренду на наведеному вище графіку також свідчать, що вартість заторів неухильно зростає з часом.

Перевантаження дорожньої мережі виникає, коли інтенсивність АТЗ в ВДМ наближається до пропускної спроможності доріг чи перевищує її. Інтенсивність дорожнього руху суттєво різняться залежно від сезону, дня тижня та часу доби. Крім того, пропускна спроможність, яку часто вважають за постійну, може змінюватися через погоду, робочі зони, дорожні пригоди або інші разові події. У загальному випадку затори виникають з двох основних груп причин - передбачуваних та непередбачуваних. На рисунку 1.2 представлено статистику різновиду причин виникнення заторів у США.

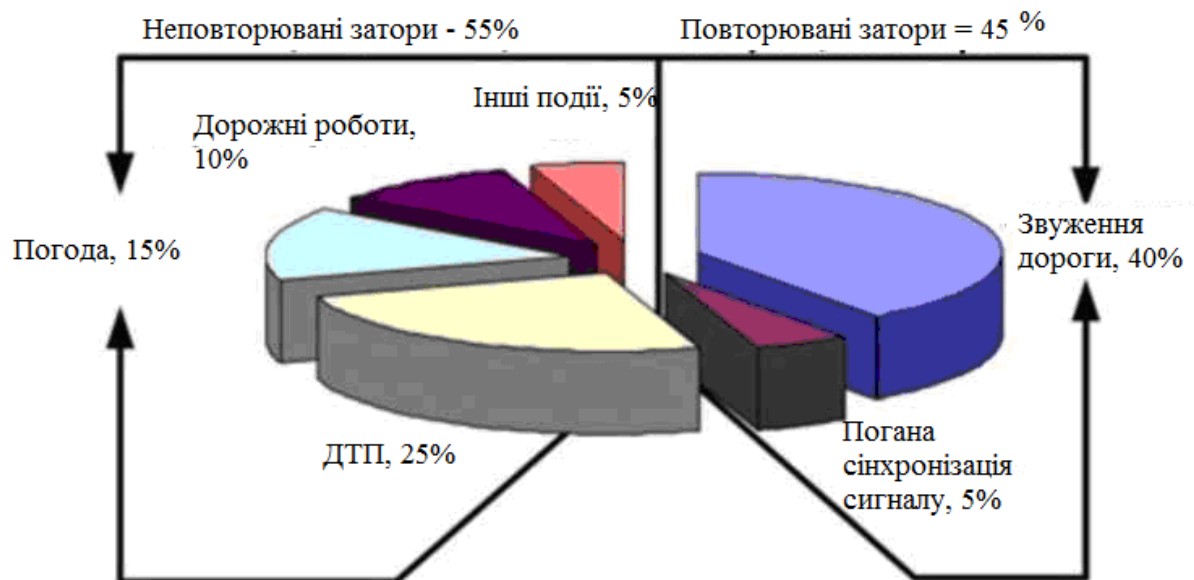


Рисунок 1.2 - Основні причини заторів у ВДМ США (дані 2016 р.)

Одноразові затори через непередбачувані причини становлять 55 %, у тому числі дорожньо-транспортні пригоди - 25 %; погана погода – 15 %; робочі зони – 10 %; та спеціальні заходи – 5 %. Періодична затори через непередбачувані

причини 45%, включаючи звуження проїжджої частини доріг, 40%, та погану синхронізацію сигналу, 5%. Визначення конкретної причини дорожніх заторів дозволяє точно визначити заходи, які необхідно вжити для боротьби із заторами на дорогах.

Таким чином, необхідність вирішення проблеми заторів міського транспорту є актуальною, тому що ефективне вирішення існуючих проблем заторів на дорогах значно підвищить показники транспортної системи, зокрема й інших соціально-економічних діяльностей в цілому. зокрема, на вирішенні проблем управління дорожнім рухом для запобігання заторам або Зменшення тяжкості дорожньо-транспортних пригод (ДТП) в ВДМ. Існує безліч різних заходів для вирішення проблем обслуговування транспортної системи в містах. формами організації дорожнього руху (ОДР).

1.2 Аналіз міжнародного досвіду вирішення проблеми організації дорожнього руху при виникненні дорожньо-транспортної пригоди в місті

Ключовий момент для запобігання утворенню затору або зниження їх наслідків в ВДМ при виникненні ДТП є своєчасним визначенням потенційного маршруту серед безлічі різних існуючих маршрутів у мережі для перерозподілу потоку з обґрунтованою часткою потоку із проблемної ділянки ВДМ.

Коли ДТП ще не ліквідовано, всі суб'єкти транспортної мережі (місто – перевізник – індивідуальний транспорт) рухаються не оптимальними маршрутами. Якщо ж у потрібний момент надається їм необхідна інформація, всі вони можуть до цього затору (стану насичення) вже проїхати іншу дорогу, тобто поміняти маршрут частини цього потоку.

На даний момент поширено використовуються дві основні форми визначення маршруту руху: використання навігаційних додатків (для особистого користування) або використання засобів інтелектуальної транспортної системи (ІТС) (застосовується до системи транспорту). Навігатор може визначити маршрут на користь кожного автомобіля окремо, тому що вони бачать безліч окремих/одинакових автомобілів і в більшості випадків кожному з них дають ту

саму команду про маршрут руху через мережу. У разі потрібно визначити логічний розподіл всіх автомобілів транспортному потоці загалом сценарії. Необхідно застосувати особливості системи ІТС при організації дорожнього руху з виявлення ДТП.

В даний час багато країн світу застосовують систему ITS до діяльності з ОДР, особливо в умовах міського транспорту. Однак, залежно від характеристик системи транспортної інфраструктури, потенціалу інвестування в науку та технології, системи поглядів та підходів до адміністративного управління в кожній країні, ситуація реалізації системи ІТС різниться.

У рамках проекту "Загальносистемні заходи розвитку дорожнього господарства" в Україні проводиться програма з впровадження ІТС на дорожній мережі різних регіонів. Ця програма входить до національного проекту "Безпечні та якісні автомобільні дороги". До кінця 2024 року планується впровадити інтелектуальні системи управління дорожнім рухом. Ці системи включають різні компоненти, такі як фотовідеофіксація порушень, контроль вагогабаритних параметрів, адаптивні дорожні знаки та табло, а також "розумні" паркування. Проте, порівняно з аналогічними програмами інших країн, реальна пропускна спроможність українських доріг значно нижча за розрахункову. Через застосування застарілих методів ОДР українська транспортна система забезпечує достатню ефективність.

В Україні домінує метод загального інформування з використанням стаціонарних неелектронних знаків в якості маршрутного орієнтування.

- оперативне реагування зміни стану дорожньої обстановки;
- наявність зворотнього зв'язку транспортних учасників;
- більшою інформативністю проти незмінними знаками.
- мають більший ступінь сприйняття інформації.

У зв'язку з цим у великих містах, здійснюються спроби впровадження інформаційних систем, побудованих на дорожніх знаках змінної інформації та динамічних інформаційних табло. Проте реалізація даних проєктів носить несистемний характер, що обумовлено відсутністю методики побудови подібних систем. При цьому інтерес до них дуже великий.

Теоретично подібні системи виявляються більш ефективними, то внаслідок несистемного застосування, на практиці показники ефективності значно нижчі від розрахункових.

Методи боротьби з транспортними заторами у різних містах світу представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 - Методи боротьби з транспортними заторами у містах світу

Місто, країна	Методи	Результати
1. Лондон, Великобританія	-введення платних паркувань у місті; - обмеження в'їзду до центру міста; - надання послуги з оренди велосипедів	- зниження трафіку автомобільного транспорту у місті на 15-20 %; - покращення екологічних показників у місті на 15%; - невдоволення автолюбителів
2. Нью-Йорк, США	-Впровадження ІТС; - безперервне будівництво нових доріг та розв'язок; - вдале планування міста та його транспортна система	- зростання транспорту випереджає темпи розвитку автомобільних доріг; - у місті одна з найрозвиненіших дорожніх мереж у світі
3. Париж, Франція	- проектування виділених смуг для громадського транспорту; - повсюдна установка платних парковок	- незначне збільшення середньої швидкості руху громадського транспорту; - труднощі у роботі громадського транспорту
4. Сінгапур, Сінгапур	- пріоритет у русі громадського транспорту; - Доступність таксі; - видача ліцензії на управління через лотерею; - високі ставки на ввезення автомобіля та його постановку на облік	- зниження рівня транспортних заторів до мінімальних значень
5. Токіо, Японія	- безперервне будівництво нових доріг та розв'язок; - Використання ІТС.	- зростання транспорту випереджає темпи розвитку автомобільних доріг; - у місті одна з найрозвиненіших дорожніх мереж у світі

Одним з найпоширеніших підходів до оптимізації транспортних потоків є впровадження обмежень на рух, будівництво нових доріг та розв'язок з використанням ІТС. Однак збільшення дорожньої мережі не завжди встигає відповідати збільшенню кількості автомобілів, що призводить до зростання транспортних пробок і викликає невдоволення не тільки водіїв, а й населення в цілому. Тому важливим стає питання організації ефективного руху транспорту по мережі доріг за допомогою моделювання, управління в реальному часі та використання передових технологій зв'язку та обчислень, що забезпечується

інформаційно-технологічними системами (ІТС) за мінімальних витрат.

Однією з ключових складових успіху Сінгапуру в управлінні та вирішенні проблем транспортної взаємодії є використання ІТС як просунута частина всього проєкту організації транспорту. Важливою метою управління перевантаженнями є покращення системи управління рухом з метою підвищення пропускної спроможності та згладжування транспортного потоку. ІТС Сінгапуру також орієнтована на надання водіям інформації про міський рух та використання функцій світлофорів для регулювання потоку транспортних засобів. З метою підвищення пропускної спроможності мережі дорожнього руху, особливо у випадках заторів на дорогах. Дорожня мережа на острові повністю сигналізується та системно скоординована на основних вулицях, щоб мінімізувати затримки. Інтелектуальна система управління рухом Green Link Determining (GLIDE) координує систему світлофорів у «зелених хвилях», щоб збільшити пропускну спроможність перехресть та згладити рух. Існують системи Junction Eye traffic monitoring» для спостереження та контролю руху на критичних перехрестях. Центр управління наземного транспорту Сінгапуру (Land Transport Authority - LTA) розгорнув інтелектуальну транспортну систему (ITS), щоб максимально підвищити ефективність дорожньої мережі, покращити умови пересування та контролювати транспортний потік у Сінгапурі. Широко використовуються різні передові методи, у тому числі вдосконалена Автоматична Термінальна Інформаційна Система (ATIS - Automatic Terminal Information Service) та вдосконалена система управління дорожнім рухом (Adaptive Traffic Management Systems - ATMS). Важливе застосування цих систем - управління транспортними інцидентами боротьби з одноразовими навантаженнями.

Підписані водії мають доступ до інформації про дорожній рух у режимі реального часу через зв'язок із інформаційними центрами. Через Інтернет також доступна інформація про дорожню обстановку, розрахунковий час у дорозі та рекомендації системи динамічного управління маршрутом, щоб допомогти водіям вибрати маршрут поїздки, час відправлення та спосіб пересування, яким вони планують поїхати. І транслуються потокові відеозображення обраних місць автомагістралей, щоб відобразити дорожню ситуацію та допомогти водіям у

прийнятті рішень.

Переваги та недоліки використання даних систем представлені в таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 - Переваги та недоліки використання ІТС міст світу

Назва системи (місто, країна впровадження)	Коротка характеристика	Переваги	Недоліки
ІТС м. Київ	Збір та аналіз даних про параметри транспортних потоків, диспетчеризація пасажирського транспорту, інформування учасників дорожнього руху про ситуацію на дорогах	найсучасніший у Європі Ситуаційний центр; багатофункціональність системи; вирішення проблеми транспортних заторів	інформацію про транспортні затори надає стороння організація; координація роботи транспорту тільки на великих автошляхах
COMFORT (Мюнхен, Німеччина)	Оцінка кількості транспортних засобів на дорогах, оптимізація роботи світлофорів, прогноз розвитку транспортного навантаження, активізація інформаційної та навігаційної систем	багатофункціональність системи; великий обсяг вихідних даних; безліч систем контролю дорожнього руху	контролює роботу служб не диспетчерська, а поліція; координація роботи транспорту лише у центрі міста відсутність онлайн-інтерфейсу
FAST (Лас-Вегас, США)	Запис та надання інформації по безлічі параметрів дорожнього руху; доступ до інформації в режимі реального часу за допомогою інтерактивної інформаційної панелі та за допомогою веб-камер	великий обсяг вихідних даних про ДТП; багатофункціональність системи; онлайн інтерфейс, що надає дані про дорожню ситуацію	морально застарілий інтерфейс системи; немає диспетчеризації транспорту; координація роботи транспорту тільки на швидкісних дорогах
SCATS (Сідней, Австралія)	Оцінка кількості транспортних засобів на дорогах, оптимізація роботи світлофорів, прогноз розвитку транспортного навантаження, активізація інформаційної та навігаційної систем	великий обсяг вихідних даних; безліч систем контролю руху; моделювання дорожньої ситуації	немає диспетчеризації транспорту; відсутність онлайн-інтерфейсу
VICS (Токіо, Японія)	Передача інформації про дорожні пробках та несприятливих дорожніх умовах. Безліч джерел отримання даних	багатофункціональність системи; великий обсяг вихідних даних	немає диспетчеризації транспорту; відсутність онлайн-інтерфейсу

Таким чином, система ІТС організує рух з використанням різних заходів та форм організації, кожна з яких виконує своє власне завдання, впливаючи на певний компонент транспортної системи та системи організації руху.

Комбінування непрямого кправління транспортним потоком (НУТП) та та директивне (ДУТП) ІТС оцінюється як новий спосіб підвищення загальної ефективності організації руху ІТС загалом за рахунок підвищення показників ефективності кожної підсистеми.

1.3 Огляд нормативних документів та наукових джерел у задачі підвищення якості організації дорожнім рухом при дорожньо-транспортній пригоді

ІТС більше не є окремою концепцією, що розробляється в кожній країні відповідно до її власних стандартів. ІТС була розроблена в міжнародному масштабі на основі міжнародного технічного комітету ISO з інтелектуальних транспортних систем (ISO/TC 204). Робоча група 9 ISO (WG 9) займається стандартизацією інформації та контролю дорожнього руху. У своїй роботі WG 9 фокусується на систематизації інформації та стандартизації систем зв'язку між центрами управління дорожнім рухом, між центрами та придорожніми модулями, а також між самими придорожніми модулями, щоб забезпечити ефективний обмін даними та надати інформацію стороннім організаціям.

Обсяг стандартизації (від центру до центру, від центру до узбіччя дороги), з якого працює WG9, показано на рисунку (рис. 1.3). Центри відносяться до центрів управління транспортом. Придорожні модулі включають пристрої управління сигналами, інформаційні табло та датчики, встановлені вздовж доріг. Забезпечення взаємозв'язку є однією з переваг сприяння стандартизації інформації та зв'язку між центрами, а також центрами та придорожніми модулями.

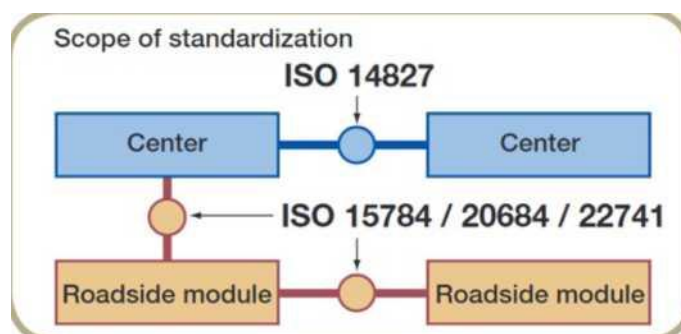


Рисунок 1.3 - Придорожні модулі стандартизації ISO 14827

ІТС можуть зробити значний внесок у створення більш чистої, безпечної та ефективної транспортної системи. Отже, ІТС стали центром низки політичних та законодавчих ініціатив у Європі. У цій галузі беруть активну участь стандартизаційні організації CEN , CENELEC та ETSI . Технічний комітет CEN / TC 278 «Інтелектуальні транспортні системи» розробляє стандарти в галузі телематики, що застосовується у дорожньому русі та транспорті. Ці стандарти включають елементи, які потребують технічної гармонізації для інтермодальних перевезень різних видів транспорту. У його компетенції є забезпечення:

- ідентифікації транспортних засобів, знімних кузовів та товарних вагонів;
- зв'язок між транспортними засобами;
- взаємодії між автотранспортом та дорожньою інфраструктурою;
- телематичного обміну даними між автомобілями та машинами;
- управління рухом та паркуванням;
- збору платежів за проїзд;
- управління громадським транспортом;
- надання інформації користувачам .

Стратегії ІТС спрямовані на підвищення безпеки та продуктивності дорожніх споруд. ІТС включає різні технології, яка дозволяє водіям і операторам систем управління рухом збирати і використовувати інформацію в реальному часі для поліпшення перенаправлення транспортного засобу, управління дорожньою системою або того і іншого.

Поточні програми ІТС можуть мати такий вплив на аналіз конкретних можливостей:

1. Для автомагістралей та інших автомагістралей із безперервним потоком ITS може досягти деякого зменшення інтервалів руху, що збільшить пропускну здатність цих об'єктів. Крім того, навіть без зниження швидкості руху рівень обслуговування міг би поліпшитися, якби системи управління автомобілем пропонували водіям більш високий рівень комфорту, ніж вони відчувають в даний час в умовах з близькою відстанню між транспортними засобами.

2. Для сигнальних та артеріальних операцій основними перевагами ІТС будуть більш ефективний розподіл зеленого фаза, а збільшення пропускну

спроможності функцій ІТС, ймовірно, має менш виражений вплив на перерваний потік, ніж об'єкти безперервного потоку.

3. На несигнальних перехрестях пропускна спроможність покращення можуть статися, якщо ІТС допомагатиме водіям визначати прогалини у зустрічних транспортних потоках або якщо вона якимось чином контролює перерви у потоці на головній вулиці.

Багато з цих покращень ІТС, такі як системи реагування на інциденти та інформаційні системи для водія, відбуваються на системному рівні. Хоча функції ITS принесуть користь всій дорожній системі, вони не вплинуть на методи розрахунку пропускної спроможності та рівня обслуговування окремих доріг та перехресть.

Розглянемо ступінь наукового опрацювання завдання ІТС, враховуючи, що розвиток теорії управління транспортними потоками здійснювався дослідниками як із зарубіжних, так і вітчизняних наукових співтовариств.

Іноземні дослідники, такі як D. Drew , N. Gartner та F. Haight внесли значний внесок у розвиток теорії організації дорожнього руху, вивчаючи різні аспекти управління транспортними потоками.

В даний час активна увага приділяється теоретичним та практичним аспектам організації та безпеки дорожнього руху на вулично-дорожній мережі (ВДМ) з урахуванням транспортних, екологічних та соціальних аспектів.

У сфері організації дорожнього руху та систем управління дорожнім рухом було проведено дослідження низки авторів. Використовуючи різні методики та критерії оптимальності, вони дійшли різноманітних висновків, щодо теорії транспортних потоків та розробкою математичних методів імітаційного моделювання.

Порушені також питання проектування автомобільних доріг та організації руху з метою забезпечення ефективного пропуску потоків автомобілів. Розглядаються теорії транспортних потоків та методи їх практичного застосування для оцінки пропускної спроможності доріг, оцінки ефективності проектних рішень та ефективності використання різних засобів організації дорожнього руху.

У дослідженні було представлено результати аналізу закономірностей руху транспортних потоків у реальних дорожніх умовах. Особливу увагу було приділено методам імітаційного моделювання руху транспортних потоків на комп'ютерах та їх застосування у процесі проектування доріг та організації руху. Також були описані програмні засоби, які можуть використовуватися для оцінки різних варіантів траси доріг, елементів дорожньої інфраструктури, засобів організації руху та пропускної спроможності.

Розглянуто проблеми, пов'язані зі сприйняттям водіїв дорожньої обстановки, розроблено вимоги до елементів автомобільної дороги та засобів організації руху у різних ситуаціях з метою підвищення надійності роботи водіїв. Запропоновано методи оцінки та оптимізації зорової ясності та плавності траси, принципи вибору засобів організації руху на основі обліку психофізіологічних особливостей водія. Запропоновано шляхи вдосконалення норм та способів проектування доріг та організації руху на основі експериментальних досліджень особливостей сприйняття водієм дорожньої обстановки.

Розглянуто завдання розробки методів організації та аналізу міської транспортної системи з урахуванням різних видів транспортних засобів та шляхів сполучення. Об'єктом дослідження є транспортна система міста.

Вирішено завдання підвищення ефективності транспортного обслуговування шляхом удосконалення сигнальних планів на регульованих перетинах з урахуванням динаміки інтенсивності руху.

Порушені питання організації та управління дорожнім рухом у великих містах. Наведено науково-практичні рекомендації, що враховують реальні обмеження при виборі заходів, спрямованих на покращення пропускної спроможності дорожньої мережі, підвищення швидкості руху та якості обслуговування. Розроблено методику, засновану на комплексному підході до вирішення проблем транспорту в місті, що забезпечує ефективну та безпечну роботу транспортної системи. Застосування цієї методики демонструє збільшення середньої швидкості руху на 37-40% та скорочення тимчасових витрат користувачів більш ніж удвічі, при цьому економічний ефект проявляється у скороченні витрат на 30-35%.

Таким чином, на практиці організації дорожнього руху застосовується низка різноманітних заходів для вирішення проблем низької ефективності дорожньої транспортної мережі. Запропоновані та перевірені в реальних умовах рішення досягають певних результатів, що залежать від об'єкта, що досліджується, і здатні поліпшити різні показники дорожньої транспортної мережі. Серед них ІТС є засобом, що широко використовується для організації дорожнього руху у великих містах. Подолання обмежень цієї системи у вирішенні проблем транспортного затору може одночасно призвести до підвищення якості функціонування дорожнього руху у численних густонаселених містах по всьому світу.

Розглянуто аспекти поліпшення управління транспортними комплексами міст та регіонів за рахунок застосування комплексних науково обґрунтованих методів розробки та впровадження ІТС на різних етапах їхнього життєвого циклу. Дослідження охоплює транспортні комплекси регіонів та міст, інженерні системи управління транспортними потоками, а також учасників дорожнього руху та користувачів ІТС. Проведено також аналіз нормативно-правових та нормативно-технічних документів у Україні, а також наукових праць у галузі ІТС.

Розглянуто дослідження ефективності підсистем непрямого управління транспортними потоками та формуванню оптимальної технічної та функціональної структури дорожньо-інформаційних технологій (ДІТ). Це включає визначення оптимальних параметрів розташування ДІТ, а також розробку логіки їх установки. З використанням нейтронної та імітаційної моделей було доведено, що ефективність транспортно-дорожньої мережі може зрости більш ніж у 2,5 рази після впровадження системи непрямого управління транспортними потоками.

Основне завдання аналізу полягало у розробці рекомендацій щодо перерозподілу транспортних потоків для запобігання або зменшення заторів та оцінки функціонування ВДМ з урахуванням цих рекомендацій. Об'єктом дослідження є умови перерозподілу транспортних потоків на ВДМ міст. Особлива увага приділяється покращенню алгоритму пошуку альтернативних маршрутів шляхом використання адаптованої моделі вибору маршруту, що дозволяє

скоротити часові витрати на калібрування моделі дорожнього руху. В результаті експерименту вдалося зменшити час руху транспортних засобів вдвічі і затримки транспортних засобів на 1,75 рази шляхом динамічного перенаправлення на альтернативні маршрути, що забезпечують ефективний обсяг руху, що становить 34% від загального обсягу на ділянці магістралі, що розглядається.

Завданням аналізу полягає в тому, щоб розробка імовірнісної моделі виявлення небезпечних ділянок доріг загального користування та вулично-дорожньої мережі. Тому об'єктом цього дослідження є дані про ДТП із загиблими, на основі яких здійснено факторний аналіз, заснований на методі головних компонент (Component Analysis). Велику увагу було приділено розрахунку значення економії від зниження витрат часу транспортних засобів і пасажирів у дорозі, і навіть виявлення найбільш значущі чинники кожної складової системи ВАДС з погляду впливу виникнення ДТП.

Розглянуто питання підвищення ефективності БДД шляхом раціональної ОДР із застосуванням ІТС. Раціональне функціонування систем з ОДР сприяє скороченню часу проїзду, підвищенню рівня БДД та зниженню негативного впливу ТЗ на навколишнє середовище.

У дослідженні розглянуто завдання організації руху світлофорами з урахуванням коефіцієнта затримки транспортних засобів. У ході дослідження доведено, що мінімальний час сигналу світлофора, що дозволяє, має бути не менше 4 сек. плюс час проїзду перехрестя зі швидкістю 60 км/год. Автор продемонстрував, що у двох існуючих моделях розрахунку величини затримки (Бекманна та Вебстера) є недоліки, або не враховані характеристики транспортного потоку.

Розглянуто стан застосування ІТС в КНР. Предметом дослідження Цзянг Хайянь стали процеси управління дорожнім рухом на мережевому рівні. Розроблено математичну модель оптимізації розподілу транспортних потоків з цільовою функцією продуктивності мережі. Рекомендовано апробовані автором сучасні цифрові технології інтелектуального відеоспостереження для отримання транспортних даних. Застосування такого методу забезпечує підвищення продуктивності на рівні мережі на 13-17%.

У різних джерелах літератури обговорюються проблеми КУТП на основі ДІТ, які стають предметом наукових досліджень із різними підходами до їх вирішення ІТС стає все більш поширеним у практиці для організації дорожнього руху. Однак результати досліджень вказують на значні недоліки у проектах, пов'язаних із застосуванням ІТС. Таким чином, у світлі вищезазначених досліджень впровадження ІТС, включаючи системи ДІТ та світлофори, розглядається як оптимальний засіб покращення ОДР при виникненні ДТП на ВДМ на основі вирішення таких основних завдань:

1. Розрахувати прогноз насичення доріг по кожному напрямку і за певний час до цього стану насичення треба направити автомобілі, що залишилися, по іншому шляху, що дозволить відстрочити умови виникнення затора і підвищити загальну пропускну спроможність даної ділянки ВДМ.

2. Визначити оптимальну схему руху з безлічі можливих схем руху в ВДМ і порахувати кількість автомобілів, які необхідно перенаправляти в об'їзні напрямки.

3. Визначити оптимальну схему ОДР системами транспортних світлофорів з погляду зниження часу затримки пересування транспортного потоку на ВДМ.

4. Постійно стежити за станом дорожньої мережі до повного закінчення/ліквідації ДТП на основі інтеграції двох підсистем ІТС – КУТП та АСУДР у роботі перерозподілу потоку.

Таким чином, в даний час у наукових працях немає досліджень, присвячених проблемі інтеграції роботи різних підсистем ДУТП і КУТП в ІТС при вирішенні проблем затору при виникненні ДТП, тому завдання розробки даної методики є актуальним.

1.4 Огляд стану транспортної системи та інтелектуальної транспортної системи м. Києва

Місто Київ знаходиться у процесі активного розвитку автотранспортних структур, важливою частиною якого є створення вискоєфективної мережі автомобільних доріг, що забезпечує комфортність та безпеку руху учасників руху.

Київ нині вважається фінансово-індустріальним центром і ядром споживчого ринку. Через такі особливості київський транспортний вузол перевантажений, внаслідок якого останнім часом в ВДМ міста часто виникли затори.

В даний час дороги займають близько 8% площі міста, а на периферії дані показники знижуються до 2-3% при європейській нормі 15-20 %. Велика кількість автомобілів визнана однією з основних проблем транспортної системи міста Києва. Щорічний приріст кількості автомобілів оцінюється більш як на 8-10%. За інформацією ДІБДР на 2017 рік загальна кількість зареєстрованих машин становила 5,5 млн. Щорічний приріст оцінюється у 350-400 тис. одиниць автомобільного транспорту. За даними Центру організації дорожнього руху (ЦОДР), щодня на вулиці міста виїжджають близько 3,2-3,6 млн. автомобілів. За оцінками фахівців, одночасно на дорогах виявляється понад 700 тисяч машин, тоді як для забезпечення без заторного руху їх має бути менше 400 тисяч. Таблиця та графічна інтерпретація даних щодо кількості машин та аварій представлені в таблиці 1.3 та на рисунку 1.4.

Таблиця 1.3 - Кількість зареєстрованих МС та ДТП у Києві

Рік	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Кількість ТЗ (млн. авт.)	5.5	5.6	6	7.7	8.1	8.4
Кількість ДТП (од.)	9040	8875	9157	9296	7939	8496

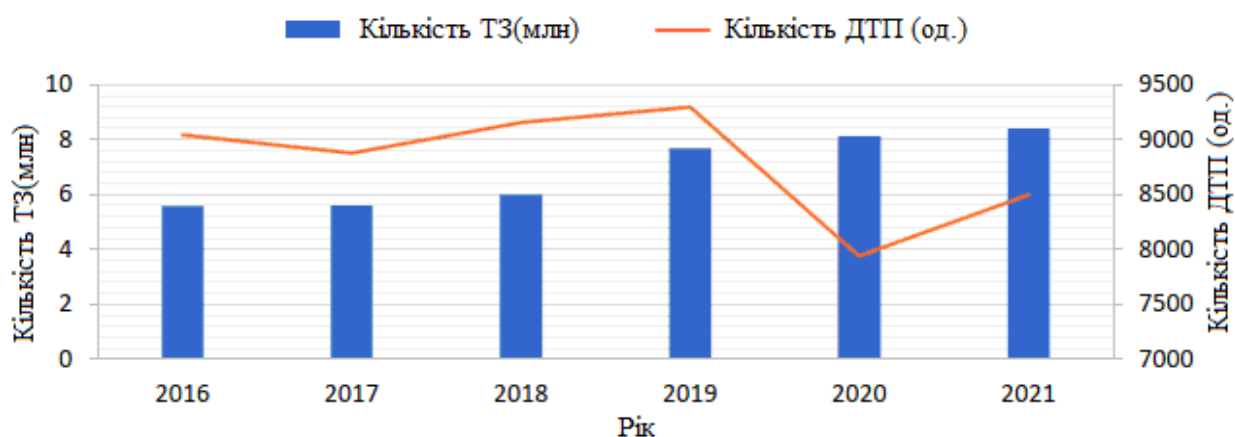


Рисунок 1.4- Статистика кількості автотранспортних засобів у м. Києві

Дана ситуація в міській транспортній мережі вказує на існування підвищеного ризику заторів у міській транспортній мережі як в даний час, так і

найближчим часом. Це свідчить про необхідність розробки та вжиття ефективних заходів щодо розвантаження існуючих ВДМ, зниження складності заторових ситуацій та їх негативних наслідків. При цьому необхідно проводити наукові дослідження про комплексні рішення, що охоплюють усі фактори транспортної системи: засоби організації дорожнього руху, транспортні засоби та саму вулично-дорожню мережу. У вищеописаній ситуації, поліпшення роботи ІТС є найефективнішим заходом. Це завдання вважається досяжним за рахунок інтеграції системи директивного управління транспортним рухом (ДУТР) та непрямым управлінням транспортним рухом (НУТР).

У 2020 році київська міська транспортна система займала перше місце у світовому рейтингу із завантаженості доріг. У 2019 році столиця України посіла шосте місце. У середньому кожен водій втрачав у київських пробках до 200 годин щороку. Щоденні втрати оцінюються у 22-30 хвилин. Водії витрачали на кожну поїздку на 59% більше часу, ніж при поїздках у нормальних умовах, у годинник пік втрати часу зростають у рази. У ранкові «години пік» затримка становила в середньому додаткові 87% від непікових умов, а вечорами у будні сягала 115%, тобто перевищувала більш ніж удвічі показники нормальних умов у середньому. За підрахунками фахівців у тимчасовому обчисленні затримки збільшувалися на 26 та 32 хвилини відповідно. Статистика втраченого часу в «годинник пік» та рівні завантаження автотранспортної мережі за роками з 2016 по 2021 подано в таблиці 1.4 та на рисунку 1.5. Під рівнем завантаження мережі розуміється середній додатковий час у дорозі по відношенню до часу поза годиною пік. Цей параметр розраховується на даних інформації про завантаженість транспортної мережі.

Таблиця 1.4 – Статистика завантаження ВДМ м. Києва за роками

Рік	2016	2017	2018	2019	2020	2021
Втрачений час на годину-пік на	214	220	218	225	200	140
Рівень завантаження мережі (%)	44	57	56	59	54	61

З таблиці видно, що кількість втраченого часу в «години пік» у середньому за рік та рівні завантаженості мережі загалом збільшується з роками. Ці значення

помітно знижуються у 2020 році, що пояснюється зниженням попиту на перевезення у перший рік пандемії.

В результаті аналізу ситуації транспортної мережі виявляються такі основні причини:

- велика інтенсивність ТЗ у години пік;
- недоопрацьовано систему реагування на транспортні ситуації з високим ризиком виникнення транспортних колізій;
- якість та технічний стан технічних засобів управління дорожнім рухом не відповідає зростаючим попитом населення на пересування та перевезення пасажирів та вантажів.

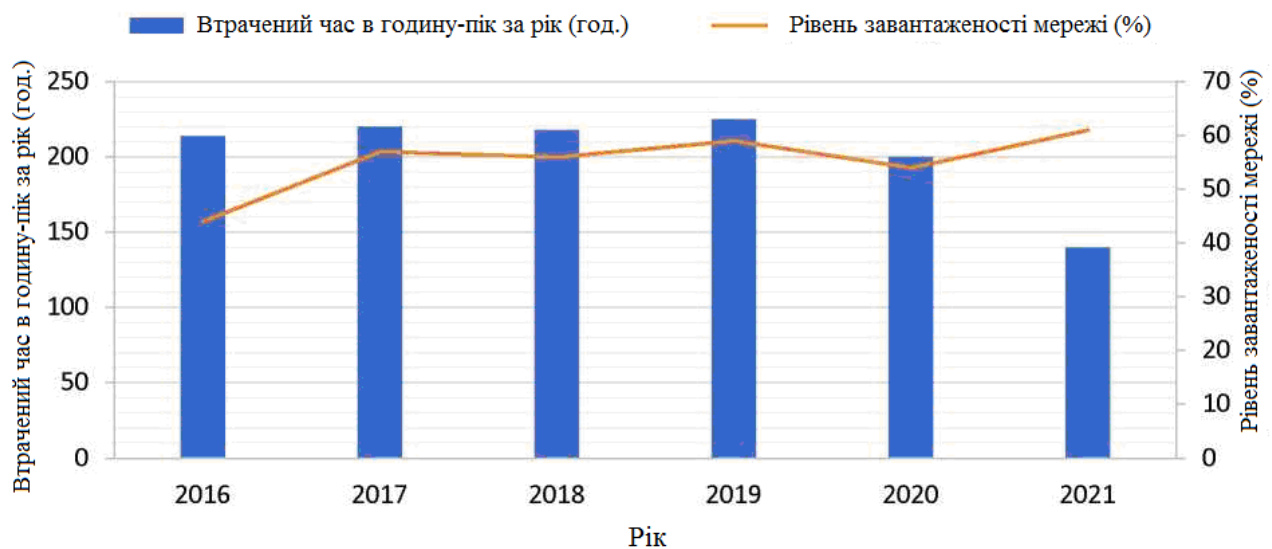


Рисунок 1.5 - Статистика завантаження ВДМ м. Київа за роками

На основі проведених досліджень в організації дорожнього руху, впровадження ІТС з метою вирішення транспортних заторів та аналізу поточної дорожньої ситуації в місті Києві було зроблено такі висновки:

Особливості системи ІТС Києва:

- багатофункціональність системи (моніторинг дорожнього руху та роботи транспортної системи, інформування учасників руху, фіксація порушень правил дорожнього руху);
- вирішення проблеми транспортних заторів;
- онлайн-інтерфейс систем.

В даний час система ІТС м. Київа має ряд недоліків:

- недостатні темпи розвитку інфраструктури транспортної системи щодо

темпів зростання попиту у пересуванні жителі міста;

- немає стандартів в інтеграції робіт підсистем ІТС;

- немає готових планів реагування на ситуації у дорожній мережі із високим ризиком виникнення транспортних колізій;

- відсутній узагальнений критерій оцінки параметрів функціонування систем ІТС, що враховує їхній вплив на УДР. Проблема визначення структури та параметрів технічних засобів підсистем ІТС залишається невирішеною, а також відсутня порівняльна оцінка ефективності функціонування цих підсистем. Крім того, не встановлені єдині вимоги та стандарти до використовуваних технічних засобів та систем, що розробляються;

- низький рівень інформування учасникам дорожнього руху під час затору.

Існує необхідність у впровадженні технічних рішень для покращення ОДР у місті Києві. Це включає заходи, спрямовані на оптимізацію транспортних потоків і зниження транспортних заторів. Для ефективної реалізації систем ІТС необхідно застосувати додаткові та спеціалізовані методи експлуатації існуючих систем. Ефективність роботи ІТС має бути покращена, особливо щодо реагування на дорожньо-транспортні ситуації, де спостерігається зниження пропускної спроможності міської транспортної інфраструктури. Це може бути викликано, наприклад, закриттям однієї або кількох смуг руху з різних непередбачуваних причин.

У місті ще не вживаються необхідних заходів щодо УДР у разі виникнення непрогнозованих заторів. Крім того, відсутня як політична, так і технічна основа для регулювання та організації транспортних потоків у таких критичних умовах. За результатами аналізу рівня розвитку ІТС у регіоні визначено, що недостатня увага приділяється створенню підсистем інформування учасників дорожнього руху за допомогою динамічних інформаційних табло, знаків змінної інформації чи бортових пристроїв транспортних засобів та персональних комунікаційних пристроїв.

Для підвищення ефективності ІТС необхідно посилити її підсистеми, включаючи системи інформування учасників дорожнього руху та системи управління дорожнім рухом через світлофори. Це дозволить більш ефективно

реагувати на зміни у дорожній ситуації та знизити їх негативні наслідки для учасників руху. Таким чином, покращення ОДР та підвищення ефективності ІТС у місті Києві потребує комплексного підходу та впровадження технічних та організаційних заходів.

Таким чином, міська транспортна система Києва має характерні риси сучасної транспортної системи: обладнана передовими технологіями та механізмами для забезпечення організації руху: дорожня транспортна мережа з великою кількістю особистих транспортних засобів; високий попит на вантажне та пасажирське перевезення; наявність багатьох ризиків заторів руху; система транспортного руху оснащена новою технологією ОДР через ІТС.

Висновки за розділом 1, тема та завдання

1. Ситуація затримки транспортних засобів на дорогах мають тенденцію збільшуватися з року у рік у густонаселених містах по всьому світу, в результаті якого очікується тенденція зниження показників ефективності транспортної системи і призведе до соціально-економічних витрат у найближчі роки.

2. Досвід розвинених країн показує, що необхідно впроваджувати ІТС підвищення ефективності системи ОДР.

3. Зосередити увагу на проблемі встановлення та реалізації експериментального визначення оптимального маршруту руху транспортних засобів та прогнозування параметрів транспортного потоку (насичення транспортної мережі) за наявності перешкод руху ТЗ у мережі.

4. Поточний науковий аналіз проблеми НУТП недостатній, що наголошує на необхідності проведення додаткових досліджень у цій галузі.

5. Рекомендується вирішувати проблеми заторів на дорогах на основі підвищення ефективності експлуатації та використання існуючих компонентів транспортної системи (динамічні інформаційні табло та світлофори) під час інтеграції двох підсистем ІТС .

Результати проведеного аналізу виявили основні завдання, які будуть розглянуті у рамках дослідження. Закриття однієї або кількох смуг руху знижує

пропускну спроможність дорожньої інфраструктури, що може спричинити затори на дорогах. Це дослідження має базуватися на системі пошуку рішення для таких ситуацій при застосуванні ДІТ та світлофорної системи. Зазначена система надає інформацію про маршрути об'їзду для учасників дорожнього руху та координує роботу світлофорів з метою перерозподілу транспортних потоків на перехрестях та в інших напрямках, що сприяє зниженню навантаження на дорожню мережу та підвищенню ефективності ОДР загалом.

Основним завданням цього дослідження є формалізація процесу в математичному вираженні, а також визначення оптимальних рішень та цільових показників.

Метою магістерської роботи є мінімізація загальних витрат пересування учасників дорожнього руху для ситуації зниження пропускну спроможності навантаженої ділянки вулично-дорожньої мережі (ВДМ), у тому числі через виникнення ДТП, за рахунок управління транспортним потоком із застосуванням систем директивного та непрямого управління в інтелектуальній транспортній системі.

Основні завдання дослідження, відповідно до мети, полягали в наступному:

- визначення основного елемента системи управління транспортним рухом у разі виникнення заторів з допомогою аналізу досвіду реалізації інтелектуальної транспортної системи;
 - обґрунтування сукупності показників ефективності вибору оптимальних сценаріїв управління транспортним рухом та математичної моделі визначення мінімальної витрати пересування учасників дорожнього руху через мережу;
 - проведення експериментальних досліджень з оптимізації управління дорожнім рухом у разі виникнення заторів;
 - проведення економічної оцінки ефективності оптимізації ремаршрутизації
- Наукова новизна роботи полягає у:
- сформовано фактори, що зв'язує параметри, які характеризують пересування учасників дорожнього руху по мережі як критерії вибору маршруту руху водіїв у разі ДТП;
 - розроблена математична модель визначення мінімальної витрати

пересування учасників дорожнього руху через мережі у ситуації перекриття однієї чи кількох смуг проїжджої частини дороги;

- визначено нейронну мережу з максимальним значенням обсягу перенаправленого транспортного потоку у вулично-дорожню мережу в залежності від характеристик запропонованого водіям об'їзної дороги;

- побудовано алгоритм визначення оптимального сценарію управління транспортними потоками в умовах високих ризиків виникнення транспортних колізій.

Практичною значимістю магістерської роботи є: розроблена методика визначення оптимального сценарію управління транспортними потоками в умовах високих ризиків виникнення транспортних колізій, за яких перекрито одну або кілька смуг проїзної частини доріг.

РОЗДІЛ 2. ПОБУДУВАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНИХ ПАРАМЕТРІВ ІТС У ЗАВДАННІ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ

Закриття однієї або кількох смуг руху знижує пропускну спроможність дорожньої інфраструктури, що може спричинити затори на дорогах. Це дослідження базується на системі пошуку рішення для таких ситуацій при застосуванні ДІТ та світлофорної системи. Зазначена система надає інформацію про маршрути об'їзду для учасників дорожнього руху та координує роботу світлофорів з метою перерозподілу транспортних потоків на перехрестях та в інших напрямках, що сприяє зниженню навантаження на дорожню мережу та підвищенню ефективності ОДР загалом.

Завданням цільової функції є знаходження раціонального рішення при мінімальній витраті на пересування учасників транспортного руху. Схема дослідження представлена на рис. 2.1.

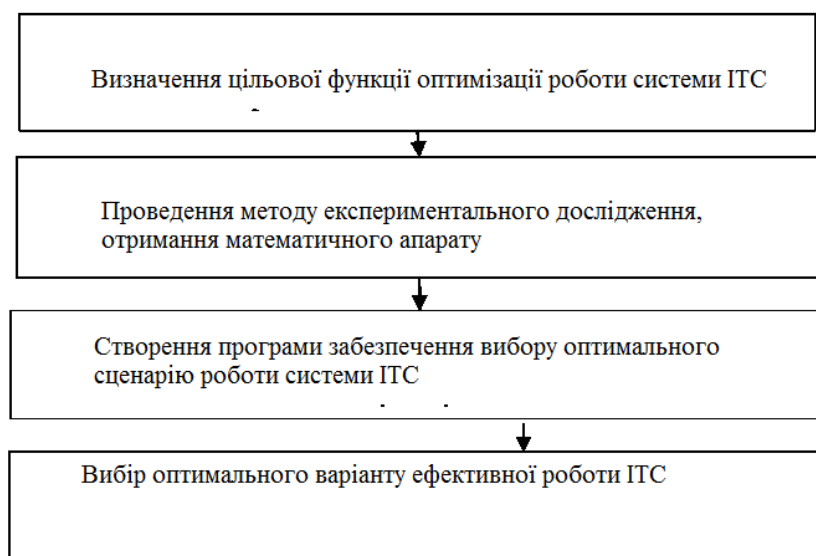


Рисунок 2.1 – Етапи дослідження ефективності функціонування ІТС при УДР

Початковим етапом є виявлення цільової функції оптимізації роботи системи ІТС. На цьому етапі було створено докладний класифікатор суб'єктів та об'єктів дослідження, а також проведено попередні дослідження для визначення ефективності робіт УДР, визначити параметри сценарію УДР із використанням

системи ІТС.

Наступним етапом було сформовано методику експериментального дослідження, спрямовану отримання достовірних даних. На реальній ділянці ВДМ визначилися інтенсивності дорожнього руху, параметри доріг та системи ОДР.

Далі передбачено визначення вхідної та вихідної інформації технічних засобів НУТП та ДУТП та закономірності в отриманих даних.

Математична модель відображає залежність вхідних параметрів від вихідних, що дозволить вибрати сценарію УДР із такими технічними параметрами, які дозволять отримати від системи максимальну ефективність у рамках оптимальних/мінімальних витрат. Знаходження екстремумів функції оптимізації потрібне визначення відповідних значень параметрів ІТС.

При проектуванні технічних параметрів систем ІТС необхідно проводити дослідження в області оптимізації створюваної системи для підвищення її ефективності та виключення негативних наслідків від впровадження. Це включає проведення ряду об'єктних, натурних та модельованих випробувань. Для здійснення досліджень потрібно виділити фактори, що впливають на ключові параметри системи та встановити взаємозв'язок між ними. Було встановлено, що для розробки ІТС необхідно:

- точний опис діяльності та середовища застосування підсистеми ІТС;
- точний опис методики оцінки ефективності ІТС та способів проведення дослідження їх;
- розробка алгоритму визначення структури та параметрів технічних засобів НУТП та ДУТП.

2.1 Визначення цільової функції

Для оптимізації параметрів роботи підсистем ІТС введемо поняття цільової функції визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом при застосуванні системи ІТС з урахуванням інтеграції підсистем (системи КУТП і ДУТП).

Ефективність і доцільність функціонування УДР можуть бути оцінені за ступенем поліпшення параметрів транспортної мережі після впровадження системи ІТС. оцінити загальну ефективність запропонованого варіанта управління транспортним потоком.

Поняття «Недоліки» у цьому випадку пропонується для оцінки ефективності заходів з управління дорожнім рухом. Під «Недоліком» розуміється функція від сумарного кількісного зміни основних показників пересування учасників дорожнього руху на мережі під впливом заходів з ОДР з урахуванням коефіцієнта значимості кожного параметра критерій вибору маршруту руху транспорту.

У загальному вигляді цільова функція завдання УДР має вигляд:

$$И = F(x_i) \quad (2.1)$$

де: И- цільова функція завдання УДР, % - характеристики транспортного потоку, $F(x_i)$ - Функція розрахунку значення витрата пересування учасників дорожнього руху і -ої сценарії з управління дорожнім рухом.

Основна мета завдання управління дорожнім рухом на основі ІТС – це мінімізація негативних наслідків неправильного розподілу транспортних потоків та максимізація переваг від впровадження системи ІТС. Завдання визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом можна розбити на 3 підзадачі:

1. Визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом. Визначення схеми перенаправлення транспортного потоку через мережу, за яких $I = \min$.
2. Визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку через мережу.
3. Визначення оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів.

Початкове завдання полягає у максимізації потенційного впливу впровадження системи ІТС в цілому, а наступні завдання спрямовані на максимізацію потенційного ефекту від впровадження системи контролю управління транспортним потоком (КУТП) та динамічного управління

транспортним потоком (ДУТП) відповідно. Оскільки визначення значень показників майбутнього стану системи включає оцінку потенційних змін, доцільно використати імітаційне моделювання.

Метою завдань визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом є виявлення оптимальної стратегії перенаправлення транспортного потоку через мережу, визначення найкращої частки перенаправлення потоку та оптимального режиму роботи світлофорів. Це місце має вибиратися з урахуванням двох припущень:

- можливість отримання та реалізації отриманої інформації з ДІТ, що у нашому випадку означає можливість водіїв зміни маршруту руху за вказівкою повідомлень у ДІТ;
- можливість безаварійного відволікання уваги від дорожньої обстановки на ДІТ, що означає підвищення помітності ДІТ – реалізується завданням визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку.

Завдання визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку через мережу полягає у визначення можливості максимального залучення водіїв за пропонованою схемою руху через мережу. Розв'язання цього завдання шукатимемо у вигляді розробки методу опитування на вибір водіїв маршруту руху через мережу серед запропонованих варіантів схеми. У зв'язку з високим ступенем невизначеності у постановці завдання, пропонується застосувати методи штучних нейронних мереж для її вирішення.

Завдання визначення оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів полягає у можливості переходу транспортного засобу через перехрестя з світлофорним регулюванням залежно від дорожньої обстановки. Розв'язання цього завдання шукатимемо у вигляді розробки моделі транспортної мережі. Оскільки завдання ставиться з великою кількістю технічних характеристик транспортної системи, то вирішення цієї задачі будемо шукати за допомогою моделювання в середовищі *Vissim*.

Таким чином, знаходження оптимуму цільової функції I в цій роботі можна звести до:

$$I = F(x_i) = F_{\text{сц}} * F_{\text{д}} * F_{\text{св}} \rightarrow \text{optimum, при } F(x_i) \rightarrow \min \quad (2.2)$$

де I - цільова функція завдання УДР, $F_{\text{ЦП}}$ - цільова функція задачі визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом; F_A - цільова функція завдання визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку; $F_{\text{СВ}}$ - цільова функція завдання оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів.

Далі буде розглянуто знаходження $F(x_i)$ для задач визначення оптимального схема управління дорожнім рухом, визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку через мережу та визначення оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів.

2.2 Визначення типу наукового завдання та обґрунтування математичного апарату

Боротьба з транспортними заторами у Києві залишається одним із найактуальніших завань. В умовах зростання автомобільного руху та збільшення складності управління транспортним потоком органи державної влади Київського регіону вживають заходів щодо впровадження Інтелектуальних Транспортних Систем (ІТС). Метою цих систем є зниження впливу та тяжкості затору та підвищення пропускної спроможності ВДМ. Головне завдання цієї роботи - щодо дослідження необхідно підібрати відповідний математичний апарат. Розроблена математична модель є сукупність математичних параметрів та його взаємозв'язків, які відбивають характеристики і параметри транспортної системи.

У цьому дослідженні математична модель грає ключову роль як базова складова. На рисунку 2.2 подано різні варіанти математичних методів, включених до складу цієї моделі.

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ		
Аналітичні		Імітаційні
Теоретичні	Емпіричні	Теоретичні
Лінійні Нелінійні	Нелінійні	Нелінійні
Статичні	Динамічні	Динамічні
Детерміновані	Стохастичні	Детерміновані
Аналітично розв'язні	Чисельно можна розв'язати	Чисельно можна розв'язати

Рисунок 2.2 – Класифікація математичних моделей

Використана в цій роботі теоретична та експериментальна математична модель ґрунтується на залежності параметрів функціонування системи ІТС від параметрів ВДМ.

Визначення параметрів моделі

Оптимізація ефективності управління дорожнім рухом досягається підвищенням якості роботи системи ІТС, в результаті якого покращується якість дорожнього руху, зменшенням та втрати транспортного потоку від затору. Вигода від запровадження ІТС надається через традиційні показники (час у дорозі ТП, довжина перепробігу автомобілів, зниження транспортних заторів тощо), і наведені показники через них.

Критерієм оцінки ефективності заходів щодо ОДР є час руху транспортних засобів. Фактично ефективність заходів щодо ОДР також відбивається і на інших характеристиках дорожньої діяльності: дальності проїзду, швидкості транспортного потоку

Для визначення факторів, що впливають на пересування учасників дорожнього руху, необхідно розглянути та оцінити зміни параметрів транспортних потоків у ситуаціях організації дорожнього руху при виникненні пробок у дорожньо-транспортній мережі. У ситуації перевантаженості дорожньої мережі в рамках даної роботи пропонується два рішення для зниження їхнього негативного впливу на транспортну мережу в цілому:

- перенаправити частину потоку транспортних засобів з головної дороги (де виникають затори) на прилеглі дороги за умови, що це не призведе до виникнення затору на цих дорогах;
- налаштувати цикл транспортних світлофорів на перехрестях відповідного маршруту;

Під час проведення таких заходів щодо управління рухом у мережі проглядаються дві групи залежності.

Перша з яких є залежністю значення часу руху і дальності проїзду транспортного потоку від схеми і частки перенаправлення потоку через мережу. Зміна частки перенаправлення транспортних засобів між маршрутами в мережі призведе до зміни сумарного часу в дорозі та відстані, пройденого транспортними

засобами через транспортну мережу в цілому. Ця зміна неоднорідна (не тільки прямо-, не тільки обернено-пропорційно). Однак, починаючи з деякої ситуації (включаючи схеми руху та частки перенаправлення потоку), на кожній схемі руху через мережу кожен наступний відсоток збільшення частки транспортних засобів буде приносити менший обсяг наведеної ефективності, за рахунок збільшення дальності поїздки. Це призводить до того, що стан транспортної мережі може досягати критичного стану, що дозволяє визначити оптимальний сценарій регулювання транспортного засобу в ВДМ у разі виникнення затора.

Друга залежність є залежністю значення часу руху і дальності проїзду транспортного потоку від тривалості циклів і фаз транспортних світлофорів. Чим довше тривалість роздільної здатності, тим більша пропускна здатність на відповідному маршруті. Однак при цьому одночасно відбудеться зниження пропускної здатності маршруту, що перетинає його, що відбувається через обмежену величину циклу світлофора, яка не збільшується нескінченно. Ця проблема виражається через величину часу затримки транспортних засобів у транспортній мережі, що з наявністю заходів щодо організації руху світлофорами.

Ці залежності виражаються через зміни значень часу руху ТЗ в мережі та пройдених перепробігів ТЗ, які у свою чергу залежать від інтенсивності транспортного потоку, значення пропускної спроможності ВДМ, схеми пересування транспортного потоку через мережу, режиму роботи світлофорної-сигналізації в кожному перехресті. Мета цільової функції - знайти зону оптимуму показники для будь-якої транспортної мережі у разі виникнення обставини руху транспортного потоку. Цей показник є ефективність роботи системи ІТС.

В рамках даного дослідження для оцінки ефективності використовуються два критерії - зміна часу руху та пройденої відстані транспортного засобу при русі в аналізованій транспортній мережі. Фактор швидкості потоку транспортних засобів виражається через відношення між відстанню в дорозі і часом у дорозі, тому цей критерій у цьому дослідженні не розглядається. Швидкість у цьому дослідженні визначається методом імітаційного моделювання, який представлений у третій главі цієї дисертації.

Ці два параметри є результатом методу організації руху, до якого входять:

перерозподіл руху транспортного потоку за різними схемами в транспортній мережі, частки перенаправлення транспортних засобів з головної дороги на об'їзні шляхи, режим роботи систем транспортних світлофорів - тривалість циклу світлофора.

У контексті, де перенаправлення транспортного потоку на великі відстані та з великим обсягом вважається неоптимальним, потрібно виявити максимальний сукупний ефект. З цього максимального ефекту виділяє оптимальний сценарій управління дорожнім рухом.

Визначимо ці параметри як:

- мінімізація час пересування транспортного потоку через мережі;
- мінімізація середніх затримок по дорозі ТЗ, які проходять цю мережу, тобто. зниження середнього часу на шляху обслуговуваних мережею ТС.

Тоді математична модель у загальному вигляді має вигляд:

$$I_{\Delta i} = f(\Delta t_i, \Delta l_i, k_t, k_l) \quad (2.3)$$

де $I_{\Delta i}$ - величина витрати, зекономлена за рахунок реалізації i -го організаційного варіанту порівняно з непроведенням перенаправлення транспортного потоку та зміни режиму робіт світлофорів у перехрестях у заторових ситуаціях в ВДМ; $t_i, \Delta l_i$, - кількісна зміна відповідно до часу руху, пройденої відстані транспортних засобів у мережі до та після застосування i -го варіанту (сценарію) управління руху транспортного потоку в мережі; k_t, k_l - коефіцієнти значущості відповідно до часу руху, пройденої відстані транспортним рухом у мережі.

У цьому дослідженні розрахунок сумарного значення витрати пересування учасників дорожнього руху (I), грн. має вигляд:

$$I = f(T, L) = k_t \cdot T + k_l \cdot L \quad (2.4)$$

$f(T, L)$ - функція витрати поїздки транспортних засобів

T, L - Значення часу (година) та пробігу (км) транспортного потоку через мережу.

k_t, k_l - значення вартості одиниці часу (грн./автомобіль.год) та пробігу (грн./автомобіль.км) транспортного потоку через мережу.

Розрахунок сумарного значення витрати пересування учасників дорожнього руху в початковій умові затору (без перенаправлення ТП по мережі), грн.:

$$I_0 = f(T_0, L_0) = k_t * T_0 + k_l * L_0 \quad (2.5)$$

T_0, L_0 - Значення часу і пробігу транспортного потоку через мережу в початковій умові затору (без перенаправлення ТП по мережі)

Розрахунок сумарного значення витрати пересування учасників дорожнього руху (I_i) для i -го сценарію управління (з перенаправленням ТП по мережі), грн.:

$$I_i = f(T_i, L_i) = k_t * T_i + k_l * L_i = k_t * (T_0 - \Delta t_i) + k_l (L_0 + \Delta l_i)$$

$$\begin{aligned} T_i &= T_0 - \Delta t_i \\ L_i &= L_0 + \Delta l_i \end{aligned} \quad (2.6)$$

i – порядковий номер сценарій управління транспортним потоком.

T_j, L_j - Значення часу та пробігу транспортного потоку через мережу у 5-му сценарії.

$\Delta t_i, \Delta l_i$ - Значення зміни часу та пробігу транспортного потоку в 5-му сценарії.

Зниження витрати пересування учасників дорожнього руху при реалізації 5-го сценарію управління, грн:

$$\Delta I_i = I_i - I_0 = -k_t * \Delta t_i + k_l * \Delta l_i \quad (2.7)$$

Як було сказано вище, значення Δt та Δl змінюються залежно від конкретного варіанта УДР. Отже, цільовою функцією стає визначення маршрутів руху, частки перенаправлення ТЗ у мережі та відповідного способу організації дорожнього руху світлофорами для мінімізації значення витрат пересування учасників дорожнього руху у мережі.

У рамках дослідження розрахунок проводитиметься виходячи із зміни значень часу руху та пройденої відстані транспортних засобів через мережі при реалізації певних сценаріїв управління дорожнім рухом порівняно з таким самим значенням за початкових (заторових) умов.

Збільшення значення пробігу, пройдене одним транспортним засобом у мережі за i -м сценарієм, визначається за формулою:

$$\Delta l_{ij} = l_{ij} - l_0 \quad (2.8)$$

l_0 - Відстань, пройдена транспортним засобом по початковому маршруту (без зміни напрямку у разі виникнення дорожньо -транспортної пригоди), км.

l_{ij} - Відстань, пройдена транспортним засобом при прямованні по j - му маршруту, запропонованому водієві транспортного засобу за i - им сценарієм, км.

Збільшення значення пробігу, пройдене потоком транспортних засобів в мережі за i сценарієм, визначається за формулою:

$$\sum \Delta l_i = \sum \Delta l_{ij} * n_{ij} \quad (2.9)$$

n_{ij} - кількість транспортних засобів, що рухаються по j -му маршруту в i - му сценарії управління дорожнім рухом, авт.

Значення перепробігу, пройдене транспортним засобом у цьому дослідженні, визначається фактичною довжиною об'єкта, що обстежується (маршрута руху автомобілів в ВДМ).

Зниження значення часу руху транспортного засобу в мережі по j - му маршруту в i -му сценарії визначається за формулою:

$$\Delta t_{ij} = t_0 - t_{ij} \quad (2.10)$$

t_0 - значення часу руху транспортного засобу по первісному маршруті (без зміни напрямку у разі виникнення дорожньо-транспортної пригоди), год.

t_{ij} - Значення часу руху транспортного засобу при прямованні по j -му маршруту, запропонованому водієві транспортного засобу в i -му сценарії, год.

Зниження значення часу руху транспортного засобу в мережі за i - м сценарієм визначається за формулою:

$$\sum \Delta t_i = \sum \Delta t_{ij} * n_{ij} \quad (2.11)$$

n_{ij} - кількість транспортних засобів, що рухаються по j -му маршруту в i -му сценарії управління дорожнім рухом, авт.

Згідно з цільовою функцією необхідно провести розрахунок загального наведеного значення на ділянці для кожного сценарію управління дорожнім рухом. У цій роботі, для кожного варіанта організації руху величина економічних засобів розраховується за такою формулою:

$$\Delta I_i = - \sum \Delta t_i * k_t + \sum \Delta l_i * k_l \quad (2.12)$$

k_t – значення вартості однієї одиниці часу руху транспортних засобів у мережі (грн./автомобіль.год);

k_l – значення вартості однієї одиниці пройденної відстані транспортних засобів у мережі (грн./автомобіль.км).

Оптимальний сценарій ОДР визначається як сценарій з найменшим значенням витрати, яка є функцією часу і відстані, пройденого транспортним потоком в ВДМ. Шляхом порівняння показників до та після впровадження сценарію управління дорожнім рухом виявляються зміни. На основі цих змін визначається оптимальний сценарій управління дорожнім рухом шляхом сортування значень зазначеного показника. Чим більше значення наведеного показника, тим ефективнішою є робота системи ІТС. Виходячи з цього, можна визначити оптимальний варіант управління дорожнім рухом на ділянці, що розглядається.

Серед можливих варіантів управління транспортними потоками оптимальним визначається той, який має найменше наведене значення вартості. Тоді цільова функція має вигляд:

$$|\Delta I_i| \rightarrow \max \text{ при } I_i \rightarrow \min, I_i < I_0 \quad (2.13)$$

Найкраще варіант відповідає певний режим роботи окремих підсистем системи ІТС.

Визначення маршруту руху транспортного потоку через мережу

Схема/маршрута руху транспортних засобів у першій черзі залежить від структури транспортної мережі. У нормальних умовах руху оптимальна схема руху визначається як схема з оптимальною якістю руху транспортного потоку, зазвичай представлена схемою з найменшим значенням відстані та коротким часом шляху. Всі водії зазвичай вибирають ту саму схему.

При необхідності змінювати маршрут руху, водієві може бути представлено безліч альтернативних маршрутів дорожнього руху. Ці маршрути відрізнятимуться своїми характеристиками: часом руху, відстанню проїзду, характеристиками дорожньої системи, кількістю транспортних розв'язок,

системою організації руху. Рішення про вибір водіями транспортних засобів схем руху багато в чому залежить від унікальних характеристик кожної схеми руху відповідно до критеріїв вибору пріоритету водія, але не за межами можливих схем руху у дорожній мережі.

Схема руху транспортних засобів у дорожній мережі визначається вручну. Можливі схеми руху транспортного потоку представлені на рисунках 2.3 - 2.7.



Рисунок 2.3 – Схема безаварійного руху.



Рисунок 2.4 - Схема потоків без об'їзду за об'їзним маршрутом (K0)



Рисунок 2.5 - Схема потоків з об'їздом через один маршрут, що примикає (K1)

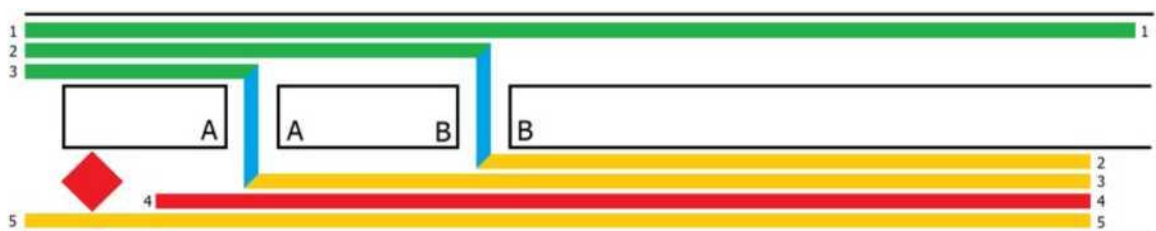


Рисунок 2.6 - Схема потоків з об'їздом через два сусідні маршрути (K2)

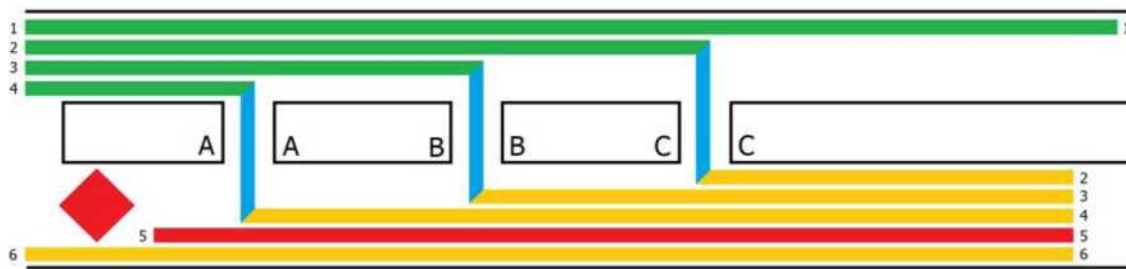


Рисунок 2.7 - Схема потоків з об'їздом по капіляру через три сусідні маршрути (К3)

Для визначення різних параметрів транспортної мережі в цьому дослідженні використовувалися різні методи.

Визначення оптимальної частки перенаправлення транспортного потоку в мережі.

Обсяг руху транспортних засобів у міській транспортній мережі визначається на основі оцінки пропускної спроможності аналізованої ділянки дороги в порівнянні з інтенсивністю руху на цій ділянці дороги. На основі цього значення рішення по ОДР визначають максимальну кількість транспортних засобів, які можуть бути додатково відправлені за цим маршрутом.

Теоретично організації сучасного дорожнього руху, перенаправлення транспортного потоку на дорозі здійснюється за рахунок ефективності роботи системи опосередкованої ОДР - системи організації дорожнього руху, підсистеми інтелектуальної транспортної системи. Ефективність методу КУТП залежить від відповідності запропонованого методу ОДР з поведінкою користувачів дорожньої мережі (водіїв). Це говорять про те, що частки перенаправлення транспортного потоку в мережі крім значення пропускної спроможності ділянки дороги, що розглядається, сильно залежить від вибору маршруту руху водіїв. Крім «правильного» характеру сценарію організації руху у транспортній системі загалом, сценарій організації руху має бути розроблений відповідно до потреб водіїв транспортних засобів. Ця відповідність виражається в тому, що дорожні заходи розраховуються та реалізуються на основі вибору та пріоритетів учасників дорожнього руху, які виражаються у їх поведінці при виборі маршрутів руху при управлінні дорожнім рухом.

При виникненні заторів на мережі одним із ефективних рішень щодо

зниження серйозних наслідків затора є перенаправлення частини потоку транспортних засобів за запропонованими маршрутами, які відображаються на ДІТ. Ці пропоновані маршрути руху повинні відповідати характеристикам вибору маршруту руху групи водіїв транспортних засобів у галузі, що розглядається, який є дуже суб'єктивним. Критерії вибору маршруту руху транспортної мережі водіїв транспортних засобів є вирішальним чинником, визначальним точність визначення оптимального частки для перенаправлення транспортних засобів. Вивчення дорожніх навичок або пріоритету водіїв транспортних засобів є основною вимогою для визначення плану ОДР та забезпечення ефективності цього плану. У ході дослідження було застосовано метод опитування для збирання інформації про вибір маршрутів водіями транспортних засобів. Метод опитування широко використовується завдяки своїй універсальності, дозволяючи отримувати інформацію про різні аспекти соціальної діяльності, включаючи об'єктивні факти, мотиви, ціннісні орієнтації та наміри респондентів. Його відносна економічна доступність порівняно з іншими методами збирання інформації та можливість використання обчислювальної техніки для аналізу даних роблять метод опитування привабливим для дослідників. Він має високу значущість для досліджень соціальних явищ і процесів, спостереження яких прямо ускладнене, а також у випадках, коли інформація про них обмежена або відсутня. Найбільш ефективним є використання опитування у поєднанні з іншими методами.

Найбільш ефективно застосування опитування досягається у поєднанні з іншими методами дослідження. У цій роботі метод опитування використовувався для першого кроку для збору даних про поведінку водіїв транспортних засобів за участю у дорожньому русі у ситуації скорочення кількості доступних смуг руху з непередбачених причин. Для збору даних було обрано метод інтерв'ю. Це один із найголовніших методів науки про поведінку, що використовуються при дослідженні та зборі соціологічної інформації про учасників дорожнього руху.

На основі відповідей учасників дорожнього руху методом опитування здійснюється збір наступної основної інформації:

- реакція водія на ситуацію затора під час пересування в ВДМ;

- реакція водія на запропонований варіант руху, що відображається на ДІТ;
- завдання вибору водієм маршруту руху, виходячи з особливостей транспортної мережі: умови руху (коефіцієнт завантаження дороги), зіставлення характеристик пропонуванних маршрутів з іншими маршрутами, інші особисті фактори водіїв під час вибору маршруту руху.

Для того щоб зробити загальні висновки щодо поведінки водіїв транспортних засобів за результатами, відображеними в опитуванні, інформацію, зібрану в ході опитування, необхідно проаналізувати та обробити різними методами. В рамках цього дослідження було проведено обробку інформації за допомогою SPSS , MS Excel для регресійного аналізу та нейронних мереж. SPSS (Statistical Package for the Social Sciences (Статистичний пакет для суспільних наук) - популярний метод оцінки обробки інформації, який добре підходить для обробки даних соціологічних опитувань. Однак, враховуючи особливості поведінки водіїв транспортних засобів, вибір здійснюється на основі безлічі критеріїв та між різними ситуаційними характеристиками, що характеризується змінними значеннями критеріїв. Вибір поведінки водіїв транспортних засобів також помітно змінюється. Відповідним методом, обраним щодо аналізу даних, отриманих з допомогою методу опитування, є метод нейронної мережі.

Метод штучних нейронних мереж застосовується у багатьох наукових дослідженнях взагалі та наукових дослідженнях у галузі ІТС зокрема. Використовувався метод штучних нейронних мереж як ефективний ШНМ-інструмент аналізу та синтезу даних, який має перевагу перед попередніми популярними продуктами, прикладом яких є SPSS та MS Excel для регресійного аналізу.

Опис методу штучної нейронної мережі (ШНМ)

Модель ANN (Artificial neural network) є інтелектуальну систему і використовується для вирішення складних завдань у багатьох додатках, таких як оптимізація, прогнозування, моделювання, кластеризація, розпізнавання образів, моделювання та інші. Структура ШНМ складається з трьох шарів: вхідного шару, який збирає дані, вихідного шару, який виробляє обчислювану інформацію, і одного або декількох прихованих шарів, що підходять для з'єднання вхідного та вихідного шарів. Нейрон є базовою одиницею обробки СР і виконує дві функції:

збір вхідних даних та створення вихідних даних. Кожен вхід множиться на вагу з'єднання, його твори та усунення складаються, а потім проходять через функцію активації, щоб отримати результат, як показано на рисунку 2.8.

Основні концепції нейронних мереж та його компоненти викладено у рисунку 2.8.

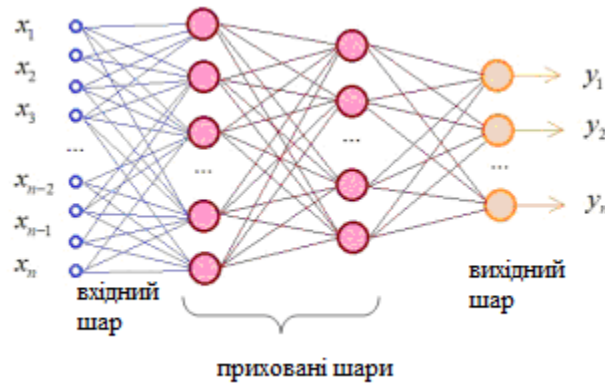
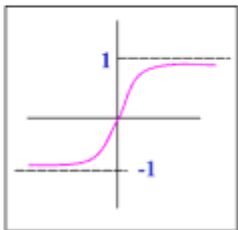
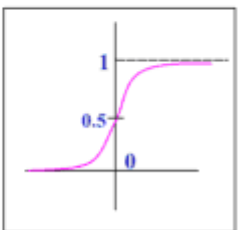
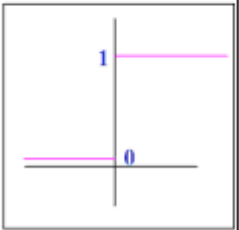


Рисунок 2.8 – Штучна нейронна мережа

У таблиці 2.1 показані характеристики функції в ШНМ.

Таблиця 2.1. - Характеристики функції в ШНМ

Активційні функції	Гіперболічний тангенс	Логістична	Порогова
Функція	$f(x) = \frac{e^x - e^{-x}}{e^x + e^{-x}}$	$(x) = \frac{e^x}{1 + e^x}$	$f(x) = \begin{cases} 0, & x < 0 \\ 1, & x \geq 0 \end{cases}$
Графік			

В даний час для вирішення задач прогнозування широко використовується метод апроксимації функцій із застосуванням нейронних мереж. Для вирішення завдань прогнозування за допомогою нейронних мереж в даний час застосовують підхід апроксимації функцій. Багато досліджень у галузі теорії та практичного застосування нейронних мереж підтверджують, що вони є одним із найефективніших методів апроксимації функцій. У процесі навчання параметри мережі, що настраюються, набувають форми, відповідної деякої функції, представленої вхідними і вихідними векторами навчального набору даних, застосовуючи метод апроксимації функцій. Даний підхід використовується в

задачах прогнозування, де кожному конкретному вектору, представленому вхідними параметрами нейронної мережі, відповідає конкретне значення прогнозованого вектора, представленого вихідними параметрами нейронної мережі:

$$y = f(x_1, x_2, x_3 \dots) \quad (2.14)$$

де x_i - i -ий вхідний вектор; y - відповідне значення прогнозованого вектора; $f(x_i)$ - прогнозуюча функція.

Якість прогнозу, необхідне вирішення конкретної проблеми, має значний вплив на прогностичну систему. Навчальна вибірка також значно впливає на прогноз.

Визначення оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів

Загальним у наведених результатах дослідження і те, що режим роботи світлофорів має відповідати інтенсивності руху на аналізованому маршруті. Крім того, вплив режиму роботи світлофорів на ефективність ОДР показано у величині затримки для водія транспортного засобу при проїзді через перехрестя, де встановлені відповідні світлофори.

Під визначенням оптимального режиму роботи світлофорів розуміється призначення часу сигналу світлофора дозволеної фази, при яких час руху транспортного засобу в дорожній мережі і досягає найменшого значення.

Час руху транспортних засобів у перегонах маршрутом руху в ВДМ визначається як час руху транспортного засобу від початкової точки в'їзду до кінцевої точки прямування транспортного засобу в аналізованій транспортній мережі. Час затримки транспортних засобів на перехрестях із світлофорним регулюванням визначається розрахунковим методом залежно від тривалості роздільної здатності фази.

Головна дорога - це місце, де відбувається різка зміна пропускної спроможності дороги внаслідок перекриття однієї чи кількох смуг руху. Тому рух транспортних засобів головною дорогою підпорядковується, крім закону нормального транспортного потоку, ще й закону теорії ударних хвиль.

Замість практичної пропускної спроможності використовується теоретичне значення (табл. 2.2). Сервісне навантаження відповідає LOS C.

Таблиця 2.2 - Значення a та b

Клас міської дороги	Швидкість руху без перешкод	Щільність розташування світлофорів (од./км)	Швидкість на рівні пропускної	a	b
Клас I	80	0.33	53	0.34	4
		1.0	31	0.74	5
		2.5	15	1.16	6
Клас II	65	0.5	40	0.38	5
		1.0	28	0.7	5
		2.0	18	1.0	5
Клас III	55	2.0	17	0.96	5
		3.0	13	1.0	5
		4.0	10	1.4	5
Клас IV	50	4.0	10	1.11	5
		5.0	8	1.2	5
		6.0	7	1.5	5

У таблиці 2.3 представлені значення швидкості руху без перешкод класів міських доріг, рекомендовані до застосування за відсутності локальних даних.

Таблиця 2.3 - Швидкість руху без перешкод для класів міських доріг

Клас міських доріг	Швидкість руху без перешкод за замовчуванням (км/год)
I	80
II	65
III	55
IV	45

За допомогою наявної формули на основі характеристик дорожньо-транспортної мережі та способу організації руху світлофорами визначити величину часу руху транспортних засобів через мережі.

Заторовий стан на перехресті виникає при $x > 0,85$. Для забезпечення деякого резерву пропускної спроможності слід прагнути значення x , не перевищує 0,75...0,80. Якщо перехрестя перевантажено, то шляхом застосування знаків, що забороняють і приписують, необхідно обмежити рух і можливість маневру. У часовій області затримка вважається допустимою, якщо її фактична величина вбирається у тривалість основного такту світлофора, регулюючого рух другорядної дорозі.

Розраховується взаємозв'язок між часом зеленого сигналу світлофора, щільністю потоку транспортних засобів та часом світлового дня, результати показані в таблицях 2.4 – 2.5 нижче.

Таблиця 2.4 - Визначення часу затримок автомобілів залежно від інтенсивності ТП та тривалості роздільної здатності фази світлофора

		Тривалість дозвільної фази світлофора, сек.																	
		5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90
Інтенсивність ТП, авт./год.	50	62,34	52,42	47,13	42,56	38,33	34,36	30,63	27,12	23,83	20,76	17,90	15,25	12,81	10,59	8,58	6,78	5,19	3,82
	150		59,21	50,14	44,60	39,93	35,69	31,76	28,09	24,66	21,47	18,51	15,77	13,25	10,95	8,88	7,02	5,38	3,96
	250		91,32	54,96	47,19	41,78	37,17	32,99	29,14	25,56	22,24	19,17	16,33	13,72	11,34	9,19	7,27	5,58	4,11
	350			67,50	50,92	44,06	38,87	34,37	30,29	26,54	23,07	19,87	16,92	14,22	11,76	9,53	7,54	5,79	4,27
	450				58,23	47,13	40,91	35,94	31,57	27,61	23,98	20,64	17,57	14,76	12,20	9,90	7,83	6,02	4,45
	550					52,19	43,52	37,78	33,01	28,80	24,97	21,47	18,27	15,34	12,68	10,29	8,15	6,26	4,63
	650					66,45	47,39	40,06	34,69	30,13	26,07	22,38	19,03	15,97	13,20	10,71	8,49	6,53	4,83
	750						55,30	43,20	36,72	31,66	27,29	23,39	19,86	16,66	13,77	11,17	8,85	6,81	5,05
	850						48,53	39,36	33,48	28,69	24,52	20,78	17,42	14,39	11,67	9,25	7,12	5,28	
	950								43,37	35,76	30,33	25,79	21,81	18,25	15,06	12,21	9,68	7,46	5,54
	1050									38,97	32,34	27,27	22,97	19,18	15,81	12,81	10,15	7,83	5,81
	1150									44,61	35,01	29,06	24,31	20,24	16,65	13,48	10,68	8,23	6,12
	1250										39,16	31,34	25,90	21,44	17,60	14,22	11,26	8,68	6,46
	1350											34,62	27,89	22,87	18,68	15,06	11,91	9,18	6,83
	1450											40,61	30,58	24,61	19,95	16,02	12,65	9,74	7,25
	1550												34,89	26,88	21,48	17,14	13,49	10,37	7,72
	1650													30,22	23,42	18,49	14,48	11,10	8,26
	1750														41,02	32,71	25,74	19,78	14,71
	1850														30,61	22,41	17,09	12,96	9,59
	1950															25,81	18,98	14,20	10,45
	2050																21,67	15,79	11,50
	2150																	17,98	12,83
	2250																		14,61
	2300																		15,79

Таблиця 2.5. - Безпечні відстані між машинами в залежності від швидкості

Швидкість, км/год	10	20	30	40	50	60	70	80
Безпечний інтервал, м	6	9	12	15	17	20	23	27

Завдання визначення оптимального режиму роботи систем транспортних світлофорів вимагає наявності та зв'язку між основними параметрами міської транспортної системи: цикл світлофорів, час проходження перехрестя транспортних засобів, інтенсивністю руху транспорту в залежності від пропускної спроможності автомобільної дороги на місці перехрестя, на якому передбачається встановлення системи світлофорів. Визначення необхідних значень параметрів транспортного потоку вимагає наявності адекватної імітаційної моделі транспортної мережі, створення якої у роботі здійснюється у середовищі імітаційного моделювання *Vissim PTV*.

2.4 Метод моделювання та програмного оброблення

VISSIM - це мікроскопічна модель імітації руху транспорту, що базується

на кроці часу та на поведінці водія. Рух транспорту імітується для різних граничних умов, наприклад, поділ смуг руху, склад транспортного потоку, регулювання світлосигнальних установок та облік індивідуального та громадського транспорту.

У мікроскопічну модель транспортного потоку закладено модель поведінки за попереду ідучою і модель зміни смуги руху. Результат імітації – це анімація руху транспорту в режимі онлайн на графічних поверхнях та автономне перерахування різних транспортно-технічних параметрів. Можливе моделювання транспортних потоків на макрорівні. Фахівці можуть змодельовати роботу транспортного вузла, розв'язки, ТПУ, паркування тощо.

Фахівці, використовуючи VISSIM, здійснюють:

- оцінку впливу типу перетину доріг на пропускну здатність (нерегульований перехрестя, регульований перехрестя, круговий рух, залізничний переїзд, розв'язка в різних рівнях);
- проектування, тестування та оцінку впливу режиму роботи світлофора на характер транспортного потоку;
- оцінку транспортної ефективності запропонованих заходів;
- аналіз управління дорожнім рухом на автострадах та міських вулицях;
- контроль за напрямками руху як на окремих смугах, так і на всій проїжджій частині дороги;
- аналіз можливості надання пріоритету громадському транспорту та заходи, спрямовані на пріоритетний пропуск трамваїв;
- аналіз впливу управління рухом на ситуацію в транспортній мережі (регулювання притоку транспорту, зміна відстані між вимушеними зупинками транспорту, перевірка під'їздів, організація одностороннього руху та смуг для руху громадського транспорту);
- аналіз пропускну здатності великих транспортних мереж (мережі автомагістралей або міської вулично-дорожньої мережі) при динамічному перерозподілі транспортних потоків (це необхідно, наприклад, при плануванні парковок);

- аналіз заходів щодо регулювання руху на автомобільному транспорті та при організації стоянок очікування (митних пунктів);
- детальну імітацію руху кожного учасника;
- моделювання зупинок громадського транспорту, причому враховується їхній взаємний вплив;
- розрахунок аналітичних показників, побудова графіки графіки (у Microsoft Excel) тимчасового завантаження мережі тощо.

У цьому дослідженні *Vissim* використовується з метою оцінки пропускнуої спроможності організованого перехрестя зі світлофорами. Моделювання у *Vissim* використовується як ШНМструмент для визначення взаємозв'язку між значеннями циклів світлофора, тривалістю роздільної здатності фази світлофора, інтенсивністю і швидкістю транспортного потоку і кількістю смуг руху проїжджої частини доріг (рис. 2.9).

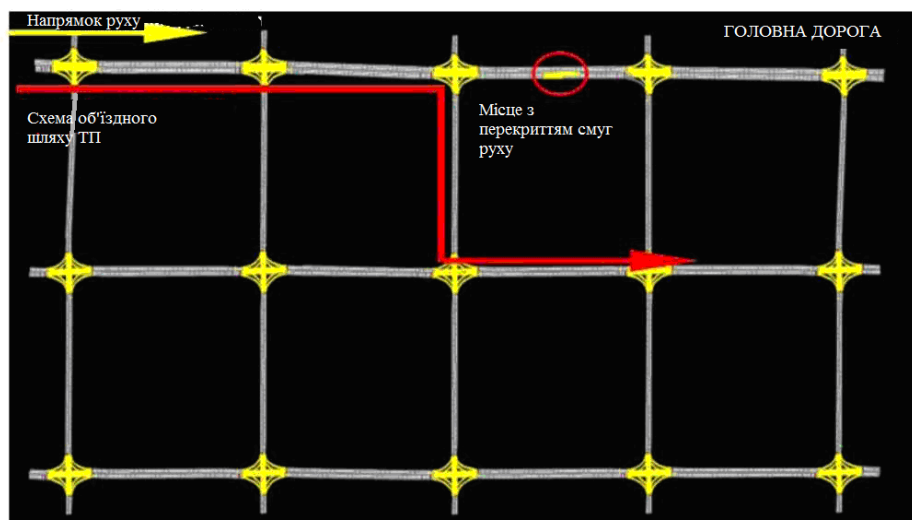


Рисунок 2.9 - Схема досліджуваної моделі транспортної мережі *Vissim*

В даний час у Києві розгорнуто передову багатофункціональну ІТС з великою кількістю сучасного та комплектного обладнання. Проте для складної транспортної системи міста діюча ІТС ще повністю охоплювала ситуації, тому її функцію не можна назвати повністю ефективною. Повноцінної функціональності цієї системи перешкоджає низка факторів:

- відсутність комплексної системи підходів у сфері дозволу транспортних пробок на регіональному рівні;

- відсутність повноцінної системи перенаправлення автомобіля у потоці транспорту у різних критичних ситуаціях транспортної системи;
- система КУТП та ДУТП не синхронізована за деякими аспектами та інші.

В Україні впровадження інтелектуальних транспортних систем на дорожній мережі суб'єктів здійснюється в рамках проєкту "Загальносистемні заходи розвитку дорожнього господарства", що входить до складу національного проєкту "Безпечні та якісні автомобільні дороги". Перелік цих ІТС включає фото- і відеофіксацію правопорушень, систему вагогабаритного контролю, а також адаптивні знаки, табло і "розумні" паркування. Прагнення розвитку ІТС залишається одним із найважливіших пріоритетів національної стратегії до 2030 року.

Приділяється особлива увага підвищенню ефективності організації міського транспорту, вирішенню проблеми заторів на ділянках за підтримки системи ІТС та її підсистем, які у режимі реального часу підтримують прямий зв'язок із Центром організації дорожнім рухом. Проведення дослідження аналізу даних дозволяє оцінити стан системи транспортної мережі та встановити перелік варіантів організації руху, які можуть бути реалізовані у разі заторів на дорогах. Пропоновані рішення були розроблені для подолання ситуації заторів на дорогах, використовуючи властиву пропускну спроможність існуючої транспортної мережі, зважаючи на звичку водія обирати маршрути руху транспортного засобу.

Тому розробка програмного забезпечення визначення оптимального варіанта з існуючих варіантів управління руху з допомогою системи ІТС є актуальною завданням, яка представлена у цьому главі. Ця програма дозволило виявити оптимальний варіант управління дорожнім рухом. Узагальнена архітектурна схема програми представлена рисунку 2.10.

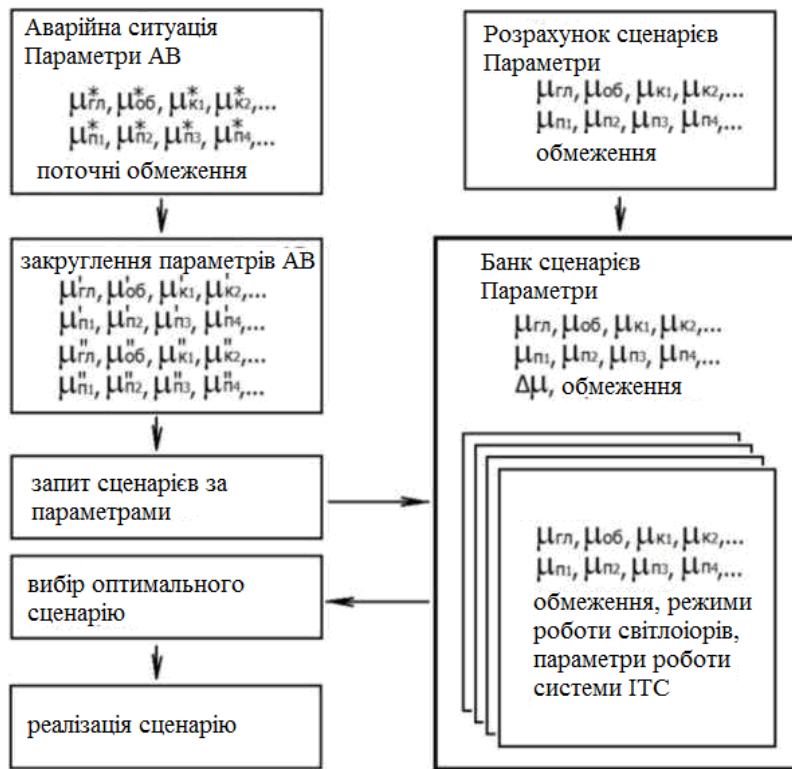


Рисунок 2.10 - Архітектурна схема програми визначення банку сценаріїв управління дорожнім рухом

Програмне забезпечення розроблено з урахуванням взаємозв'язків між різними параметрами транспортного потоку. Зміна значень основних параметрів є різні ситуації чи сценарії системи УДР. Виражене значення " μ " відображає зміну значення інтенсивності транспортного потоку, що відповідає кожній можливій ситуації системи УДР. Виходячи з необхідності обробки різних видів даних, що представляє однотипні математичні дії в умовах прямого перебору варіантів, є доцільним написання програмного продукту, який автоматизує можливості вибору, розрахунку та впорядкованого представлення результатів обробки.

Програмний продукт повинен бути представлений у зручному інтерфейсі, що дозволяє на підставі вибраних факторів, введених даних на вибір маршруту користувачів/водіїв, конструктивним характеристикам перехрест'я і доріг та характеристикам світлофорного управління повинен зробити розрахунок та вказати список варіантів кінцевого результату розрахунку параметрів транспортного потоку.

На першому етапі розробки ПЗ фіксується кількість факторів УДР та факторів вибору маршруту користувачів на підставі результату опитування

користувачів про важливість факторів.

За кожним сценарієм УДР вказуємо дельта середнього часу пересування ТС, перепробігу та затримки при вибраному сценарії УДР світлофорною сигналізацією.

В результаті обробки даних ПЗ необхідно забезпечити можливість вибору сценарій УДР із загального списку, можливість визначення режиму роботи системи КУТП та ДУТП (ДІТ та світлофори). За вибраними наборами проводиться розрахунок і виводиться список зростання вартості і граничної витрати до введення керуючого впливу і після нього. Список повинен містити перелік маршрутів із зазначенням режиму роботи системи світлофорів для кожного перехрестя, для кожного варіанта сценарію необхідно вивести значення факторів «до», «після», різницю, а також наскільки можна загальну витрату пересування учасників дорожнього руху.

Проведений аналіз ефективності роботи системи ІТС та загальна концепція оцінки впливу характеристики об'їзного маршруту на вибір схеми пересування користувачів залежно від дорожньої ситуації передбачає, що для її виконання будуть використовуватись різні дані. Щоб розробити та впровадити заходи вирішення перелічених вище проблем, необхідно обрати оптимальний сценарій УДР. Крім цього, потрібно визначити засоби та варіанти реалізації заходів, що базуються на основі розробленої системи показників.

Рішення щодо вибору оптимальної сценарії роботи системи ІТС базується на характеристики транспортної системи загалом. До характеристики входить рівень складності транспортної обстановки, складність перехрестя мережі, кількість ТЗ через перехрестя в залежності від циклів світлофорів, перевага користувачів при виборі маршрут руху і т.д. При цьому необхідно враховувати таке:

- інтенсивність дороги щодо її пропускної спроможності;
- затримки транспортного потоку залежно від режиму роботи системи світлофорів;
- витрата пересування учасників дорожнього руху в залежності від маршруту руху;

- переваги користувачів при виборі маршруту руху;
- організаційна вартість реалізації заходів УДР.

Висновки за 2 розділом

1. Розроблено методологічний підхід до структурування методики теоретичного дослідження, що включає визначення послідовності дослідження, встановлення вихідних даних та вимог до розробки методики оцінки ефективності функціонування ІТС.
2. Сформульовано наукову гіпотезу, яка описує сутність завдання та пропонує можливі шляхи її вирішення.
3. Розроблено математичну модель, яка описує вплив часу та перепробігу на вибір маршруту водіями з використанням методу опитування.
4. Створено методику оцінки ефективності функціонування системи ІТС, яка дозволяє оцінювати практичну ефективність використання системи, а також визначати її рівень ефективності в різних ситуаціях дорожнього руху. Ця методика також сприяє виявленню найбільш раціональних показників роботи системи ІТС.

РОЗДІЛ 3. ПРОВЕДЕННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ТРАНСПОРТНОЇ СИСТЕМИ

3.1 Розробка методики експериментального дослідження

Методика проведення експериментального дослідження складається із трьох основних частин:

- підготовчі заходи.
- аналіз стан транспортної мережі та функціонування застосованої ІТС та її підсистем на основі базового об'єкта;
- проведення обробки одержаних результатів;
- проведення експерименту на реальний об'єкт, отримання та обробка вихідних даних (рис. 3.1).

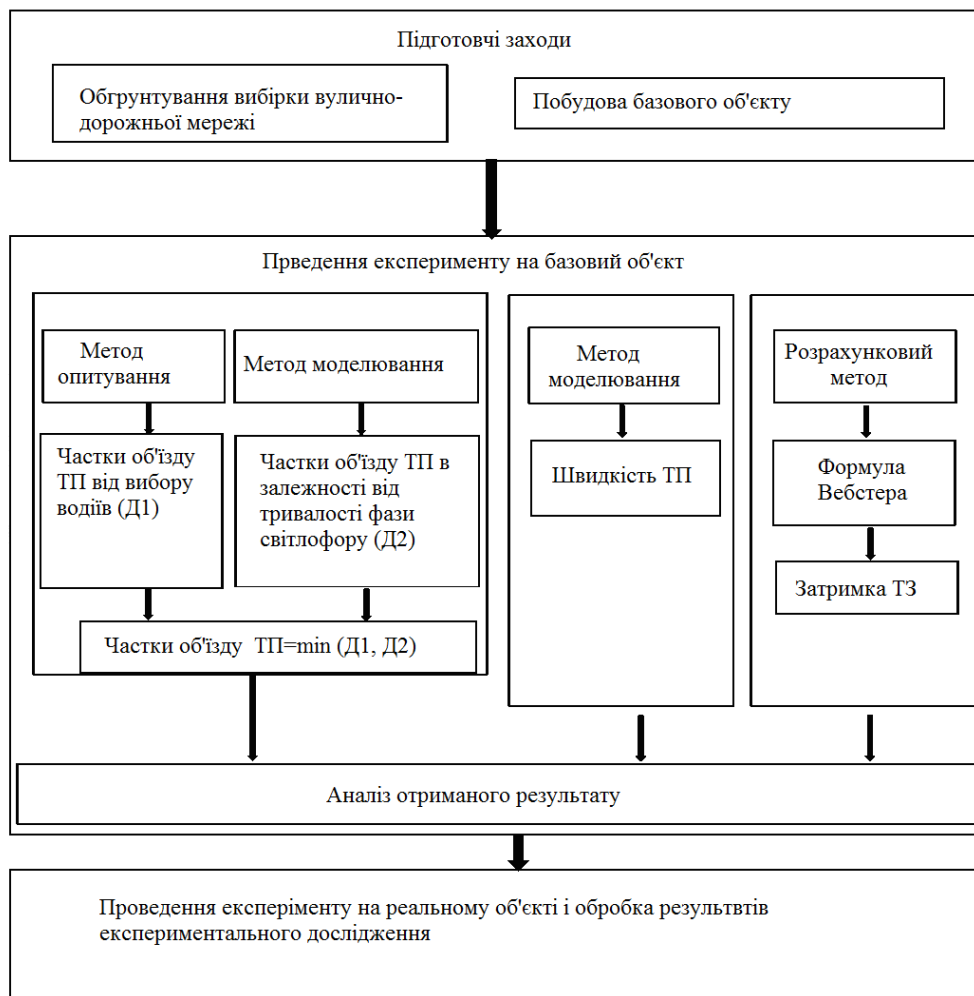


Рисунок 3.1- Блок-схема вид методики проведення експериментального дослідження

Об'єктом дослідження є ділянка дороги, яка обрана для створення сукупності сценаріїв управління дорожнім рухом у заторових ситуаціях. При виборі цієї ділянки дороги був врахований критерій - альтернативні маршрути: Для зниження транспортного навантаження на ділянці було виявлено альтернативні маршрути, які знаходяться відносно близько до маршрута, що досліджується. Це дозволяє мінімізувати можливе збільшення часу та відстані руху транспортних засобів у разі заторів.

Другий критерій – це пропускна спроможність та безпека: Вибраний альтернативний маршрут для створення плану об'їзду повинен мати достатню пропускну спроможність. Це означає, що він може пропустити великий обсяг ТЗ. Крім того, на альтернативному маршруті має бути достатньо вільного простору для безпечної організації руху ТЗ, щоб не створювати перешкод для руху інших транспортних засобів на цій дорозі та уникати утворення транспортних заторів.

Третій критерій – це вибір водіїв: Альтернативний маршрут, що пропонується, повинен відповідати критеріям, що враховуються водієм ТЗ при виборі маршруту. Розглянуті критерії можуть включати такі фактори, як час у дорозі, довжина маршруту, рівень комфорту і безпеки руху.

Виходячи з цих критеріїв, ділянка дороги була обрана так, щоб відповідати вимогам щодо дослідження та створення банку сценаріїв управління дорожнім рухом у заторових ситуаціях.

Перший етап експериментальних досліджень полягає у проведенні опитування серед водіїв ТЗ з метою виявлення факторів, що впливають на вибір маршруту руху. У цьому опитуванні розглядаються різні фактори, включаючи дорожні умови, час у дорозі, відстань до місця призначення, якість проїзду, наявність організованих заходів з управління дорожнім рухом, технічні характеристики транспортних засобів та інші параметри. Результатом опитування є отримання набору вихідних даних, необхідні подальшого етапу експериментального дослідження.

На другому етапі проводиться аналіз отриманих первинних даних з допомогою методів нейронних мереж. Внаслідок цієї обробки формується математична модель, яка дозволяє передбачати вибір маршруту водіїв на

досліджуваній ділянці дороги. Також на основі аналізу даних визначаються частки перенаправлення транспортних потоків через різні маршрути.

Третій етап дослідження приділяє основну увагу розрахунку ефективності сценаріїв управління рухом. Цей розрахунок здійснюється з використанням імітаційних моделей та математичних методів транспортних процесів. В результаті цього етапу виходить список загальних значень ефективності заходів щодо організації руху. На основі цих даних проводиться вибір найбільш оптимального сценарію управління рухом та реалізація відповідних заходів.

Після аналізу даних та виявлення оптимального сценарію управління дорожнім рухом у вибраній області, виходять необхідні результати для завершення дослідження.

3.2 Проведення експериментальних досліджень щодо визначення оптимальної схеми управління дорожнім рухом в вулично-дорожній мережі

Для виявлення характеру залежності різних параметрів ТП було проведено низку експериментів

Одним з них є визначення частки перенаправлення ТЗ у транспортному потоці

Проведено соціологічне опитування серед водіїв з метою дослідження вибору маршруту руху в транспортній мережі. Дане опитування включало наступні завдання:

- виявлення ступеня впливу характеристик транспортної інфраструктури прийняття рішення про вибір маршруту руху учасниками дорожнього руху;
- аналіз закономірностей, пов'язаних із вибором маршруту руху учасниками дорожнього руху залежно від поточної транспортної ситуації.

Була розроблена анкета з метою оцінки уподобань водіїв та виявлення їх пріоритетів при виборі маршруту. Отримані дані після аналізу дозволили визначити, фактори, що найбільше впливають на вибір маршруту і, таким чином, допомогли у формуванні рекомендацій щодо організації руху в транспортній мережі залежно від конкретних характеристик схеми руху.

Кожному респонденту було представлено схему транспортної мережі, що

включає різні маршрути руху при різних коефіцієнтах завантаження інфраструктури. Представлені маршрути мали характеристики, такі як довжина маршруту, прогнозований час у дорозі та якість поїздки. Респондентам пропонувалося оцінити надану інформацію та зробити вибір маршруту, який найбільше відповідає їх перевагам серед запропонованих варіантів. В рамках опитування були представлені різні схеми вулично-дорожньої мережі, включаючи прямокутну схему, магістрально-прямокутну схему, трикутну схему, діагонально-прямокутну схему та радіально-кільцеву схему. Схеми транспортної мережі в опитуванні представлені на рис. 3.2.

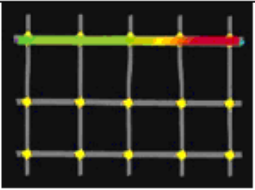
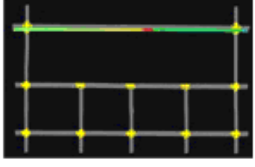
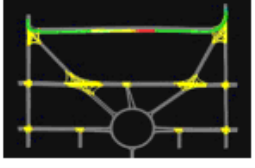
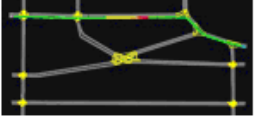
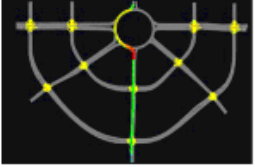
	Схема вулично-дорожньої мережі	Побудована схема в <i>Vissim</i>
1	Прямокутна (Схема А)	
2	Магістрально-прямокутна (Схема В)	
3	Діагонально-прямокутна (Схема С)	
4	Трикутна (Схема D)	
5	Радіально-кільцева (Схема Е)	

Рисунок 3.2 – Схеми транспортної мережі пропоновані в опитуванні

Водіям було надано такі критерії ВДМ для оцінки гаданих схем руху:

- Стан дорожнього руху в транспортній мережі (за значенням коефіцієнта завантаження мережі в 4-х діапазонах: $z < 0.5$ (Схеми А1, В1, С1, D1, Е1), $0.5 < z < 0.7$ (Схеми А2, В2, С2, D2, Е2)), $0.7 < z < 0.9$ (Схеми А3, В3, С3, D3, Е3), $z > 0.9$ (Схеми А4, В4, С4, D4, Е4)).
- Значення протяжності маршруту з входу до виходу транспортного засіб з

побудованої мережі (км.).

- Значення часу руху об'їзними шляхами (год.).
- Характеристики якості поїздки за пропонованим маршрутом (за критерієм рівня обслуговування мережі за даним представленим маршрутом).
- Кількість вузлів (перехрестів - од.) в дорозі даним маршрутом.

Проведене опитування серед водіїв різних груп, включаючи жінок та чоловіків, професійних та приватних водіїв, а також представників різних вікових та дослідних категорій, дозволило зібрати цінні дані про переваги та пріоритети водіїв при виборі маршруту руху. Основний висновок, зроблений на основі аналізу результатів опитування. У тому, що вибір водія залежить від відносних відмінностей між різними маршрутами, а не від характеристик кожного маршруту окремо. Є водії оцінюють "вигідність" відмінностей між пропонованими маршрутами.

Ці результати послужили основою для впорядкування та зведення даних у таблицю (табл. 3.1 – 3.2), що, ймовірно, допомогло виявити найбільш значущі критерії та фактори, що впливають на вибір маршруту водіїв. Це дозволило більш точно визначити, які характеристики маршрутів важливі для водіїв та які з них мають найбільшу вагу під час ухвалення рішення про схему маршруту руху через мережу. Ці результати, у свою чергу, могли бути використані для формування рекомендацій щодо організації руху в транспортній мережі, враховуючи переваги та пріоритети водіїв.

Таблиця 3.1 – Анкета обліку учасників опитування (Фрагмент)

№ анкети	Стаж водіння	Стать	Кількість заторів	Ціль поїздки	Зміни маршруту	Важливий критерій маршруту	Вибір маршруту				
							A	B	C	D	E
1	1-2 роки	Чоловічий	1-2	1	X	5	4	4	4	4	4
2	Понад 5 років	Чоловічий	0	4	X	2	6	4	5	1	1
3	Понад 5 років	Жіночий	1	10	-	6	5	4	4	2	3
4	1-2 роки	Жіночий	<2	8	X	0	6	4	4	3	2
5	2 - 5 років	Жіночий	1	6	X	1	5	5	2	3	2
6	1-2 роки	Чоловічий	1-2	7	-	2	6	4	2	3	4

Таблиця 3.2 – Результат обробки даних опитування про вибір схеми пересування водіїв Києва

Схема маршруту руху		Пріоритет	Навантаження доріг	Головна дорога	Час руху (мін.)	Довжина у (км.)	Якість поїздки	Кількість виборів
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	A1	1	0.5	1	15	5.2	4	43.2
2		1	0.5	0	14	7.8	4	6.3
3		1	0.5	0	12	7.8	4	1.8
4		1	0.5	0	12	10.2	4	13.5
5		1	0.5	0	12	10.2	4	11.7
6		1	0.5	0	10	10.2	5	23.4
7	A2	1	0.7	1	25	5.2	3	17.1
8		1	0.7	0	20	7.8	4	9.0
9		1	0.7	0	16.5	7.8	4	20.7
10		1	0.7	0	16.5	10.2	4	2.7
11		1	0.7	0	12.5	10.2	4	17.1
12		1	0.7	0	12	10.2	5	33.3
13	A3	1	0.8	1	35	5.2	2	16.2
14		1	0.8	0	28	7.8	3	5.4
15		1	0.8	0	25	7.8	3	13.5
16		1	0.8	0	24	10.2	4	9.0
17		1	0.8	0	20	10.2	4	11.7
18		1	0.8	0	17.5	10.2	5	44.1
19	A4	1	1	1	55	5.2	1	11.7
20		1	1	0	45	7.8	2	2.7
21		1	1	0	36	7.8	2	3.6
22		1	1	0	32	10.2	3	1.8
23		1	1	0	26	10.2	3	6.3
24		1	1	0	25	10.2	4	73.9
25	B1	2	0.5	1	15	5.2	4	76.6
26		2	0.5	0	15	7.8	4	13.5
27		2	0.5	0	15	10.5	4	0.9
28		2	0.5	0	15	10.5	5	9.0
29	B2	2	0.7	1	25	5.2	3	22.5
30		2	0.7	0	20	7.8	4	23.4
31		2	0.7	0	16.5	10.5	4	7.2
32		2	0.7	0	14.5	10.5	5	46.8
33	B3	2	0.8	1	40	5.2	2	17.3
34		2	0.8	0	32	7.8	3	9.1
35		2	0.8	0	27	10.5	4	2.7
36		2	0.8	0	23	10.5	4	70.9

37	B4	2	1	1	60	5.2	1	6.3
38		2	1	0	48	7.8	2	8.1
39		2	1	0	35	10.5	3	2.7
40		2	1	0	30	10.5	4	82.9
41	C1	3	0.5	1	11	5.68	4	32.4
42		3	0.5	0	7	5.8	4	47.7
43		3	0.5	0	7	5.95	4	7.2
44		3	0.5	0	8	6.5	4	9.0
45		3	0.5	0	11	7.65	4	3.6
46		3	0.7	1	20	5.68	3	12.6
47		3	0.7	0	13	5.8	4	40.5
48	C2	3	0.7	0	12	5.95	4	23.4
49		3	0.7	0	10	6.5	5	15.3
50		3	0.7	0	10	7.65	5	8.1
51		3	0.8	1	35	5.68	2	7.2
52		3	0.8	0	28	5.8	3	4.5
53	C3	3	0.8	0	23	5.95	3	17.1
54		3	0.8	0	20	6.5	3	27.9
55		3	0.8	0	18	7.65	4	43.2
56		3	1	1	55	5.68	1	4.5
57		3	1	0	44	5.8	2	3.6
58	C4	3	1	0	35	5.95	2	9.9
59		3	1	0	32	6.5	2	15.3
60		3	1	0	25	7.65	3	66.7
61		4	0.5	1	13	4.75	4	62.2
62	D1	4	0.5	0	13	6.07	4	25.2
63		4	0.5	0	13	7.98	4	1.8
64		4	0.5	0	10.5	9.84	5	10.8
65		4	0.7	1	25	4.75	3	25.2
66	D2	4	0.7	0	20	6.07	4	11.7
67		4	0.7	0	20	7.98	4	10.8
68		4	0.7	0	13	9.84	5	52.3
69		4	0.8	1	40	4.75	2	13.5
70	D3	4	0.8	0	35	6.07	3	14.4
71		4	0.8	0	30	7.98	4	24.3
72		4	0.8	0	25	9.84	4	47.7
73		4	1	1	65	4.75	1	9.9
74	D4	4	1	0	45	6.07	2	21.6
75		4	1	0	44	7.98	2	7.2
76		4	1	0	35	9.84	3	61.3
77		5	0.5	1	8.5	2.08	4	73.9
78	E1	5	0.5	0	9	3.15	4	18.9

79		5	0.5	0	9	3.5	4	5.4
80		5	0.5	0	12	4.9	5	1.8
81		5	0.7	1	15	2.08	3	36.9
82	E2	5	0.7	0	12	3.15	4	45.0
83		5	0.7	0	14	3.5	4	15.3
84		5	0.7	0	15	4.9	4	2.7
85		5	0.8	1	30	2.08	2	27.9
86	E3	5	0.8	0	22	3.15	3	60.4
87		5	0.8	0	25	3.5	4	8.1
88		5	0.8	0	30	4.9	4	3.6
89		5	1	1	45	2.08	1	23.4
90	E4	5	1	0	28	3.15	3	64.9
91		5	1	0	30	3.5	3	7.2
92		5	1	0	40	4.9	3	4.5

На основі таблиці 3.2 було побудовано графічні діаграми відображені на рисунках 3.3-3.7. Кожен рисунок будувався для кожної схеми вулично-дорожньої мережі, оцінюючи зміну критеріїв вибору водія залежно від зміни умов поїздки на обстежуваній мережі

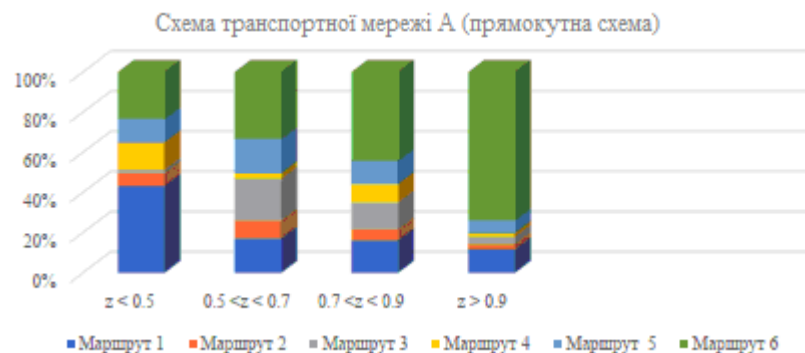


Рисунок 3.3 - Результат вибору маршруту водіїв за прямокутною схемою ВДМ



Рисунок 3.4 - Результат вибору маршруту водіїв за магістрально-прямокутною схемою ВДМ



Рисунок 3.5 - Результат вибору маршруту водіїв за трикутною схемою ВДМ

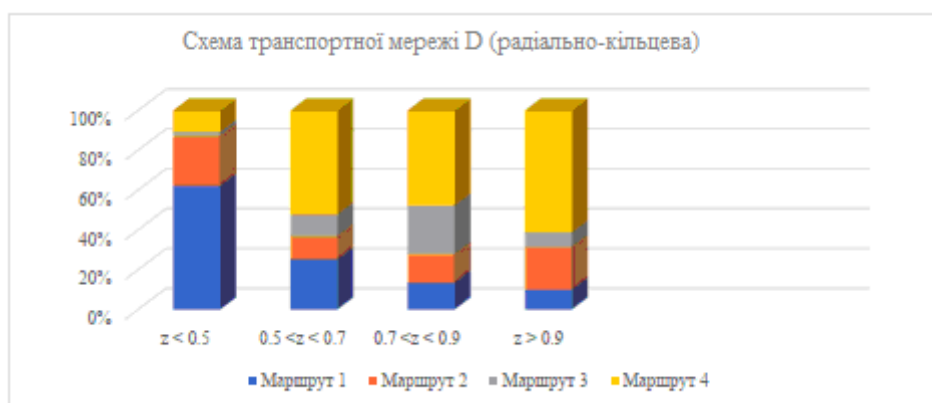


Рисунок 3.6 - Результат вибору маршруту водіїв за радіально-кільцевою схемою ВДМ

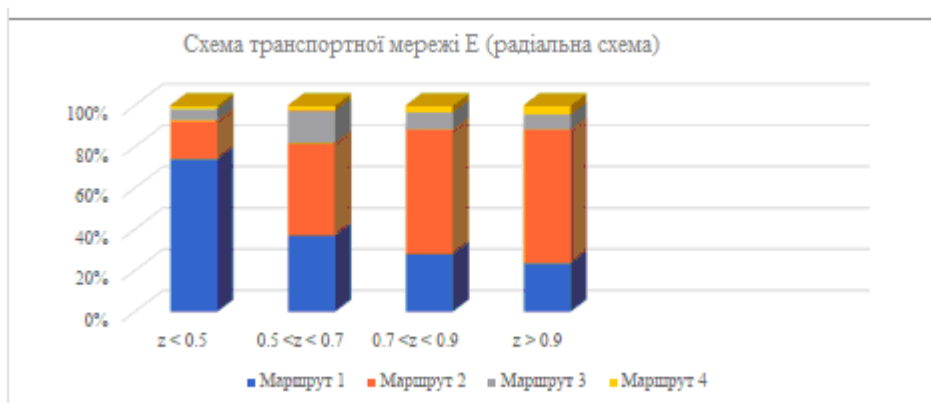


Рисунок 3.7 - Результат вибору маршруту водіїв за радіальною схемою ВДМ

За результатами аналізу зібраних даних зроблена попередня оцінка впливу різних характеристик варіанту дорожнього руху на вибір водіїв ТЗ:

1. Домінальний маршрут з погіршенням умов руху перетягує до себе привабливість вибору в порівнянні з іншими маршрутами за рахунок зростання

ΔI . При цьому домінантним маршрутом завжди являється маршрут у якого $\Delta I = \max$ при $z \rightarrow 1$

2. ΔI розрахунок при зростанні z .

3. Зі зростанням z , спочатку відбувається притягування уваги на всі альтернативні маршрути наступним переходом уваги на домінальний маршрут.

Результати проведеного опитування були піддані аналізу з використанням різних методів. Перед вибором методу нейронних мереж дані цього опитування були оцінені за допомогою програмного забезпечення SPSS, широко використовуваного для аналізу результатів досліджень, заснованих на відповідях водіїв ТЗ. Крім того проведено аналіз регресії за допомогою Microsoft Excel. Результати аналізу даних з використанням SPSS і методів регресії в Excel представлені в таблиці 3.3.

У SPSS ймовірність помилки p має різні позначення. Зазвичай у SPSS значення p позначається Sig. (Significant). Існує встановлена термінологія, що застосовується до довірчих інтервалів ймовірності:

Висловлювання з ймовірністю помилки $p \leq 0,05$ вважаються значущими.

Висловлювання з ймовірністю помилки $p \leq 0,01$ вважаються дуже значущими,

Висловлювання з ймовірністю помилки $p \leq 0,001$ вважаються максимально значущими.

Коефіцієнт множинної детермінації R показує, яку частку мінливості (можна висловити у відсотках) залежною змінною (Y) пояснює незалежна змінна (регресійна модель). Під якістю рівняння регресії розуміється ступінь близькості (відповідності) розрахованих по даному рівнянню значень ознаки результату $f(x)$ фактичним значенням y , що спостерігаються. Величина R^2 відображає частку сукупної дисперсії y залежній змінній, що описується статистичною моделлю. Іншими словами, це та частина варіації залежної змінної, яку можна пояснити на підставі незалежної змінної. Природно, що менше незалежних змінних, тим менше величина R^2 і навпаки. Чим ближче R^2 до 1, тим вищою є якість регресійної моделі.

У SPSS результати діагностики колінеарності показано у таблиці

Coefficients у колонках Collinearity Statistics . Якщо величина значення VIF (Variance Inflation Factor) біля кожної незалежної змінної менше 10 - отже, ефект мультиколінеарності не спостерігається і регресійна модель прийнятна для подальшої інтерпретації. Чим вище показник VIF тим більше пов'язані між собою змінні. Якщо будь-яка змінна перевищує значення 10 VIF , слід перерахувати регресію без цієї незалежної змінної.

Таблиця 3.3 - Результати аналізу даних з використанням різних методів аналізу даних а) - SPSS ; б) - методів регресії в Excel .

а)

Схема	парні значення	sig	R ²	VIF
A	S, $\Delta v/\Delta l$	0.002	0.985	1
B	S, $\Delta v/\Delta l$	0.063	0.996	1.069
C	S, $\Delta v/\Delta l$	0.228	0.772	2.8
	S, $\Delta v/\Delta l, \Delta l$	0.281	0.950	3
	$\Delta v/\Delta l$	0.076	0.703	1
	$\Delta v/\Delta l, \Delta l$	0.05	0.950	5.5
D	$\ln \Delta S/S$	0.526	0.723	7.7
	$\ln/l, \Delta v/\Delta l$	0.231	0.947	3.3
	$\Delta v/\Delta l, S$	0.138	0.981	8.8
E	l, t, v, S, $\Delta v/\Delta l$	-	-	-
	l, v, S, $\Delta v/\Delta l$	-	-	-
	S, $\Delta v/\Delta l$	0.125	0.984	1.3
	$\Delta v/\Delta l$	0.350	0.877	1.1

б)

Схема	парні значення	sig	R ²	VIF
A ₄	l, t, v, S	0.01	0.999	12/21/12/31
B ₄	l, t, S	0.004	0.994	12/11/8
	S, $\Delta t/t$	0.635	0.211	75/75
	$\Delta t/t$	0.277	0.284	1
	$\Delta t/t, \Delta t/\Delta l$	0.159	0.924	785/785
	$\Delta t/\Delta l$	0.274	0.290	1
	v, $\Delta t/\Delta l$	0.503	0.241	51/51
	S	0.251	0.342	1
	S, Δt	0.635	0.211	75/75
	l, t	0.093	0.974	38/40
C ₄	l, t, S	0.215	0.885	4/6/7
	$\Delta l, \Delta t, S$	0.337	0.713	21/12/7
	$\Delta l, \Delta t$	0.085	0.830	12/12
	$\Delta l, \Delta t, S$	0.098	0.805	3/3
D ₄	S, Δl	0.369	0.591	8/8
	$\Delta l^*t, v$	0.526	0.169	7/8
	l, Δl^*t	0.177	0.516	1
	S, $\Delta l/\Delta t$	0.533	0.147	1/1
E ₄	t, Δl	0.675	-0.369	5/5
	$\Delta l, \Delta t$	0.593	0.056	8/8
	$\Delta l^*t, \Delta t$	0.567	0.034	15/15
	$\Delta v, t$	0.731	0.602	2/2

Різні пари параметрів були обрані для обчислення ступеня однорідності у зміні взаємозв'язку між ними (вибрані параметри) та зміною вибору водіїв. Однак,

незважаючи на те, що ці стандартні методи є початковим етапом для розуміння даних та виявлення деяких кореляцій та залежностей, виявилось, що вони недостатньо враховують складність факторів, що впливають на вибір водіями своїх маршрутів. Відповідно до результатів, поданих у таблиці 3.2, були зафіксовані однакові результати у зміні обраних значень. Це докладно пояснено тим, що прийняття рішень водіями при виборі маршруту є багатовимірним і нелінійним.

Результати аналізу, проведеного за допомогою двох вищезазначених методів, які не відповідали очікуванням. Це можна пояснити багатфакторними особливостями, що впливають на вибір водіїв ТЗ після ухвалення рішення про маршрут руху. Коли необхідно враховувати більше одного критерію вибору, стандартне відхилення результатів, отриманих за допомогою методів SPSS і Excel, виявляється занадто велике і дискретно, що не дозволяє досить точно відобразити тенденції, що спостерігаються на побудованих графіках. Значення оцінювали відповідно до різних значень шкали (наведених у таблиці). На основі отриманих результатів можна зробити такі висновки:

- отримання узгоджених значень параметрів оцінки в аналізованих масштабах між різними маршрутами виявилось неможливим.
- на тому самому маршруту руху неможливо отримати узгоджені значення параметрів оцінки щодо різних дорожніх ситуацій за різних значеннях z .

Метод SPSS був застосований спільно з методом регресії в Excel, проте результати аналізу даних виявилися ідентичними попереднім результатам. Таким чином, використання обох згаданих методів виявилось неефективним, оскільки не вдалося отримати відповідні набори однакових значень, що заважає встановленню закономірності рівномірної зміни між параметрами.

Цю складність можна пояснити особливостями процесу аналізу та обробки даних, пов'язаними з багатокритеріальною оцінкою. У цьому дослідженні виявлення залежності між вхідними і вихідними значеннями необхідно оцінити кореляцію між чотирма вхідними параметрами. Це типове завдання для проектування штучних нейронних мереж.

Результати опитування обробляються з урахуванням штучних нейронних

мереж визначення правил прийняття рішення про вибір маршрутів учасників дорожнього руху. Структура та характеристики нейронної мережі вибираються на основі характеристик опитування, вхідних та вихідних значень. Ці функції відображаються в інтерфейсі програми. Для обробки інформації використовувалася програма Matlab (табл. 3.4)

Таблиця 3.4 - Структура та характеристики нейронної мережі

	Штучна нейронная мережа	Параметр
1	Середовище ШНМ	Matlab
2	Кількість зразків даних	72
3	Вхідні параметри	Навантаження доріг Час руху (хв.) Довжина шляху (км) Якість поїздки (рівень обслуговування)
4	Кількість прихованих нейронів	7
5	Вихідний параметр	Кількість виборів водіїв(%)

Використовується нейронна мережа з характеристиками обробки даних, показаними на рисунках 3.8 – 3.10

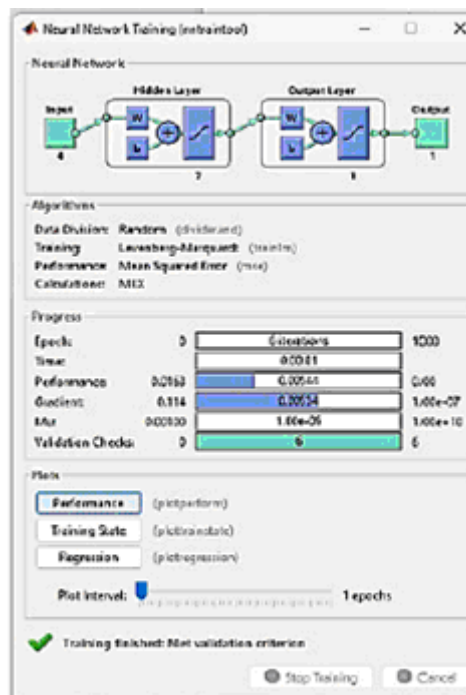


Рисунок 3.8 - Нейронна мережа та результати обробки даних опитування

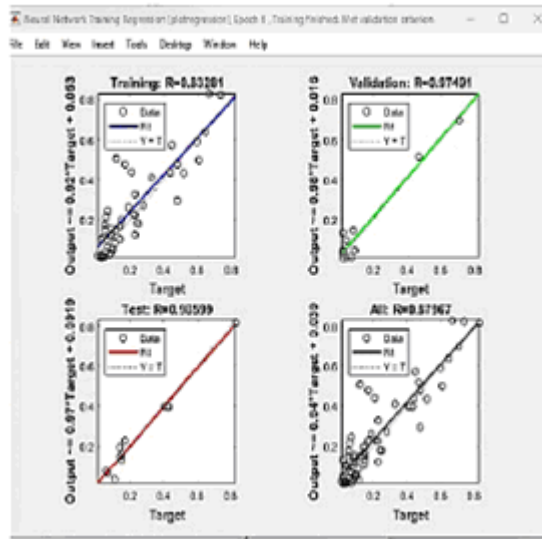


Рисунок 3.9 – Результати обробки даних опитування

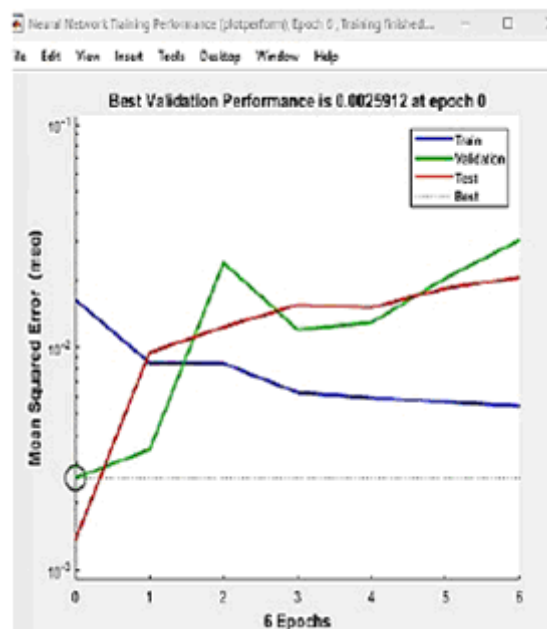


Рисунок 3.9 – Результати обробки даних опитування і прогнозування результатів опитування

В результаті навчання мережі було досягнуто рівня $msec = 0,00026$, що свідчить про високий рівень точності чи надійності отриманих результатів. При цьому загальний коефіцієнт регресії $R = 0,879$, досягаючи свого максимального значення ($R = 0,986$) на тестовому вибірці. З цього можна дійти невтішного висновку, що отримана нейронна мережу досить точно імітує шукану залежність.

За даними, отриманими за результатами навчання нейронної мережі, коефіцієнт відповідності між вхідними параметрами та результатами прогнозування становить понад 87%. Це співвідношення вважається прийнятним. Відмінність результатів навчання нейронної мережі від результатів опитування

можна пояснити великою кількістю вхідних параметрів, відмінністю вибору одного водія ТЗ в мережевих структурах, різних транспортних мережах (за однакових умов руху). Це можна пояснити соціальними характеристиками опитуваних, які змінюються за єдиним законом, потім великий вплив мають індивідуальні суб'єктивні чинники опитуваного.

Параметри формули залежності наведено нижче

$$w_{11} = \begin{bmatrix} 0.26267 & -0.50814 & 1.5453 & -1.925 \\ 1.9102 & 0.7391 & 0.66575 & 0.48691 \\ -1.7488 & 1.4663 & -0.93701 & 4.397 \\ 1.5325 & -1.3515 & -1.7418 & 0.48746 \\ -2.2678 & 1.4337 & -0.76651 & 0.50609 \\ -1.6669 & 2.6745 & 2.7268 & 0.11 \\ 0.1563 & -0.95592 & 1.0245 & -2.9124 \end{bmatrix}$$

$$w_{21} = \begin{bmatrix} 0.78056 \\ 1.5956 \\ 1.3788 \\ 1.5746 \\ 2.4696 \\ 2.8742 \\ 2.1658 \end{bmatrix}$$

$$b_1 = \begin{bmatrix} -1.8137 \\ -0.34882 \\ 0.27455 \\ -0.10846 \\ 1.4703 \\ -3.5024 \\ -0.056376 \end{bmatrix}$$

$$b_2 = [0.96566]$$

Навчена штучна нейронна мережа зберігається в комп'ютері для майбутніх випробувань та розрахунків. За результатами обробки даних на нейронній мережі визначено математичну модель у вигляді ШНМ для визначення залежності вибору водієм транспортного засобу маршруту руху в залежності від загальної дорожньої ситуації та особливостей схеми руху.

3.3 Експериментальні визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом у транспортній мережі

В експериментальних дослідженнях був використаний програмний продукт *Vissim*. Для визначення необхідних параметрів транспортного потоку було створено умовну модель дороги в середовищі *Vissim*. Ця модель передбачала можливість перенаправлення автомобілів із головної дороги на об'їзні дороги через дороги, що примикають, а потім їх перенаправляти на початкову дорогу, на якій виникли перешкоди. (Рис. 3.11).

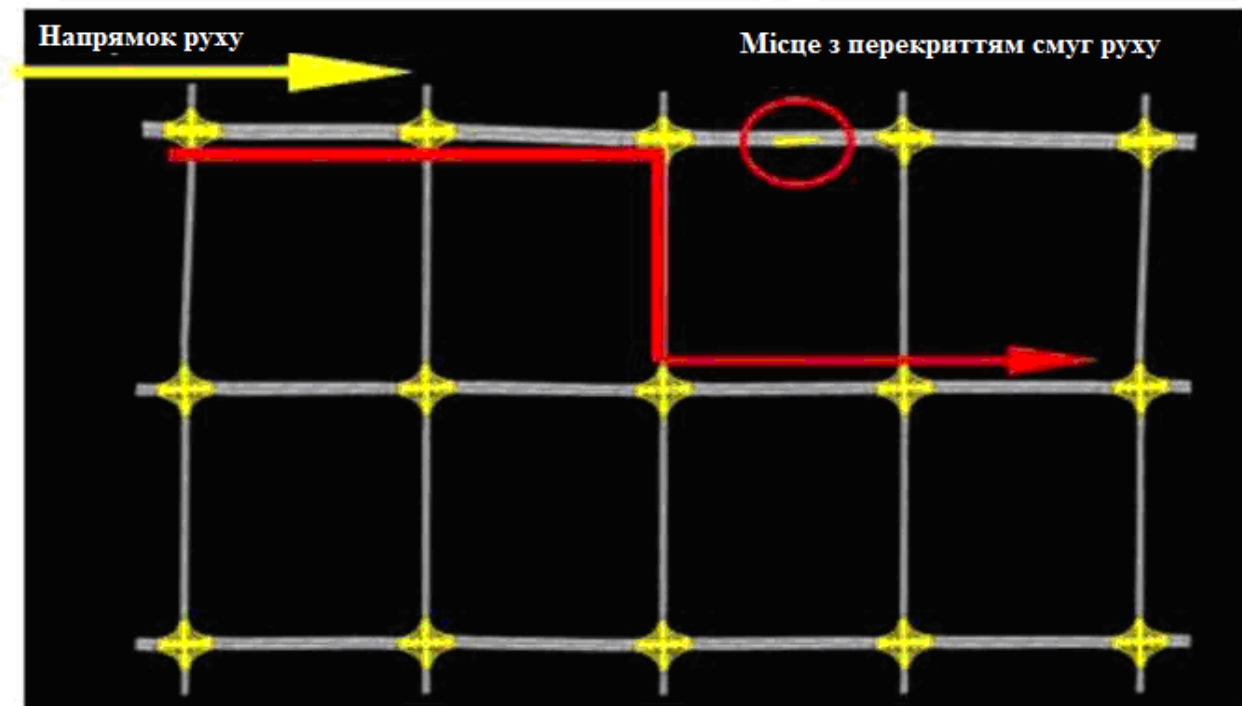


Рисунок 3.11 - Схема досліджуваної моделі транспортної мережі Vissim

Умовна модель вулично-дорожньої мережі складається з однієї основної багатосмугової дороги, п'яти доріг, що примикають, і одна об'їзна дорога, яка паралельна з головною дорогою, що має пропускну спроможність, еквівалентну головній дорозі (серед доріг, що розглядаються, прилеглих до головної дороги). ТЗ на головній дорозі рухаються 4-ма смугами. Кожна сусідня дорога має дві смуги руху, спрямованими вправо щодо основного напрямку руху по дорозі. Перерозподіл транспортного потоку від основних доріг на об'їзну дорогу здійснюється на перехрестях через систему динамічних інформаційних табло та дорожніх знаків, що найкраще сприяє процесу перерозподілу та інформування учасників дорожнього руху.

Основна (головна) дорога мала довжину 4500 метрів, кожна сусідня дорога – 500 метрів, а об'їзна дорога – 4500 метрів. Тобто автомобілі, що прямують на об'їзд, здійснювали перепробіг 1000 метрів щодо початкового маршруту.

Базова модель дороги була спроектована з метою імітувати поведінку ТЗ у разі виникнення перешкоди у русі транспортного потоку на основній дорозі під різними сценаріями УДР. Ці перешкоди могли бути спричинені різними факторами, такими як ДТП, несанкціоноване паркування, дорожньо-ремонтні роботи, звуження проїжджої частини дороги та інші. При цьому дві смуги руху на

основній дорозі були перекриті, що призводило до труднощів у русі.

Проблема перекриття смуг моделюється в моделі та одночасно відображається у відповідних заходах щодо управління дорожнім рухом:

- перенаправлення транспортного потоку на сусідню та об'їзну дорогу;
- встановлення зони обмеження швидкості до помсти ДТП;
- організація безпечної зони зміни смуги руху транспортних засобів.

Розглянемо результатів Експеримент на умовній ділянці з визначення залежності між кількістю транспортних засобів, що проїжджають через перехрестя, та тривалістю роздільної здатності фази світлофорів. Метою даного експерименту є вивчення впливу тривалості роздільної фази світлофорів і вхідного потоку на характеристики транспортного потоку - загальний потік.

Цей експеримент було проведено з використанням програмного забезпечення *Vissim* PTU. Основний потік варіюється в діапазоні від 1000 до 3000 автомобілів з кроком 250. Для кожного основного потоку, що вводиться в мережу, проводиться 19 експериментів з різною тривалістю роздільної здатності світлофорів від 5 до 95 секунд. Початковий експеримент має тривалість роздільної фази світлофорів 5 с. при вхідному транспортному потоці 1000 од./год. Інші 18 експериментів полягають у покроковому подовженні 5 секунд роздільної здатності фази світлофорів.

На основі моделі дорожньо-транспортної мережі, що спроектована на *Vissim*, визначаються параметри транспортного потоку. Результати моделювання представлені в наступних таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 - Залежність значення тривалості роздільної здатності фази від інтенсивності ТП та пропускної спроможності об'їзних доріг з двома смугами

	Тривалість дозвільної фази світлофора, с.																		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Інтенсивність ТП, авт/цвкл	1	5	9	13	18	22	27	30	33	37	41	45	50	54	59	62	67	70	74
	2	6	10	14	19	23	28	31	34	38	42	46	51	55	60	63	68	71	75
	3	7	11	15	20	24	29	32	35	39	43	47	52	56	61	64	69	72	
	4	8	12	16	21	25			36	40	44	48	53	57		65		73	
				17		26						49		58		66			

Таблиця 3.6 - Залежність значення тривалості роздільної здатності фази від інтенсивності ТП і пропускної здатності сусідніх доріг з однієї лінії

	Тривалість дозвільної фази світлофора,с.																		
	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95
Інтенсивність ТП, авт/цикл	1	3	4	6	8	11	13	15	16	18	21	23	26	28	30	31	33	35	37
	2		5	7	9	12	14		17	19	22	24	27	29		32	34	36	38
					10					20		25							39

З даних таблиць видно, що при збільшенні тривалості роздільної фази світлофорів і відповідному розподілі транспортного потоку настає момент, коли обсяг реального потоку через перехрестя не збільшується далі при подальшому збільшенні вхідного потоку транспорту. Це вказує на досягнення критичної точки в транспортній мережі, де максимальна кількість автомобілів, здатна пройти через перехрестя, вже досягнута за заданої тривалості роздільної здатності фази світлофорів. Точка насичення відображає максимальний рівень потоку, який доцільно спрямовувати до цієї мережі за певного режиму роботи світлофорів.

За даними експерименту для кожного вхідного потоку було виявлено оптимальна тривалість роздільної здатності фази світлофора, при яких значення потоку, що проходить, приймає найкращі значення.

Таблиці 3.5 і 3.6 показують, як змінюється кількість ТЗ, що проходять через перехрестя при фіксованому значення вхідного основного потоку зі збільшенням довжини роздільної здатності фази світлофора. Кількість ТС через перехрестя збільшується пропорційно зростанню довжини роздільної здатності фази світлофора. Для кожного потоку, виходячи з даних таблиць, можна виділити оптимальну тривалість фази, проте оптимальний режим роботи світлофорів відрізняються в залежності від кількості автомобілів, що проходять перехрестя.

Проведено експеримент на умовній ділянці з визначення залежності між кількістю ТЗ, що проїжджають через місце з ДТП, швидкістю транспортного потоку та інтенсивністю вхідного потоку

На основі розробленої базової моделі дорожньої мережі було проведено дослідження залежності між інтенсивністю в'їзду на мережу транспортних засобів та кількістю ТЗ, що виїжджають з ділянки дороги, що розглядається.

Експеримент було проведено протягом 1 години. У наведеній таблиці 3.7 показані результати моделювання ситуації на транспортній мережі, при якій 2 з 4

смуг на головній дорозі закриті. Інтенсивність вхідного потоку склала 1500 авт/год з інтервалом в 250 авт/год.

Таблиця 3.7 – Залежність значення пропускної спроможності від інтенсивності ТП

№	Інтенсивність вхідного потоку (авт/год)	Кількість ТЗ, що виїждять (авт/год)	Остаточний потік (авт/год)	Середня швидкість (км/год)	Середній час в дорозі (с.)
1	1500	1408	1	51.88	208.18
2	1750	1682	1	51.67	209.15
3	2000	1898	1	51.50	209.75
4	2250	2155	1	51.32	210.62
5	2500	2397	1	51.09	211.53
6	2750	2608	1	50.79	212.79
7	3000	2816	1	50.39	214.59
8	3250	3050	1	49.33	219.33
9	3500	3276	1	47.03	230.22
10	3750	3466	1	42.28	255.93
11	4000	3477	1	30.17	346.73
12	4250	3432	1	21.94	448.14
13	4500	3459	247	19.29	507.51
14	4750	3435	520	17.73	558.41
15	5000	3494	693	17.48	568.10
16	5250	3465	949	16.70	598.41
17	5500	3472	1206	16.48	609.26
18	5750	3469	1472	16.23	623.39
19	6000	3460	1753	15.95	632.88
20	6250	3450	2007	15.76	639.87
21	6500	3467	2250	15.74	640.30
22	6750	3466	2512	15.63	646.32
23	7000	3430	2763	15.33	661.53
24	7250	3457	3025	15.40	657.98
25	7500	3446	3263	15.24	666.07
26	7750	3451	3493	15.23	667.10
27	8000	3474	3732	15.33	661.92

Таблиця 3.7 відображає зміну швидкості проходження мережі доріг зі збільшенням основного вхідного потоку. Швидкість руху автомобілів у транспортному потоці знижується пропорційно до зростання обсягу транспортного потоку. За умови закриття двох смуг руху на головній дорозі середня максимальна кількість ТЗ, здатних проїхати цю ділянку за 1 годину, становить 3450 автомобілів. При збільшенні кількості ТЗ, що йдуть за цим маршрутом, ця величина залишається незмінною, проте змінюється середня швидкість руху ТЗ. При цьому середня швидкість руху знижується з 42,28 км/год при 3750 автомобілях за годину до 15,23 км/год при 8000 автомобілях за годину. Швидкість знижується обернено пропорційно збільшенню щільності ТЗ. Проте після досягнення щільності в 6000 автомобілів на годину, швидкість більше не

знижується і залишається на середньому рівні 15,5 км/год. Різку зміну в залишковому потоці можна спостерігати з інтенсивністю 4500 авт./год, що говорить про неефективність і недоцільність цього потоку і вище. Це вказує на те, що мережа не може пропускати такий обсяг автомобілів без створення заторів, тому потік необхідно розподіляти ще до його входу в цю мережу.

3.4 Розрахунки та результати експериментальних досліджень

Проведені експериментальні дослідження свідчать, що:

- найменший час проїзду досягається під час руху за прямим напрямом, який є найкоротшим шляхом до точки призначення. Тому, при збереженні транспортного потоку в межах пропускної спроможності доріг (тобто за умови, що коефіцієнт z не перевищує 0,85), розподіл його за об'їзними маршрутами, навіть за наявності спроектованих перешкод, є безглуздом, оскільки утворення затору не відбувається.

- при збільшенні вхідного потоку автомобілів ефективним методом управління дорожньою ситуацією є збільшення тривалості роздільної здатності фази світлофорів. Результати дозволяють визначити оптимальний режим роботи системи світлофора в залежності від конкретних умов дорожньої мережі, таких як інтенсивність транспортного потоку. При цьому досягається найкраща ситуація для руху транспорту, оскільки загальний вхідний потік є оптимальним для поточної дорожньої обстановки.

Однак слід зазначити, що зі збільшенням значення інтенсивності транспортного потоку і тривалості фази, що дозволяє, кількість ТЗ, які можуть проїхати через перехрестя, досягне певного порогового значення. При досягненні цієї точки збільшення потоку автомобілів, що в'їжджають на перехрестя, не призведе до збільшення трафіку через перехрестя. Це вказує на обмежену частку перенаправлення транспортного потоку в дорожній мережі, яка залежить не тільки від пропускної спроможності дороги, а й від відповідного режиму роботи світлофорів, зокрема, значення тривалості дозволеного зеленого сигналу світлофора.

Результати експериментальних досліджень дали можливість визначити максимальну кількість ТЗ, яка може проходити через перехрестя протягом певного часу в роздільній фазі світлофора для кожного вхідного потоку.

Проведено розрахунки на побудованій ділянці ВДМ у моделі:

Вихідні дані транспортної мережі:

Через закриття однієї смуги проїжджої частини автомобільної дороги транспортний потік рухається на 3 лівих смугах і місце ДТП знаходиться за 900 метрів до першого перехрестя. Кількість смуг на об'їзній дорозі - дві, на дорозі, що примикає, - одна.

Інтенсивність руху на головній дорозі становить 6000 авт/год;

Інтенсивність фоновому руху на об'їзній дорозі $\mu_1 = 750$ авт/год;

Швидкість руху ТЗ у заторі (у перекритих смугах) – 5 км/год;

Швидкість об'їзду затору вільною смугою головної дороги - 10 км/год;

Швидкості руху в заторі та на вільній смузі узгоджені між собою (тобто враховані перебудови із затору на вільну смугу);

Обмеження швидкості руху ТП на головній дорозі – 80 км/год;

Обмеження швидкості руху ТП на об'їзній дорозі – 60 км/год;

Швидкість руху ТП на дорозі, що примикає - 20 км./год;

Розглянемо розрахунок параметрів транспортної мережі

Приймаємо що тривалість циклу становить 120 с., мінімальна тривалість роздільної здатності фази - 5 с., максимальна тривалість роздільної здатності фази світлофорів - 95 с., тривалість фази для пішоходів у всіх напрямках - 10 с.

Максимальна тривалість роздільної здатності фази світлофорів становить 95 с., що відповідає інтенсивності 75 авт./цикл (за даними табл. 3.5). 75 авт./цикл – це максимальна пропускна спроможність об'їзної дороги, що не призводить до заторів на ньому.

Інтенсивність фоновому руху на об'їзній дорозі $\mu_k = \mu_1 = 750$ авт./год, що відповідає $N_1 = 25$ авт./цикл (120 с.) світлофорів.

Для пропуску 25 автомобілів фонові інтенсивності об'їзної дороги на світлофорі T_D^k за таблицею 3.5 визначаємо мінімальний час роздільної здатності

фази світлофора за напрямом руху об'їзної дороги - $T_{зфк}^D = 30$ с. За значенням $T_{зфк}^D$ визначаємо максимальне значення тривалості роздільної здатності фази сусідньої дороги:

$$T_{зфк}^D = 120 - 30 - (5 + 5 + 10) = 70 \text{ (с.)}$$

За цим значенням і по таблиці 3.6 визначаємо максимальну пропускну здатність світлофора $N_2 = 29$, що відповідає $\mu_2 = 870$ авт./год .

Для пропуску $54 = 25 + 29$ автомобілів сумарної інтенсивності об'їзної дороги на світлофорі T_{κ}^c за таблицею 3.5 визначаємо мінімальний час роздільної здатності фази світлофора за напрямом руху об'їзної дороги - $T_{зфк}^C = 70$ сік. За значенням $T_{зфк}^C$ визначаємо максимальне значення тривалості роздільної фази сусідньої дороги.

$$T_{зфк}^C = 120 - 70 - 20 = 30 \text{ (с.)}$$

За цим значенням і по таблиці 3.6 визначаємо максипропускну здатність світлофора $N_3 = 12$, що відповідає $\mu_3 = 360$ авт./год .

Для пропуску $66 = 54 + 12$ автомобілів сумарної інтенсивності об'їзної дороги на світлофорі T_{κ}^b за таблицею 3.5 визначаємо мінімальний час роздільної здатності фази світлофора за напрямом руху об'їзної дороги - $T_{зфк}^6 = 80$ сек. За значенням $T_{зфк}^6$ визначаємо максимальне значення тривалості роздільної фази сусідньої дороги.

$$T_{зфк}^6 = 120 - 80 - 20 = 20 \text{ (с.)}$$

За цим значенням та за таблицею 3.6 визначаємо максимальну пропускну здатність світлофора $N_4 = 7$, що відповідає $\mu_4 = 210$ авт./год .

Для пропуску $73 = 66 + 7$ автомобілів сумарної інтенсивності об'їзної дороги на світлофорі T_{κ}^a за таблицею 3.5 визначаємо мінімальний час роздільної здатності фази світлофора за напрямом руху об'їзної дороги - $T_{зфк}^A = 90$ сік. За значенням $T_{зфк}^A$, визначаємо максимальне значення тривалості роздільної здатності фази сусідньої дороги.

$$T_{зфк}^A = 120 - 90 - 20 = 10 \text{ (с.)}$$

За цим значенням та за таблицею 3.6 визначаємо необхідну пропускну здатність світлофора $N_5 = 2$, що відповідає $\mu_5 = 60$ авт./год .

Разом маємо $75 = 73 + 2$, відповідає пропускній спроможності об'їзної дороги до 75 автомобілів.

Таким чином при фоновій інтенсивності $\mu_1 = 750$ авт./годину заповнюваність об'їзної дороги здійснена за рахунок 4 дороги, що примикає .

Розрахунки значень параметрів транспортного потоку при аварійній ситуації без перенаправлення потоку об'їзною дорогою (сценарія К - рис. 3.12)

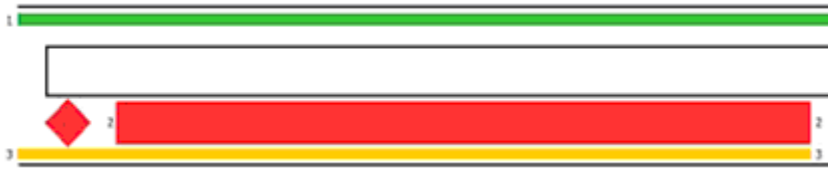


Рисунок 3.12 – Схема потоків без об'їзду найіншурою (K_0)

Розрахунок потоку 1. Оскільки в сценарії K_0 немає змін в режимі руху ТП, який рухається по об'їзній дорозі то:

$$\Delta t_1 = 0, \Delta l_1 = 0$$

Розрахунок потоку 2:

Час руху автомобілі потоку 2 через перегін змінюється за рахунок зміни швидкостей під час руху у заторі на головній дорозі.

Час руху одного автомобільного потоку 2 через перегін на головній дорозі при заторі:

$$t_1 = (S/v) \cdot 3600 = (0,9 + 1 + 1 + 1 + 0,5) / 5 \cdot 3600 = 3168,00 \text{ с.}$$

При швидкості $V_{гол} = 80$ км/год по головній дорозі час руху кожного транспортного засобу становить:

$$t_0 = (S/v_0) \cdot 3600 = (0,9 + 1 + 1 + 1 + 0,5) / 80 \cdot 3600 = 198,00 \text{ с.}$$

Зміна в часі руху одного автомобілі потоку 2 через перегін через зміну швидкостей руху:

$$\Delta t^L_2 = t_1 - t_0 = 3168,00 - 198,00 = 2970,00 \text{ с.}$$

$$\Delta t_2 = \Delta t^L_2 \cdot n_2 = 2970,00 \cdot 179 = 531630,00 \text{ авт./с.}$$

Розрахунок потоку 3:

Затримки автомобілі в потоці 3 за рахунок зміни швидкостей під час руху вільною смугою на головній дорозі.

Для потоку 3 об'їзд на головній:

$$t_1 = (S/v) \cdot 3600 = (0,9 + 1 + 1 + 1 + 0,5) / 10 \cdot 3600 = 1584,00 \text{ с.}$$

Зміна в часі руху одного автомобілі потоку 3 через перегін через зміну швидкостей руху:

$$\Delta t_3 = t_2 - t_0 = 1584,00 - 198,00 = 1386,00 \text{ с.}$$

$$\Delta t_3 = \Delta t_3 \cdot n_3 = 1386,00 \cdot 21 = 29106,00 \text{ авт./с.}$$

Сумарна затримка по всіх потоках:

$$\Delta t = \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 = 0 + 531630,00 + 29106,00 = 560736,00 \text{ авт.с.}$$

Сумарна втрата по перепробігу по сусідніх дорогах $\Delta L = 0,000$ км.

Розрахунок значень параметрів транспортного потоку (величина часу та перепробігу) при аварійній ситуації з перерозподілом ТП через одну сусідню дорогу (Сценарія К1 – рис. 3.13).

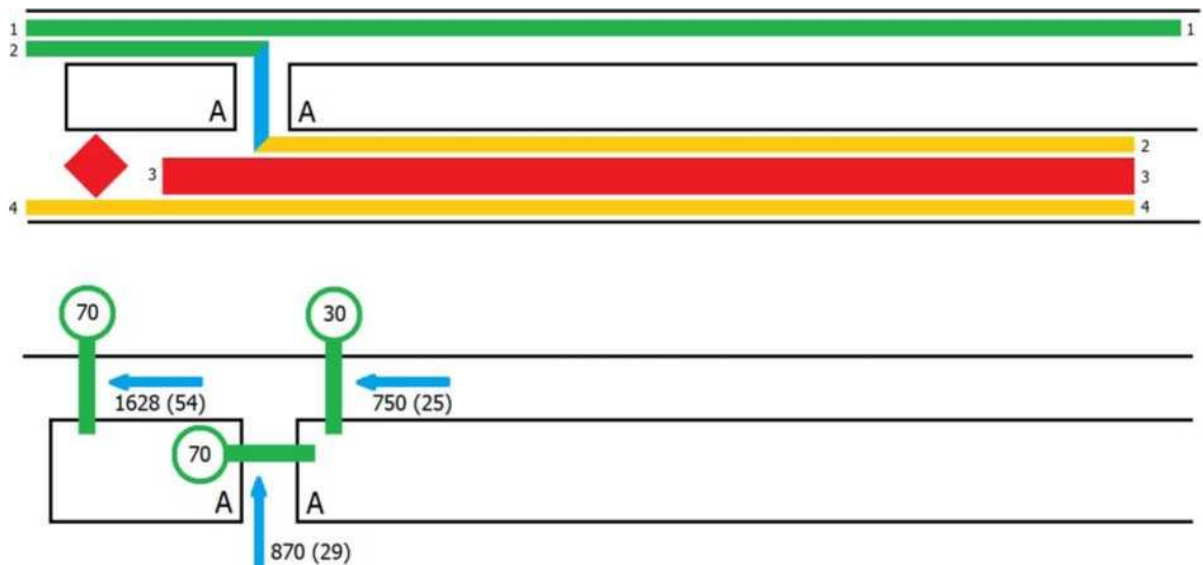


Рисунок 3.13 - Схема потоків з об'їздом через одну сусідню дорогу К1

Розрахунок потоку 1:

Зміна часу руху автомобілі потоку 1 отримано в результаті зміни часу вирішуючої фази на світлофорах відповідно до напрямку руху ТП.

Стандартні затримки («delay») на світлофорах для фонового руху по об'їзній дорозі визначаються за таблицею 2.4 із застосуванням формули Вебстера.

У початкових умовах (без затору) значення затримки ТЗ:

$$\text{delay}^A_0 = T7(\mu_1, T_{\text{фаз}}^A) = T7(750, 40) = 36,72 \text{ с.}$$

При інтенсивності ТЗ 1620 (=750 + 870) авт./год, значення затримок ТП змінюються через зміну тривалості роздільної здатності відповідного світлофора. Значення затримок ТП на об'їзній дорозі в різних тривалостях роздільної здатності фази світлофора визначаються:

$$\text{delay}^A_1 = T7(\mu_1, T_{\text{фаз}}^A) = T7(750, 30) = 55,30 \text{ с.}$$

$$\text{delay}^0_1 = T7(\mu_1 + \mu_2, T_{\text{фаз}}^A) = T7(1620, 70) = 22,78 \text{ с.}$$

$$\Delta t^A_1 = (\text{delay}^A_1 - \text{delay}^{\text{ср}}_1) \cdot N_1 = (55,30 - 36,72) \cdot 25 = 464,50 \text{ авт./с.}$$

$$\Delta t^0_1 = (\text{delay}^0_1 - \text{delay}^{\text{ср}}_1) \cdot N_1 = (22,78 - 36,72) \cdot 25 = -348,50 \text{ авт./с.}$$

$$\Delta t_1 = \Delta t^A_1 + \Delta t^0_1 = 464,50 + 0 = 116,00 \text{ авт./с.}$$

Розрахунок потоку 2:

Зміна часу руху автомобілі потоку 2 отримано в результаті зміни значення затримок на світлофорах, а також за рахунок зміни швидкостей при об'їзді затора на головній дорозі і руху по об'їзній дорозі.

$$\text{delay}^A_2 = T7(\mu_2, T_{\text{фаз}}^A) = T7(870, 70) = 14,52 \text{ с.}$$

$$\text{delay}^0_1 = T7(\mu_1 + \mu_2, T_{\text{фаз}}^A) = T7(1620, 70) = 22,78 \text{ с.}$$

$$\Delta t^A_2 = \text{delay}^A_2 \cdot N_2 = 14,52 \cdot 29 = 421,08 \text{ авт./с.}$$

$$\Delta t^0_2 = \text{delay}^0_2 \cdot N_2 = 22,78 \cdot 29 = 660,62 \text{ авт./с.}$$

Час руху одного автомобіля потоку 2 через перегін на головній дорозі:

$$t_1 = (S/v) \cdot 3600 = (1,0 + 1,0 + 1,0 + 0,5) / 10 \cdot 3600 = 840,00 \text{ с}$$

Час руху одного автомобілі потоку 2 через перегін на дорозі, що примикає:

$$t_2 = (S/v) \cdot 3600 = 0,5 / 20 \cdot 3600 = 90,00 \text{ с}$$

Час руху одного автомобіля потоку 2 на перегін при руху по об'їзній дорозі:

$$t_3 = (S/v) \cdot 3600 = 1,0 / 60 \cdot 3600 = 60,00 \text{ с}$$

У результаті, втрата часу руху одного автомобіля потоку 2 через зміну швидкостей руху:

$$t = t_1 + t_2 + t_3 = 840,00 + 90,00 + 60,00 - 198,00 = 792,00 \text{ с}$$

Тобто втрата часу руху потоку 2 (за один цикл світлофора) через зміну швидкостей руху:

$$\Delta t^L_2 = 792 \cdot 29 = 22968,00 \text{ авт./с.}$$

Загальна втрата часу руху потоку 2 (за один цикл світлофора)

$$\Delta t_2 = \Delta t^{A_2} + \Delta t^{B_2} + \Delta t^{L_2} = 421,08 + 660,62 + 22968,00 = 24049,70 \text{ авт./с.}$$

Розрахунок потоку 3:

Зміна часу руху автомобілі потоку 3 отримано в результаті зміни швидкостей при русі ТП в заторі на головній дорозі.

Час руху одного автомобіля потоку 3 на перегоні при руху по головній дорозі:

$$t_1 = (S/v) \cdot 3600 = (0,9 + 1 + 1 + 1 + 0,5) / 5 \cdot 3600 = 3168,00 \text{ с.}$$

Зміна в часі руху одного автомобіля потоку 3 через зміну швидкостей руху через мережі:

$$\Delta t^{L_3} = t_1 - t_0 = 3168,00 - 198,00 = 2970,00 \text{ с}$$

Зміна в часі руху автомобілів потоку 3 через зміну швидкостей руху через мережі:

$$\Delta t_3 = \Delta t^{L_3} \cdot n_3 = 2970,00 \cdot 150 = 445500,00 \text{ авт./с.}$$

Розрахунок потоку 4:

Час руху автомобілі потоку через 4 перегону змінюється за рахунок зміни швидкостей руху потоку у вільній смузі на головній дорозі.

Час руху одного автомобіля потоку 4 через перегону на головній дорозі:

$$t_1 = (S/v) \cdot 3600 = (0,9 + 1 + 1 + 1 + 0,5) / 10 \cdot 3600 = 1584,00 \text{ с.}$$

Зміна часу руху одного автомобілі потоку 4 через перегону через зміни швидкостей руху:

$$\Delta t^{L_4} = t_1 - t_0 = 1584,00 - 198,00 = 1386,00 \text{ с}$$

Зміна в часі руху автомобілів потоку 4 через зміну швидкостей руху через мережі:

$$\Delta t_4 = \Delta t^{L_4} \cdot n_4 = 1386,00 \cdot 21 = 29106,00 \text{ авт./с.}$$

Сумарна затримка по всіх потоках:

$$\begin{aligned} \Delta t &= \Delta t_1 + \Delta t_2 + \Delta t_3 + \Delta t_4 = \\ &= 464,50 + 24049,70 + 445500,00 + 29106,00 = 499120,20 \text{ авт./с.} \end{aligned}$$

Сумарна втрата по перепробігу по сусідній дорозі довжини $L = 0,500$ км.

$$\Delta L = L \cdot n = 0,500 \cdot 29 = 14,500 \text{ км.}$$

Виконано аналогічні розрахунки для інших сценаріїв дорожнього руху. Структура світлофорної схеми у напрямку дороги, що відповідає напрямку руху ТЗ, показана на відповідному рис. 3.14 – 3.16. Підсумкові результати розрахунку параметрів ТП у чотирьох варіантах наведено у таблиці 3.8.

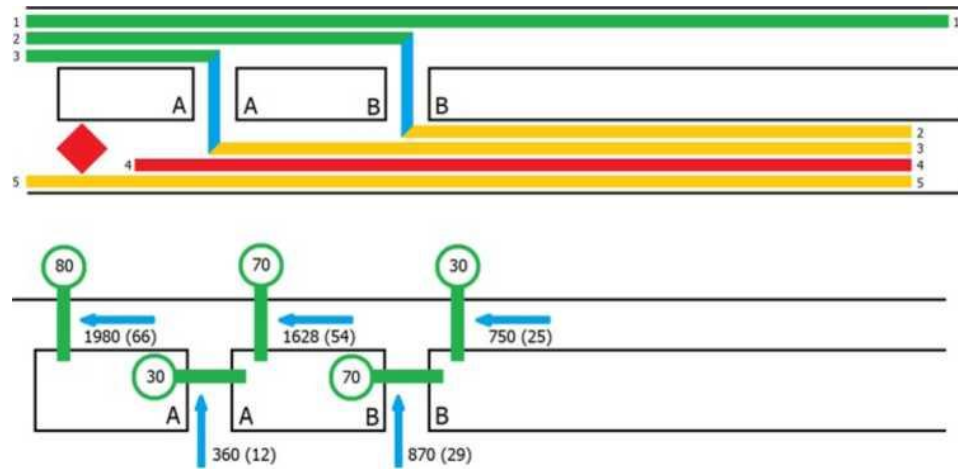


Рисунок 3.14 - Схема потоків з об'їздом через 2 сусідні дороги К2

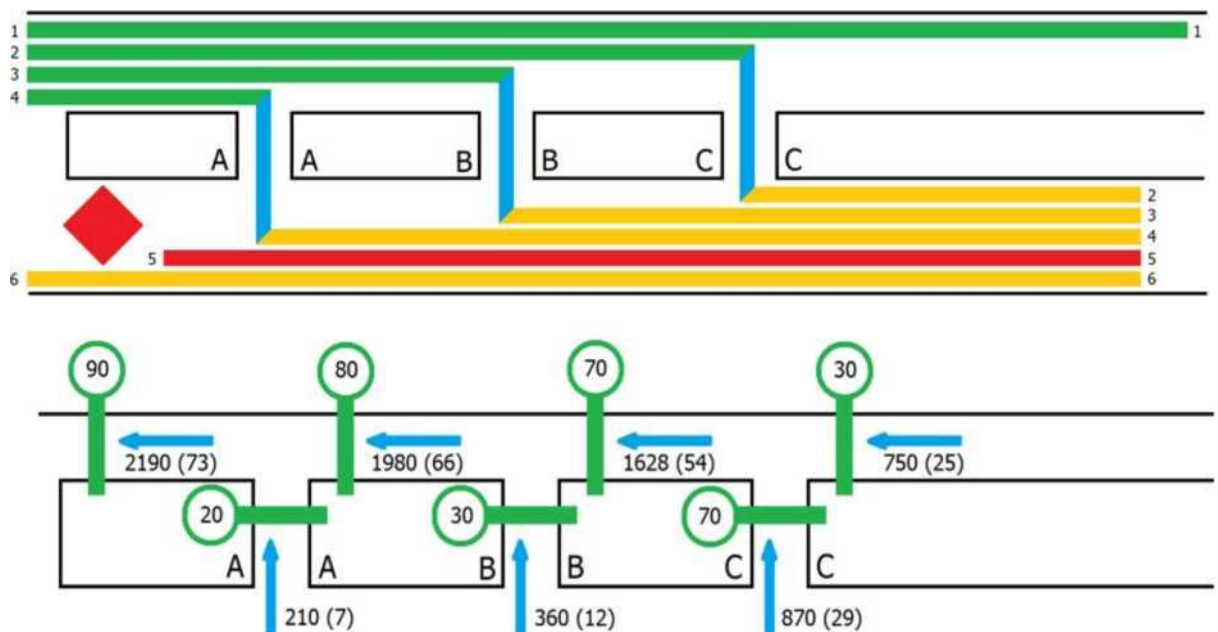


Рисунок 3.15 - Схема потоків з об'їздом капіляром через три дороги, що примикають К3

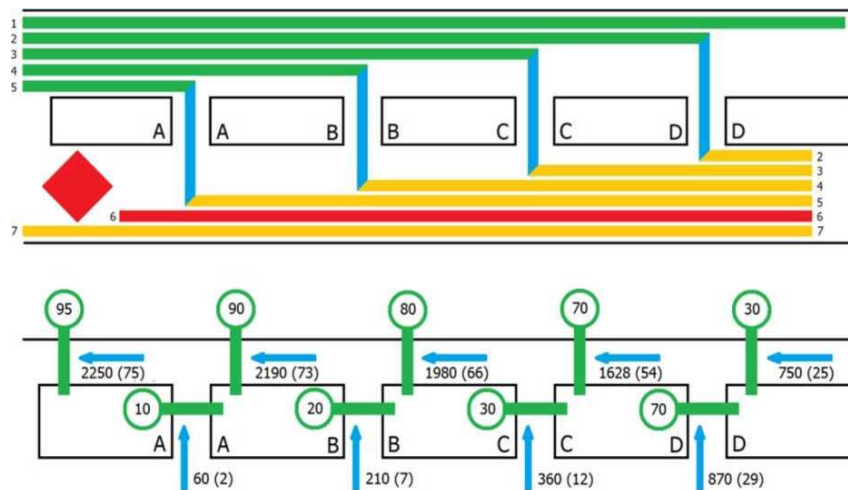


Рисунок 3.16 - Схема потоків з об'їздом капіляром через чотири дороги, що примикає К4

Таблиця 3.8 – Результат обробки даних ПЗ

Схеми пересування	Сума часу руху ТП, авт. с.	Подовження пробігу ТП, авт. км.	% Δt		% ΔL
			від попер.	від поч.	від попер. схеми
K0	560736,00	-	-	-	-
K1	499120,20	14,500	11,65	11,65	1
K2	454336,40	20,500	6,44	17,34	1.413793
K3	431992,30	24,000	4,92	21,41	1.655172
K4	418834,70	25,000	3,05	23,80	1.724138

Кожен сценарій управління дорожнього руху характеризується значеннями параметрів транспортного потоку при їх пересуванні через мережу. пропускної спроможності аналізованого об'їзного маршруту.

Результати, подані у таблиці 3.5, підтверджують гіпотезу у тому, що зміна маршруту призводить до зміни витрати. Це проявляється через зміну параметрів транспортного потоку, вимірюваних від точки початку руху до точки закінчення поїздки в транспортній мережі. Зміна цих параметрів залежить від зміни сценарію організації дорожнього руху, і він неоднорідний і не підпорядкований чітким закономірностям. Кожна транспортна мережа характеризується своїми параметрами транспортних потоків, заходами з управління дорожнім рухом та структурою транспортної мережі. Тому для економії часу розрахунків та забезпечення точності експериментального процесу при великій кількості розрахунків розрахунок цих величин запрограмований у програмному забезпеченні.

Висновки за 3 розділом

1. В ході експериментального дослідження ефективності інтелектуальної транспортної системи було отримано результати, які підтвердили гіпотезу, сформульовану на основі попередніх теоретичних досліджень та отриманих раніше даних.

2. Було розроблено програму експерименту, а також надано опис процесу проведення експериментальних досліджень.

3. Проведено опитування серед водіїв про вибір маршруту руху в мережі, на основі чого було розроблено нейронну мережу для визначення частки перенаправлення транспортного потоку в мережі.

4. Побудовано імітаційну модель транспортної мережі та руху транспортного потоку для визначення пропускної спроможності перехресть при організованому управлінні світлофорами. Ця модель дозволила оцінити швидкість руху транспортного потоку при різних рівнях інтенсивності транспортних засобів та пропускної спроможності дороги.

5. В результаті аналізу експериментальних даних, отриманих на ділянках дорожньої мережі, що розглядаються, були виявлені зміни характеристик руху транспортного потоку в мережі, включаючи зміни в часі руху та відстані, який проїжджають транспортні засоби. Ці зміни дозволили оцінити ефективність вжитих заходів щодо організації дорожнього руху.

Здійснено оцінку отриманих даних щодо впливу ІТС на рівень дорожньої діяльності (РДД) та на організацію дорожнього руху (ОДР), що підтвердило результати проведених досліджень.

РОЗДІЛ 4. ОЦІНКА АДЕКВАТНОСТІ МОДЕЛІ І ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАЛІЗАЦІЇ МЕТОДУ СИТУАЦІЙНОГО УПРАВЛІННЯ ДОРОЖНІМ РУХОМ

4.1 Формування вихідних матеріалів

Завдання програмного забезпечення полягає у вирішенні проблем, пов'язаних із роботою ІТС. У контексті вирішення проблеми, пов'язаної з функціонуванням ІТС, найважливішим параметром для програмного забезпечення є формування вихідних даних. В даному випадку вихідними даними аналізованого дослідження є результати розрахунку до і після реалізації сценаріїв у певній ситуації транспортної мережі. Вихідні дані ситуації дорожнього руху включають:

- дані про поточний стан транспортної мережі;
- дані про поточний коефіцієнт завантаження транспортної мережі та проблемні ділянки дороги;
- дані про режим роботи системи світлофорів.

Вихідні дані включають список сценаріїв управління з описом їх характеристик (частка перенаправлення транспортного потоку з головної дороги на обхідну дорогу, режим роботи відповідних світлофорів) і результати розрахунків програми (значення часу руху загального потоку і значення дальності проїзду транспортних засобів). Ці результати докладно представлені у наступному розділі даного дослідження (рис. 4.1 – 4.2).

4.2 Опис інтерфейсу та форми вихідних параметрів

Для виконання серії розрахунків, аналогічних виконаним у попередні кроки п. 3.2, було написано програмне забезпечення (ПЗ). Основою програмного забезпечення є математичні моделі, створені під час цього дослідження.

ІНМТрукція по роботі з програмою «З розрахунку значення часу і дальності пересування транспортного потоку через мережу»

4.2.1. Загальні положення

Програма, на підставі раніше прорахованих та введених даних за ситуаційними сценаріями, здійснює підбір оптимальних варіантів максимально наближених за заданими параметрами. Програма представлена у презентаційному варіанті з обмеженими функціональними можливостями.

Вибірка із кейсу сценарієв					
Інтенсивності авт/год			Оптимальний варіант		
Головна		Капіт. вхід	№	Дельта час, год.	Дельта пробіг, км
Вхід	Вихід				
6000	750	750	5	65.13	19.370
6000	750	900	5	66.81	17.770
6000	900	750	5	63.96	19.370
6000	900	900	5	65.64	17.770
6000	810	720	5	64.00	20.150
7500	800	1200	5	92.05	13.850
7500	900	1100	5	90.25	15.020
7500	1000	1200	5	90.64	13.850
7500	900	1200	5	91.34	13.850
9000	1200	600	5	103.67	21.330

Варіанти

Печать

Відміна

Рисунок 4.1 – Приклад формату файлу, що відображає характеристики досліджуваної мережі

[illegible]

Рисунок 4.2 – Приклад вихідної таблиці результатів розрахунку програми

Вимоги до комп'ютера: програмне забезпечення "Розрахунок значень

параметрів транспортного потоку" розроблено для операційної системи Windows та написано мовою програмування Microsoft Visual FoxPro 9. Технічні специфікації для комп'ютера включають такі параметри: процесор Pentium , 32 Мб оперативної пам'яті (RAM) і 25 Мб вільного місця на жорсткому диску або на знімному носії, роздільна здатність екрана не менше 800 на 1200 пікселів, з підтримкою 16- bit TrueColor .

Проведено огляд програми

- головне меню

Після запуску виконуваного файлу у вікні програми виводиться форма «Головне меню» (рис. 4.3) з якого за функціональними кнопками можна перейти до підрозділів програми:

- «довідники» - меню довідників програми, необхідні для розрахунку параметрів сценарію;

- "конфігурація потоків" - опис ділянок дорожньої мережі з переліком можливих потоків руху транспортних засобів;

- банк сценаріїв - список сценарних планів на основі конфігурації потоків ділянок дорожньої мережі з різними показниками інтенсивностей за основними параметрами, що впливають на оптимальність сценарію;

- «вибір сценарію» - отримання оптимальних сценаріїв за значенням параметрів, що задаються.

Перехід у підрозділи здійснюється "кліком" лівої кнопки миші за відповідною кнопкою.

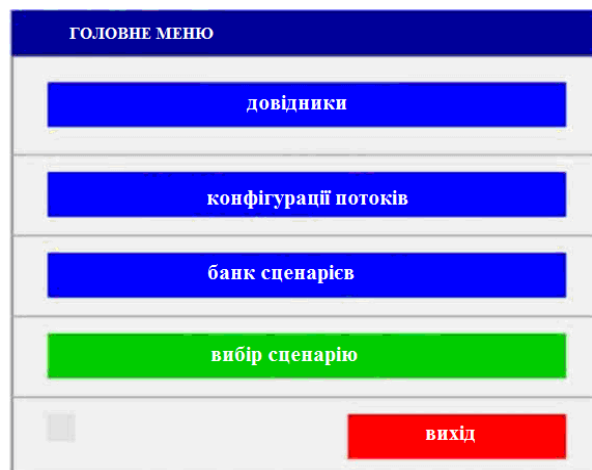


Рисунок 4.3 - Головне меню програми

При переході до розділу «Довідники» з головного меню програми на екран виводиться меню «Довідники» (рис. 4.4):

- «елементи дорожньої мережі» - довідник, що містить інформацію щодо всіх елементів заданої ділянки дорожньої мережі, використані в даних розрахунках;

- «пропускна здатність «розвантажувальної» дороги 2 смуги» - довідник пропускної спроможності світлофора за напрямом «розвантажувальної» дороги 2 смуги залежно від тривалості роздільної здатності фази світлофора;

- «Пропускна спроможність об'їзної колії 1 (2) смуги» - довідники пропускної спроможності світлофорів у напрямку односмугової (двосмугової) об'їзної колії при виїзді на «розвантажувальну» дорогу залежно від тривалості роздільної здатності фази світлофора.

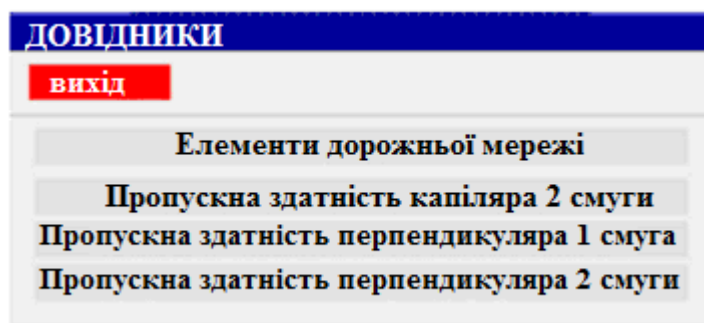


Рисунок 4.4 – Меню довідників.

Це довідник елементів дорожньої мережі

Загальний вигляд довідника «Опис елементів дорожньої мережі» представлений на рисунку 4.5.

ОПИСАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ ДОРОЖНОЙ СЕТИ									Выбор
№	К-во полос	Координаты		Длина, метров	Скорости			Описание элемента дорожной сети	
		Начало	Конец		Пешех.	Общед.	Загора.		
1	4	10	00	0.500	80	10	5	перекресток главной дороги	Изменить
2	4	00	00	0.500	80	10	5	перекресток главной дороги	Изменить
3	4	00	00	0.400	80	10	5	перекресток главной дороги	Удалить
4	4	00	00	0.940	80	10	5	перекресток главной дороги	
5	2	01	01	0.400	50			перекресток главной дороги	

Рисунок 4.5 - Довідник елементів дорожньої мережі

Довідник включає наступну інформацію щодо елементів дорожньої мережі:

- ідентифікатор елемента дорожньої мережі;
- кількість смуг доріг;
- умовне позначення точки (координати) на схемі дорожньої мережі, де починається (розташований) поточний елемент ;

- умовне позначення точки (координати) на схемі дорожньої мережі, де закінчується (ідентифікатор, у разі точкового елемента («Т» для світлофора)) поточний елемент;

- довжина перегону між двома сусідніми перехрестями;
- швидкість руху;
- середня швидкість для об'їзду перешкод;
- середня швидкість у заторі;
- текстовий опис елемента дорожньої мережі.

Управління даними довідника здійснюється кнопками:

- «Новий» – внесення нового елемента довідника;
- "Змінити" - зміна параметрів поточної позиції довідника;
- "Видалити" - видалення поточної позиції довідника;
- "Друк" - експорт вмісту довідника на принтер або в інші формати;
- "Вихід" - повернення з довідника в меню "Довідники" б.

Загальний вигляд довідника "Опис елементів дорожньої мережі" представлений на рис.

ЗелФ	МІН	МАХ
5	1	4
10	5	8
15	9	12
20	13	17
25	18	22
30	23	25

Buttons: Вибір, Новий, Змінити, Видалити

Рисунок 4.6 - Довідник пропускної спроможності світлофора

За значенням довідника визначається необхідною тривалістю роздільної здатності фази світлофора по заданому потоку автомобілів, або за тривалістю фази визначається максимальна можлива кількість перетинають через перехрестя зі світлофорами автомобілів.

Кількість довідників відповідає конфігурації доріг на частині дорожньої мережі.

Довідник містить наступну інформацію про пропускну здатність залежно від тривалості роздільної здатності фази світлофора:

- тривалість роздільної здатності фази світлофора в заданому напрямку;
- мінімальна кількість автомобілів, що перетинає через перехрестя зі світлофорами за заданий інтервал часу;
- максимальна кількість автомобілів, що перетинає світлофор за заданий інтервал часу;

Управління даними довідника здійснюється кнопками:

- «Новий» – внесення нового елемента довідника;
- "Змінити" - зміна параметрів поточної позиції довідника;
- "Видалити" - видалення поточної позиції довідника;
- "Друк" - експорт вмісту довідника на принтер або в інші формати;
- "Вихід" - повернення з довідника в меню "Довідники"

Перелік ділянок дорожньої мережі

Основним розрахунковим елементом є «дільниця» дорожньої мережі – набір елементів дорожньої мережі, функціонально об'єднаний для вирішення задач оптимізації руху. При цьому ділянки можуть утримуватись у великих за обсягом ділянках, містити менші або перетинатися з іншими.

Загальний вид переліку «Дільниці дорожньої мережі» подано на рис. 4.7.

Перелік містить найменування (опис) ділянок, що наповнюватимуть банк сценаріїв.

Управління даними довідника здійснюється кнопками:

- «Вибір» - у режимі довідника здійснюється вибір поточної позиції зі списку проблемних ділянок;
- "Потоки" - перехід у вміст ділянки дорожньої мережі (3.3.1);
- «Новий» – внесення нового елемента довідника;
- "Змінити" - зміна параметрів поточної позиції довідника;
- "Видалити" - видалення поточної позиції довідника;
- "Друк" - експорт вмісту списку на принтер або в інші формати;

- «Вихід» – повернення з довідника до головного меню.



Рисунок 4.7 – Ділянки дорожньої мережі

Потоки ділянки дорожньої мережі

В розділі послідовно за варіантами перераховуються всі елементи дорожньої мережі потоками (рис. 4.8).

Різні варіанти містять різний набір потоків.

ПОТОКИ УЧАСТКА ДВИЖЕНИЯ ДОРОЖНОЙ СЕТИ													
№ варіант	№ поток	Описание потока	Идентификаторы точек последовательности потока										
			01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	
0	1	движение по капилляру	13	5	14	6	15	7	16	8	17		
0	2	движение по главной	1	2	3	4							
1	1	движение по капилляру	13	5	14	6	15	7	16	8	17		
1	2	затор на главной	1	2	3	4							
1	3	объезд по главной	1	2	3	4							

Рисунок 4.8 - Потоки ділянки дорожньої мережі

Допустимі дії:

- "Новий" - внесення нового елемента переліку;
- "Змінити" - зміна параметрів поточної позиції переліку;
- "Видалити" - видалення поточної позиції переліку;
- "Друк" - експорт вмісту переліку на принтер або в інші формати;
- «Вихід» - повернення із довідника до списку ділянок.

Банк сценаріїв

Основний набір даних програми, містить набір сценаріїв на ділянках та за вхідними параметрами, перерахованими за заданими кроками зміни.

Банк сценаріїв (у поточній реалізації програми) містить таку інформацію щодо кожного сценарію:

- найменування ділянки дорожньої мережі;
- інтенсивність на вході головної дороги у ділянку;
- інтенсивність на виході з ділянки головною дорогою;
- фонові інтенсивності «розвантажувальної» дороги;
- номер оптимального варіанта;
- дельта затримки за часом під час реалізації сценарію;
- дельта перепробігу при реалізації сценарію.

Допустимі дії:

- «Варіанти» - перехід у розкладку потоків із розрахунковими значеннями елемента сценарію;
- «Новий» - внесення нового та розрахунок елемента сценарію;
- «Змінити» - зміна параметрів та перерахунок поточної позиції банку;
- "Видалити" - видалення поточного сценарію;
- "Друк" - експорт вмісту банку на принтер або в інші формати;
- «Вихід» - повернення із довідника до списку ділянок.

а. Форма редагування елемента банку сценаріїв

У режимі "Новий" буде активна кнопка зі стрілкою для вибору ділянки дорожньої мережі.

За кнопкою «Скасувати» поточна дія буде скасована. За кнопкою «Змінити» значення параметрів буде внесено до банку сценаріїв, також буде здійснено розрахунок (перерахунок) всіх параметрів сценарію в розкладці потоків та заповнена додаткова довідкова таблиця «розрахунок варіантів».

Форма розкладки по потоках і зелених фаз світлофорів.

Форма містить розкладку варіантів відповідно до опису ділянки дорожньої мережі з алгоритмічно розрахованими зеленими фазами світлофорів на «розвантажувальній» дороги та величинами транспортних потоків (авт./цикл) по кожному світлофору «розвантажувальної» дороги. Окремо синім кольором виділено оптимальний варіант відповідно до цільової функції оптимізації окремо показників часу і перепробігу.

Форма містить наступну інформацію:

- номер варіанта;

- дельта затримки за часом при реалізації варіанта сценарію;
- дельта перепробігу при реалізації варіанта сценарію;
- фонові інтенсивності «розвантажувальної» дороги, далі по кожному світлофору, задіяному у варіанті сценарію:
- номер потоку (за змістом опису ділянки дорожньої мережі) («П»);
- ідентифікатор (координати) світлофора («Ід»);
- величина додаткового потоку, що надходить з об'їзної колії на «розвантажувальну» дорогу («Інтн П»);
- тривалість роздільної здатності фази на «розвантажувальній» дорозі («ЗФК»);
- тривалість вирішальної фази на об'їзній колії (ЗФП); Допустимі дії:
- "Розрахунок" - перехід у довідкову таблицю з даними розрахунку;
- "Друк" - експорт розкладки на принтер або в інші формати;
- «Вихід» – повернення до банку сценаріїв.

в. Таблиця розрахунку сценарію

Довідкова таблиця розрахунку сценаріїв служить перевірки розрахунків (рис. 4.9).

РАСЧЕТ ВАРИАНТОВ СЦЕНАРИЯ											
Flow_vrnt	Flow_flow	Flow_type	Pnt_01_flw	Pnt_01	Pnt_01_dl	Pnt_01_dt	Pnt_02_flw	Pnt_02	Pnt_02_dl	Pnt_02_dt	Pnt ^
0	1 КК		25	13	0.000	1382		5	0.000	0	
0	2 ММ		200	1	0.000	0		2	0.000	0	
1	1 КК		25	13	0.000	1382		5	0.000	0	
1	2 ПМ		175	1	0.000	59063		2	0.000	59063	

Рисунок 4.9 - Розрахунки варіантів сценарію

Кнопка «Друк» дозволяє експортувати дані на друк або інший формат, «Вихід» повертає на форму розкладки сценарію.

Запит у банк сценаріїв

Форма запиту до банку сценаріїв. Необхідно вибрати ділянку дорожньої мережі та задати параметри відповідних потоків, далі натиснути кнопку «Знайти».

На екрані буде виведено список сценаріїв з найбільшим наближенням до введених параметрів (у тестовій версії дані сценарії виділені синім кольором). На кнопці «Варіанти» можна переглянути інші варіанти кожного сценарію.

Вибір конкретного сценарію на виконання представляється користувачеві програми.

Кнопка «Скасувати» повертається до головного меню.

Таким чином, програмне забезпечення розроблено з метою обчислення ступеня зміни параметрів, які залежать від організації дорожнього руху. Це здійснюється через підсистему організації дорожнього руху як директивно (світлофори), так і опосередковано (ДІТ). Відповідно до розділу 1.1 даного дослідження, зміни оцінюються загальним параметром, який називається "Недохід". Крім залежності від параметрів транспортного потоку, витрата також залежить від коефіцієнта значущості (ваги цього параметра), який у свою чергу піддається впливу різних факторів, таких як країна, регіон, тип транспортного засобу, ВРП країни/регіону тощо.

4.3 Визначення коефіцієнтів значущості

На підставі розрахунків програми було отримано результати, представлені в табличному вигляді (табл. 4.1), за допомогою яких можна визначити оптимальний сценарій управління транспортним потоком на обраній ділянці. Оскільки в рамках дослідження проводиться розрахунок для чотирьох різних сценаріїв, розглянутих у третьому розділі, результати розрахунків дали чотири комбінації значень часу руху і дальності проїзду всього потоку в кожному сценарії.

Таблиця 4.1 - Таблиця одержаних результатів розрахунку ПЗ

	Сценарій управління транспортним потоком	Зменшення часу руху всього потоку Δt , година	Подовження дальності пройденого шляху всього потоку Δl , км
1	K0	-	-
2	K1	265.2	578
3	K2	385.9	525
4	K3	477.7	551
5	K4	560.1	581

Як описано раніше у формулі (2.7), значення витрати вибирається з метою оцінки ефективності сценаріїв організації дорожнього руху. Зниження витрати розраховується за такою формулою:

$$\Delta И_i = - \Delta t_i * k_t + \Delta l_i * k_l \quad (4.1)$$

k_t - значення вартості однієї одиниці часу руху транспортних засобів в

мережі (грн./автомобіль.год)

k_l - значення вартості однієї одиниці пройденної відстані транспортних засобів у мережі (грн./автомобіль.км)

Δt_i - кількісна зміна часу руху, пройденної відстані транспортних засобів у мережі до та після застосування i -го варіанту (сценарію) управління руху транспортного потоку в мережі, км;

Δl_i - кількісна зміна пройденної відстані транспортних засобів у мережі до та після застосування i -го варіанту (сценарію) управління руху транспортного потоку в мережі, км.

Значення в цьому розділі розраховані за статистикою, представленою у 2022 році. Значення вартості однієї одиниці часу руху транспортних засобів у мережі має те саме значення, що і значення вартості простою легкового автомобіля, яка розраховується згідно з формулою:

$$C_{\text{простою}} = \frac{ВРП \cdot \kappa_p}{N_{\text{агл}} \cdot D_p \cdot T_p} + K_{\text{нап}}, \text{ грн./авт./год.} \quad (4.2)$$

де: ВРП - валовий регіональний продукт; Київ; ВРП = 2.62 трлн. грн. / рік

$K_{\text{нап}}$ – коефіцієнт наповнення автомобіля; $K_{\text{нап}} = 1.5$ чол./авт.

$N_{\text{агл}}$ – чисельність населення Київської агломерації; $N_{\text{агл}} = 10,2$ міл. чол.

K_p – коефіцієнт щорічного зростання ВРП; $K_p = 1.15$

D_p - кількість робочих днів на рік; $D = 247$ днів/рік.

T_p – тривалість робочого дня. $T_p = 8$ год./днів

$$K_t = \frac{2620000 \cdot 1.15}{10.2 \cdot 247 + 8} \cdot 1.5 = 1132 \text{ грн./авт. год.}$$

K_t - значення вартості однієї одиниці пройденної відстані транспортних засобів у мережі (руб./автомобіль.км) розраховується за процедурою, яка представлена в таблиці нижче. K_t розраховується виходячи з вартості ремонту/заміни дорожнього покриття у зв'язку зі зносом, викликаним рухом ТЗ) на дорозі.

Отже з урахуванням формули та розрахованих значень значимості параметрів транспортного потоку значення вартості перевезення розраховується за формулою:

$$\Delta l_i = -\Delta t_i \cdot 1132 + \Delta l_i \cdot 34.6 \quad (4.3)$$

4.4 Проведення експерименту на прикладі реальної ділянки вулично-дорожньої мережі

Для здійснення експериментального дослідження було обрано ділянки ВДМ, на яких було підвищено ризикований наступ подій, які могли створити перешкоди для дорожнього руху, такі як дорожньо-транспортні пригоди (ДТП), дорожньо-ремонтні роботи, тимчасове закриття доріг, і так далі. Основним критерієм вибору ділянки управління дорожнім рухом є можливість переходу з основної дороги на суміжні вулиці та наявність достатньої кількості вільних примикань. Розташування цих ділянок було визначено та погоджено з конструктивними характеристиками дорожньої інфраструктури.

У рамках цього дослідження проводилося обстеження ділянки Дмитрівського шосе, починаючи від Вагоноремонтної вулиці та закінчуючи Бескудниківським бульваром. Основною метою даного дослідження було зібрати достатню інформацію для визначення параметрів, необхідних розрахунку параметрів сценарію управління дорожнім рухом, що піддається дослідженню. Обстеження на досліджуваній ділянці включало три основні завдання:

1. Збір даних про транспортний потік, що рухається через досліджувану мережу.
2. Визначення різних можливих сценаріїв управління дорожнім рухом.

3. Проведення відповідних розрахунків витрат кожного сценарію визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом. Передбачалося збирати зазначені показники на основних транспортних вузлах ділянки управління дорожнім рухом. Збір цих характеристик планувалося провести на основних транспортних вузлах ділянки управління дорожнім рухом. Початковий вибір передбачуваних перехресть здійснювався після аналізу карти дороги, що досліджується (рис. 4.10 - 4.11).

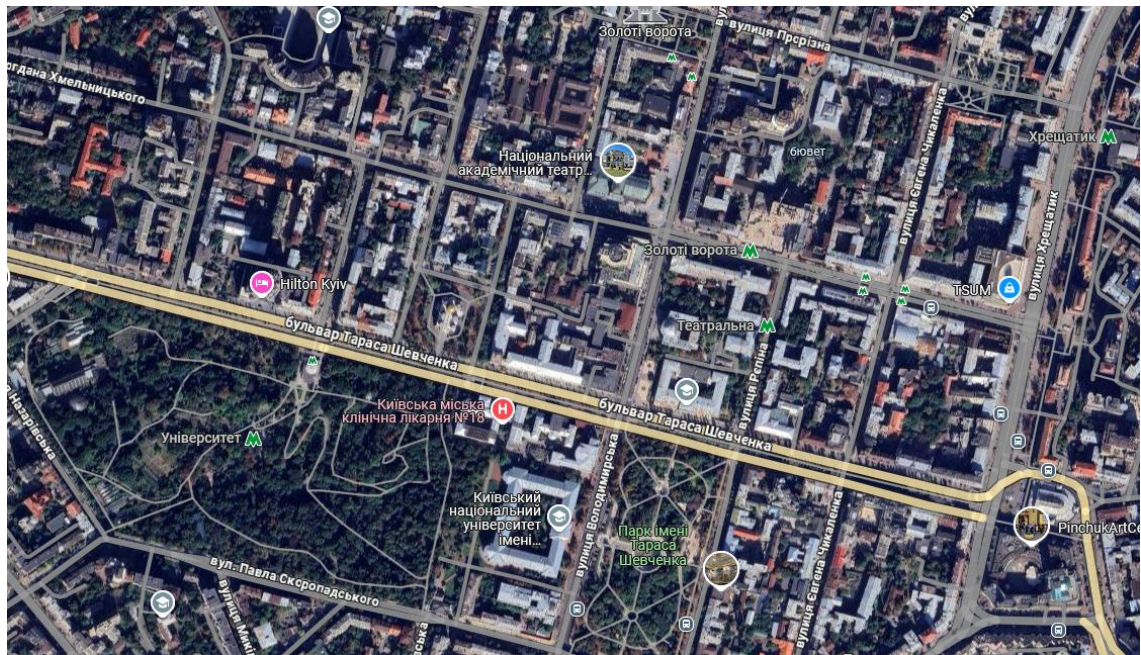


Рисунок 4.10 - Вибрана транспортна мережа

В результаті натурного обстеження на ділянці, що досліджується, отримані наступні характеристики транспортного потоку:

- Інтенсивність та склад транспортних засобів у потоці.
- Розподіл транспортних засобів за напрямками руху.
- Дані про метод УДР на досліджуваному ділянці.

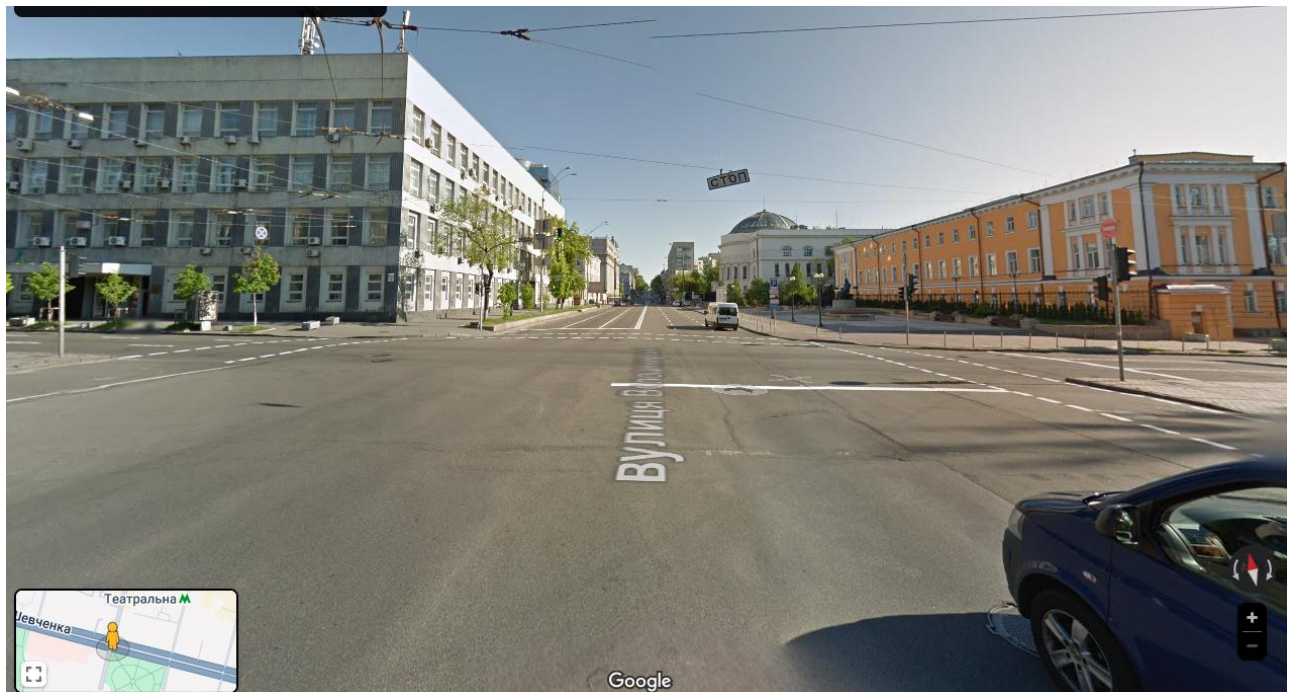


Рисунок 4.11 - Стан транспортної мережі, що досліджується.

Моделювання досліджуваної ділянки та проведення імітації Використання

отриманих параметрів потоку з урахуванням даних, отриманих на попередніх етапах, дозволило провести побудову моделі ВДМ та поведінку розрахунок характеристик транспортного потоку на ділянці Дмитрівського шосе (рис. 4.12). Для наближення моделі до реальних умов на деяких ділянках було вирішено закрити деякі смуги руху імітувати проведення дорожніх робіт на ділянках дорожньої мережі.

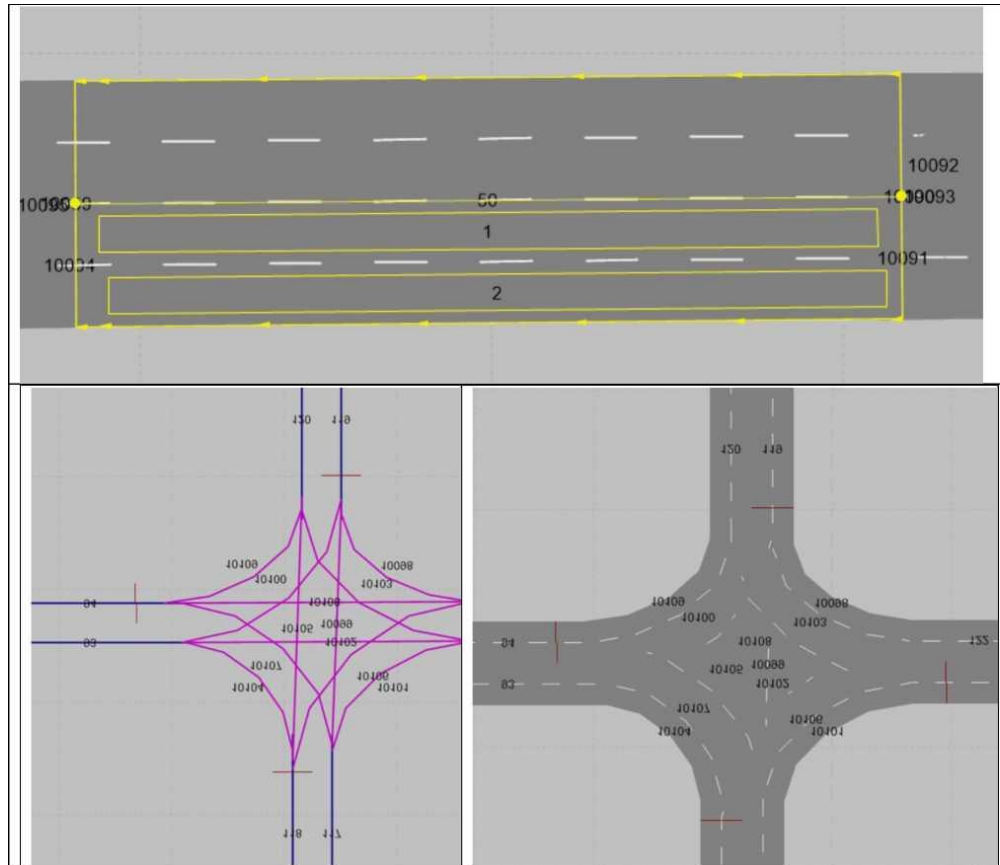


Рисунок 4.12 - Побудована модель транспортної мережі, що досліджується.

На основі аналізу конструктивних характеристик досліджуваної мережі, ідентифікуються 4 різні маршрути руху ТП в мережі. На рисунку 4.13 представлені схеми перенаправлення ТП за різними сценаріями за досліджуваною мережею. Перерозподіл здійснюється за допомогою динамічних інформаційних табло (ДІТ) або інших засобів інформування системи КУТП.

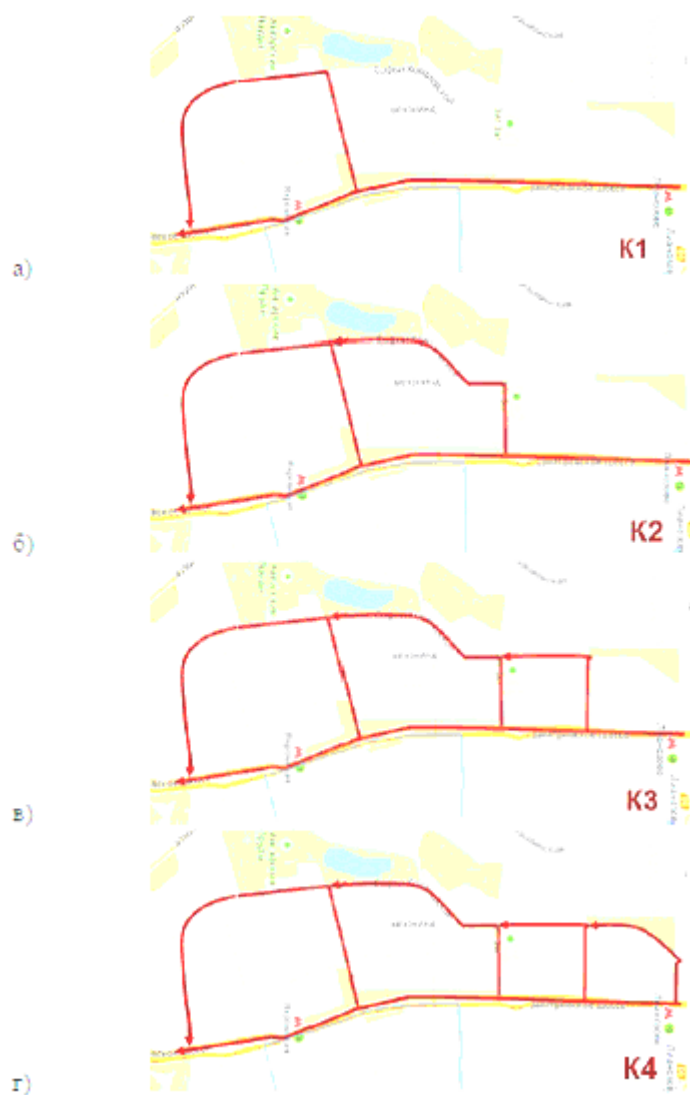


Рисунок 4.13 – Схеми перенаправлення ТП за різними сценаріями по досліджуваній мережі: а - K1; б - K2; в - K3; г - K4

У побудованій моделі спроектовані вищезазначені 4 маршрути руху. У процесі імітації транспортної мережі на моделі визначено відповідні характеристики потоку транспортних засобів при русі транспортної мережі по 4 маршрутах руху. Результати моделювання представлені у таблиці нижче. (Таблиця 4.2).

Таблиця 4.2- Параметри проєктованих схем пересування ТЗ

Схема руху ТП	Рівень завантаження	Зменшення часу руху (хв.)	Збільшення перепробігу (км)	Покращення якості обслуговування
№1 (K4)	1	26	1.41	3
№2 (K3)	1	22	1.15	1
№3 (K2)	1	17	1.17	1
№4 (K1)	1	15	1.18	1

Отримані дані про обстежену дорожню мережу були введені в нейромережну модель для визначення пріоритетної схеми руху відповідно до вибору водія транспортного засобу (рис. 4.14).

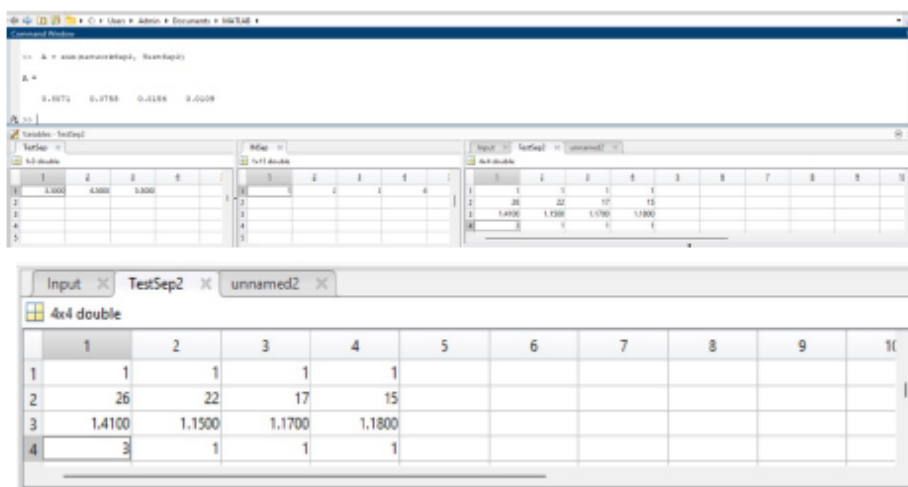


Рисунок 4.14 - Введення даних досліджуваної дорожньої мережі та схеми управління дорожнім рухом у побудовану штучну нейронну мережу першому етапі

На підставі результатів експерименту, обрана водієм діаграма руху є схемою 4 (схема, що проходить через маршрут по Вагоноремонтній вулиці) з найвищим коефіцієнтом вибору (0,8071). Цей результат також узгоджується з прогнозом, зробленим у розділі 2, та тенденцією, показаною в результатах аналізу даних соціального опитування (рис. 4.15).

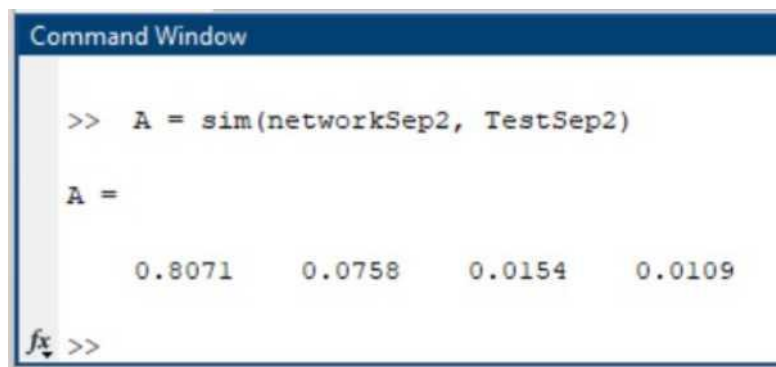


Рисунок 4.15 - Результат обробки даних штучною нейронною мережею

На основі роботи системи штучних нейронних мереж (ШНМ) кількість транспортних засобів, які можуть вибрати маршрут через Вагоноремонтну вулицю, становить 2825 ($3500 \cdot 0,8071$) автомобілів із загальної кількості 3500 авт./год.

Фактична кількість транспортних засобів, які можуть вибрати дорогу за схемою №

К 4 становить 900 автомобілів, що менше, ніж 2825. Отже, максимальна кількість транспортних засобів, які можна направити на Вагоноремонтну вулицю, обмежена 900 машинами. Детальний розрахунок параметрів сценарію управління дорожнім рухом за схемою № К4.

4.5 Визначення точності побудованої моделі

Для визначення точності модельованої моделі було проведено тестування з використанням параметрів, зібраних у результаті спостережень у реальному часі об'єкта моделювання – дорожньою транспортною мережею, таких як: час руху дорогою, потік транспортних засобів на дорозі.

У побудованій моделі умови руху транспортних засобів в мережі встановлюються аналогічно до реальних умов руху на дорозі (кількість смуг руху, режим роботи систем світлофорів, способи організація дорожнього руху на перехрестях, дозволені напрямки руху транспортних засобів, що входять у перехрестя, інтенсивність транспортного потоку на дорозі). Модель запускається для однієї симуляції із встановленими умовами.

Час проведення тестування головною дорогою: з 16:30 до 17:30.

Кількість вимірів: 10.

Транспортний засіб для тестування: Легковий автомобіль марки Хонда СР-V 2011, 2.4 (рис. 4.16).

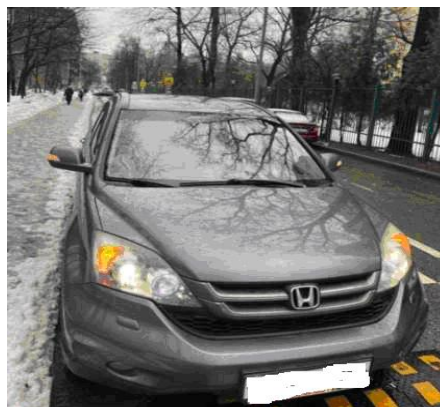


Рисунок 4.16 - Транспортний засіб для тестування

Параметр, який використовується для порівняння: час руху по дорозі (у хвилинах). Результати моделювання та фактичні вимірювання часу руху транспортних засобів представлені в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 - Результати моделювання та фактичні вимірювання час руху

ТЗ

№ виміру	Результат виміру (хв.)	Результат моделювання (хв.)
1	7.4	8.5
2	9.1	
3	11.3	
4	8.9	
5	9.9	
6	10.6	
7	7.2	
8	8.9	
9	10.7	
10	9.9	
Середній результат	9.39	Середнє відхилення: $(9,39 - 8,5) * 100/8,5 = 10,4\%$

Виходячи з результатів обчислень, різниця між результатами моделювання та реальними вимірами на дорозі становить 10,4%. Таким чином, можна дійти невтішного висновку, що надійність моделювання становить 89,6% і її можна використовуватиме проведення подальших досліджень.

4.6 Розробка методики визначення оптимального варіанта учасників дорожнього руху

Отримані в результаті даного дослідження дані надають достатні підстави для розробки методики визначення оптимального сценарію організації дорожнього руху (ОДР) у разі непередбачуваних заторів у транспортній мережі. У цьому контексті оптимальним вважається той варіант, який забезпечує найбільший позитивний ефект (зниження значення витрати пересування учасників дорожнього руху через мережу). Було розроблено методику ситуаційного управління дорожнім рухом у задачі оптимізації завантаження ВДМ у вигляді алгоритму визначення оптимального сценарію УДР при заторі (рис. 4.17).

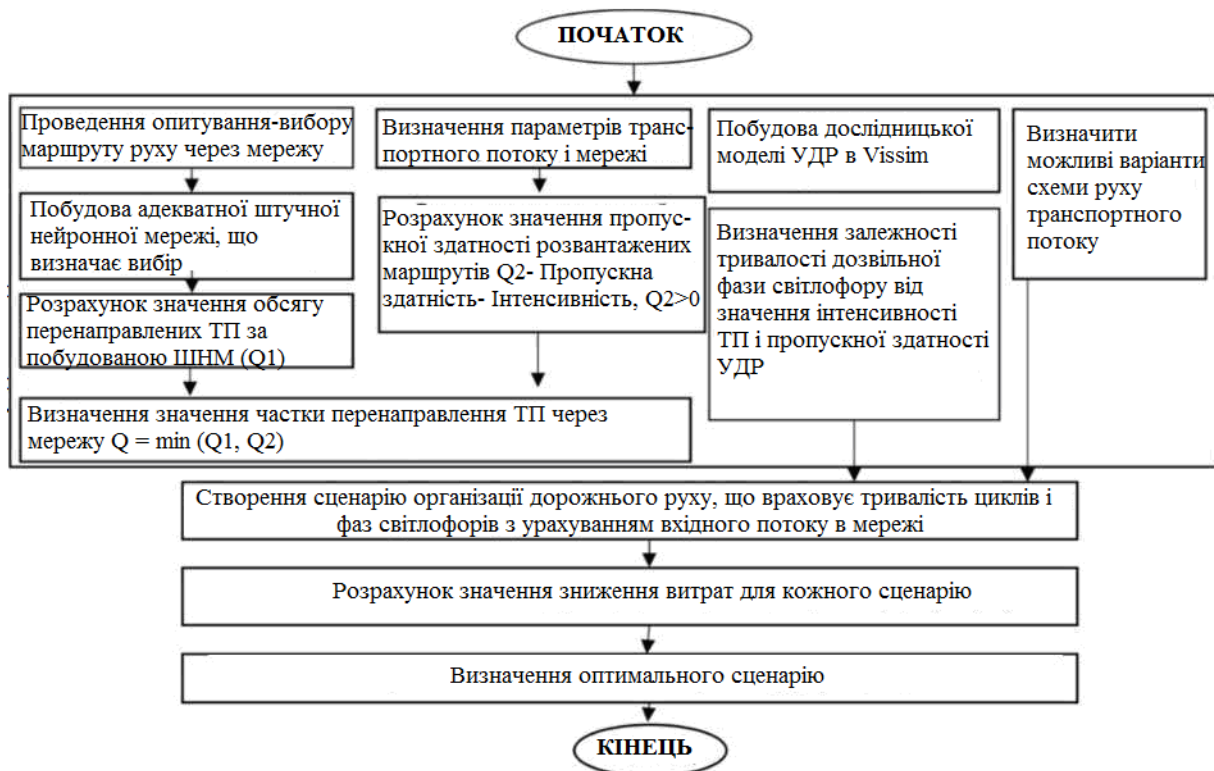


Рисунок 4.17- Методика визначення оптимального варіанта управління дорожнім рухом

Розроблена методика включає кілька основних етапів:

1. Проведення опитування водіїв: На цьому етапі здійснюється вибір маршруту руху через мережу водіями у ситуації перекриття кількох смуг проїжджої частини дороги через непередбачувані ситуації в ВДМ.
2. Побудова нейронної мережі: На основі результатів опитування будується адекватна нейронна мережа, яка здатна визначати можливий обсяг перенаправлення транспортного потоку в об'їзну колію в ВДМ в залежності від характеристик пропонованого водіями об'їзного шляху.
3. Визначення тривалості роздільної здатності фази світлофора: Для цього використовується метод імітаційного моделювання у програмі *Vissim*, де залежність тривалості роздільної здатності фази світлофора від значення інтенсивності транспортного потоку і пропускної спроможності транспортної мережі визначається.
4. Визначення параметрів транспортного потоку та мережі: На цьому етапі відбувається розрахунок значень параметрів транспортного потоку та мережі.

5. Розрахунок частки перенаправлення транспортного потоку: Для цього розраховується обсяг перенаправлених транспортних потоків по штучній нейронній мережі та значення запасної пропускної спроможності розвантажених маршрутів. Обсяг перенаправлених ТЗ визначається як мінімум із двох значень, розрахованих на попередньому етапі.

6. Визначення можливих варіантів схеми руху: На основі структурних характеристик дорожньо-транспортної мережі визначаються можливі варіанти схеми руху транспортного потоку на розвантажені вулиці із проблемних ділянок дороги.

7. Створення сценаріїв організації дорожнього руху: Розробляються сценарії організації дорожнього руху з огляду на тривалість циклів і фаз світлофорів на основі заздалегідь визначених маршрутів обходу.

8. Визначення оптимального сценарію: Вибирається оптимальний сценарій серед розроблених сценаріїв з урахуванням витрат на пересування учасників дорожнього руху. Оптимальним сценарієм вважається той, що має найменше значення витрати серед усіх розрахованих за формулою (4.3) на попередньому етапі.

4.7 Застосування розробленого результату дослідження

Поряд з розвитком транспортної системи та зростанням проблем безпеки дорожнього руху уряд вжив багато заходів щодо мінімізації ДТП та їх наслідків. У тому числі, для забезпечення безпеки дорожнього руху, мінімізації ДТП, покращення якості дорожнього руху, підвищення якості поточних заходів, полегшення учасників дорожнього руху, застосування наукових досліджень має важливе значення. Розвиток інтелектуальних транспортних систем призводить до значних покращень у транспортному комплексі, включаючи можливість центрів, які обслуговують різні підсистеми ІТС. Це стає ключовим ШНМтрументом для моніторингу та управління транспортними потоками.

Система визначення оптимальних сценаріїв ОДР є ключовою частиною комплексу ІТС. Ця система призначена для управління дорожнім рухом у разі виникнення непередбачуваних дорожніх ситуацій, таких як перекриття смуг руху або поява перешкод, що може призвести до утворення заторів.

Основою цієї системи є розрахунок параметрів дорожньої мережі визначення оптимальних сценаріїв ОДР з допомогою технічних засобів поділу транспортних потоків. Вона також займається перенаправленням транспортного потоку та координацією роботи світлофорів на перехрестях. Програма розроблена для вибору варіантів організації дорожнього руху, найбільш наближених до реальної ситуації. Параметри попередньо розраховуються з урахуванням математичних моделей, описаних у розділі II, і зберігаються у банку планів організації дорожнього руху. Результати, отримані у цьому дослідженні, можуть бути доповнені чинними нормативними документами.

Алгоритм застосування розробленої системи визначення оптимального сценарію управління дорожнім рухом при заторі представлено на рисунку. 4.18.



Рисунок 4.18 - Послідовність етапів життєвого циклу ІТС

На основі життєвого циклу ІТС цей алгоритм може застосовуватися як при проектуванні, так і при експлуатації ІТС. Даний алгоритм є доповненням до технічних рішень, що використовуються в системі ІТС.

Висновки за 4 розділом

1. Представлено поточний стан застосування системи інтелектуального транспортного управління (ІТС) у місті, а також виявлено недоліки її роботи при виникненні заторів. Було проведено аналітику актуальності використання програмного

забезпечення для вирішення цієї проблеми.

2. Обрано програмне забезпечення для оцінки ефективності функціонування системи інтелектуального транспортного управління (ІТС) та визначення параметрів, що впливають на цю ефективність для різних сценаріїв організації дорожнього руху (ОДР). Дане програмне забезпечення дозволяє провести розрахунки зазначених показників як до впровадження запропонованих заходів, так і після їх реалізації.

3. Проведено розрахунок значення вартості однієї одиниці часу руху транспортних засобів у мережі (1132 грн./авт.год) та значення вартості однієї одиниці пройденої відстані транспортних засобів у мережі (34,6 грн./авт..км).

4. Розроблено методику визначення оптимального сценарію організації дорожнього руху у разі виникнення непередбачуваних заторів у транспортній мережі.

5. Проведено економічну оцінку застосування розробленої методики оптимізації роботи управління дорожнім рухом при заторі з використанням прикладу транспортної ситуації на досліджуваній ділянці в Києві. У цьому випадку досягнуто економічного ефекту, який становить 614,3 тисячі гривень.

ВИСНОВКИ

1. Встановлено, що втрати у транспортній системі пов'язані з вадами системи ремаршрутизації та управління дорожнім транспортом, а також системами управління світлофорами. Для зменшення таких втрат та підвищення надійності виконання транспортних процесів необхідно покращувати функціонування інтелектуальної транспортної системи – контроль роботи її підсистем, оперативна оцінка поточного стану дорожнього руху та обладнання ІТС мають важливе значення, особливо в умовах перевантаженості транспортної мережі міст.

2. Розроблено показник ефективності для оптимальних сценаріїв управління транспортним потоком за умов високих ризиків виникнення транспортних колізій у вулично-дорожній мережі. Запропоновано показник, що називається "Недоліком", запропонований для оцінки ефективності дорожніх рухів. Витрата визначається як функція від загальної кількісної зміни основних характеристик пересування учасників дорожнього руху у мережі, що відбувається під впливом заходів щодо організації дорожнього руху. У цьому кожен параметр враховується з урахуванням свого коефіцієнта значимості критерію вибору маршруту руху транспорту.

3. Розроблено математичну модель визначення мінімальної витрати для конкретної транспортної мережі. Модель ґрунтується на тимчасових даних, отриманих від транспортної мережі, а також стану вектора впливів системи управління дорожнім рухом, що управляють.

4. Проведено експериментальне дослідження, які довели репрезентативність побудованої моделі у 89,6% та ефективність розробленого алгоритму у 90%.

5. Проведено економічну оцінку застосування розробленої методики оптимізації роботи управління дорожнім рухом при заторі з використанням прикладу транспортної ситуації на досліджуваній ділянці в Києві. У цьому випадку досягнуто економічного ефекту, який становить 614,3 тисячі гривень.

Розроблено математичний апарат у вигляді нейронної мережі, що забезпечує визначення можливого обсягу перенаправлення транспортного потоку в об'їзну колію в поточних умовах вулично-дорожньої мережі. Ця нейронна мережа враховує характеристики пропонованого водіям об'їзного шляху та дозволяє прогнозувати обсяг

перенаправлення. В результаті математичного моделювання та проведених експериментальних досліджень розроблено методику оптимізації робіт інтелектуальної системи ремаршрутизації транспортного потоку та управління світлофорним регулюванням. Ця методика варта ефективного управління дорожнім рухом за умов зниження пропускної спроможності вулично-дорожній мережі.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи для здобувачів другого (магістерського) рівня вищої освіти за освітньо-професійною програмою "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" / [уклад. : В. В. Аулін, А. В. Гриньків, С. В. Лисенко та ін.] ; М-во освіти і науки України, Центральноукраїн. нац. техн. ун-т, каф. експлуатації та ремонту

2. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Дьяченко В.О. Теоретичний системно-спрямований підхід до визначення інтегрального показника ефективності реалізації операцій в транспортних системах // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.232-247.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=60>

3. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, В. В. Біліченко, А. С. Замуренко // Вісник машинобудування та транспорту. - Вінниця : ВНТУ, 2020. - № 1(11). - С. 4-10.

Режим доступу: <https://vmt.vntu.edu.ua/index.php/vmt/article/view/187>

4. Аулін В.В. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК / В.В. Аулін, Д.О. Великодний, В.О. Дьяченко // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.

Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nn_2018_62_3

5. Методологія оптимізації транспортних технологій: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О. Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 68 с.

6. Управління транспортними системами: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О.

Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 56 с.

7. Плекан У.М., Ляшук О.Л., Аулін В.В., Цьонь О.П., Матвіїшин А.Й. Логістична стратегія автотранспортного підприємства. Організаційні аспекти формування Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37) ч.ІІ. С.75-82.

Режим доступу: http://mapiea.kntu.kr.ua/archive/37_II/37_II_Plekan.html

8. Аулін В. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 325 с.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=article&id=825>

9. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/11251>

10. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

Режим доступу: <http://dspace.kntu.kr.ua/jspui/handle/123456789/10540>

11. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Чернай А.Є., Голуб Д.В., Головатий А.О. Теоретичне обґрунтування управління функціонуванням технічними та транспортними системами на основі методів системної теорії інформації // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.178-189.

Режим доступу: <http://www.kntu.kr.ua/?view=science&id=60>

12. Аулін В.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк:

Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.

13. Горяїнов О.М. Транспортні технології і логістика. Книга 1. Теорія і практика дисципліни «Вантажні перевезення» (для транспортних технологів): Підручник. – Харків: ХНТУСГ ім. П. Василенка, 2013. – 490 с.

14. Савченко, Л.В. Взаємодія видів транспорту : навч. посіб. - К. : НТУ, 2010.- 96 с

15. І.Г. Смирнова, Т.В. Косарева. Транспортна логістика. Навчальний посібник. Київ, центр учбової літератури, 2008 рік., 220с.

16. Алькема В.Г., Сумець О.М. Логістика. Теорія та практика. Навчальний посібник. - К.: «Видавничий дім «Професіонал», 2008. - 272с.

17. Кальченко А.Г. Логістика: Підручник. - Вид. 2-ге, без змін. - К.:КНЕУ, 2006. - 284с.

18. І.М. Сокур, Л.М. Сокур, В.В. Герасимчук. Транспортна логістика. Навчальний посібник. Київ, центр учбової літератури, 2009 рік., 220с.

19. Крикавський Є. Логістика. Основи теорії: підручник. Львів: НУ «Львівська політехніка» (Інформаційно-видавничий центр «ІНТЕЛЕКТ+» Інституту післядипломної освіти); «Інтелект-Захід», 2004. 416с.

20. Горбачов П.Ф. Основи теорії транспортних процесів і систем :навчальний посібник / П.Ф. Горбачов, Н.В. Пономарьова, Є.В. Любий, Т.В.Волкова. – Х.: ХНАДУ, 2015. – 192 с.