

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему: Підвищення ефективності керування транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста Тернополя

Виконав: студент 6 курсу, групи МНм-61
спеціальності 275 «Транспортні технології»
(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Баландюк Р.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Аулін В.В.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Плекан У.М.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Кобельник В.Р.

(прізвище та ініціали)

Зав. каф.

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України	
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя	
(повне найменування вищого навчального закладу)	
Факультет	<i>інженерії машин, споруд та технологій</i>
Кафедра	<i>Автомобілів</i>
Освітній рівень	<i>магістр</i>
Напрямок підготовки	
(шифр і назва)	
Спеціальність	<i>275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)</i>
(шифр і назва)	

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри *О.П. Цьонь*

«11» *листопада* 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Баландюку Руслану Анатолійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи *Підвищення ефективності керування транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста Тернополя*

керівник проекту (роботи) *Аулін Віктор Васильович, д.т.н., проф.*

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

затверджені наказом по університету від «11» листопада 2024 року № 4/7-1081

2. Термін подання студентом проекту (роботи) *20 грудня 2024 р.*

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

Характеристики регульованих перехресть ВДМ міста Тернополя; Кількість транспортних засобів, що Перетинають перехрестя в години «пік».

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

Вступ. 1. Теоретичний розділ. 2. Аналітико-дослідницький розділ;

3. Проектно-рекомендаційний розділ; 4 Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Схема взаємодії причин утворення заторів; Перелік заходів по боротьбі з заторами – 3 слайди;

Схема взаємодії керуючого суб'єкта з користувачем в процесі формування транспортного потоку при традиційній схемі управління – 2 слайди; Зміна параметрів в ході процесу завантаження ділянки ВДМ при відсутності контролю над формуванням транспортних потоків – 2 слайди;

Структурна схема системи керування формуванням транспортних потоків;

Структурна схема системи керування формуванням транспортних потоків.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Охорона праці</i>	<i>Окіпний І.Б., доцент</i>		
<i>Безпека в надзвичайних ситуаціях</i>	<i>Стручок В.С., ст. викладач</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент _____
(підпис)

Баландюк Р.А.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Аулін В.В.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	8
1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1. Еволюція автомобільного транспорту та супутні виклики	10
1.2. Удосконалення методів організації дорожнього руху та боротьби із заторами	15
1.3. Дослідження транспортного потоку як об'єкта для управління	25
1.4. Напрями удосконалення способів організації транспортних систем міст	29
1.5. Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра	36
2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1. Аналіз транспортної системи з точки зору системного підходу	38
2.2. Методи оцінки впливу розподілу транспортних потоків за часом поїздки на ефективність роботи дорожньо-транспортної мережі (ВДМ)	42
2.3. Математичний опис моделі для оцінки ефективності управління формуванням транспортного потоку	45
2.4. Методи підвищення продуктивності вулично-дорожньої мережі	50
3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	
3.1. Створення структурної схеми системи управління транспортними потоками	52
3.2. Модель застосування в системі управління	54

3.3.	Визначення та оцінювання системи за допомогою цільової функції	55
3.4	Блок-схема алгоритму роботи системи керування формуванням транспортних потоків	61
3.5	Впровадження основного алгоритму роботи системи управління транспортними потоками в AIMSUN	63
4.	ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1	Охорона праці на транспорті	73
4.2	Безпека дорожнього руху на транспорті	79
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	86
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	87

РЕФЕРАТ

до кваліфікаційної роботи магістра на тему:

«Підвищення ефективності керування транспортними потоками на вулично-дорожній мережі міста Тернополя»

Кваліфікаційна робота складається з чотирьох розділів текстової частини формату A4, яка включає розрахунково-пояснювальну записку, а також 10 слайдів графічного матеріалу.

Ця робота присвячена аналізу та визначенню показників ефективності використання вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста шляхом удосконалення управління транспортними потоками.

У теоретичному розділі здійснено аналіз розвитку автомобільного транспорту, розглянуто супутні проблеми, такі як затори та перевантаження транспортної мережі. Описано сучасні методи організації дорожнього руху та боротьби із заторами. Особливу увагу приділено аналізу транспортного потоку як об'єкта управління, визначено основні параметри і чинники, які впливають на ефективність руху.

В аналітико-дослідницькому розділі проведено аналіз транспортної системи міста із застосуванням системного підходу. Розглянуто методики оцінки впливу розподілу транспортних потоків за часом поїздки на загальну ефективність функціонування ВДМ. Представлено математичну модель для оцінки ефекту від управління транспортними потоками та описано підходи до оптимізації роботи вулично-дорожньої мережі.

У проектно-рекомендаційному розділі розроблено структурну схему системи управління формуванням транспортних потоків. Створено модель для використання в системі керування з урахуванням оцінки цільової функції, яка дозволяє підвищити ефективність транспортної мережі. Також представлено блок-схему алгоритму роботи системи управління транспортними потоками. Основний алгоритм роботи реалізовано в програмному середовищі AIMSUN, що

дозволяє проводити моделювання та тестування ефективності запропонованих рішень.

В розділі охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях розглянуто аспекти охорони праці в транспортній галузі, а також заходи забезпечення безпеки у надзвичайних ситуаціях, пов'язаних із функціонуванням транспортної інфраструктури.

Кваліфікаційна робота має практичну цінність завдяки розробці ефективних рішень для підвищення пропускної спроможності міської транспортної мережі. Результати роботи можуть бути застосовані для вдосконалення транспортної інфраструктури, поліпшення якості дорожнього руху та зниження транспортних витрат у міських умовах

Ключові слова: перехрестя, оцінка, якість, показники, моделювання, критерії, транспортні засоби, організація дорожнього руху, дорожня розмітка.

.

ВСТУП

Сучасний рівень завантаженості вулично-дорожньої мережі (ВДМ) великих міст породжує низку проблем, пов'язаних із невідповідністю між кількістю транспортних засобів, що користуються мережею, та її пропускною спроможністю. Основною проблемою є зниження швидкості руху на ділянках ВДМ до рівня, коли функціонування наземного транспорту стає малоефективним. Різниця між часом руху в умовах вільного трафіку та в години «пік» може досягати 6–8 разів або більше.

Цей режим руху не лише призводить до значних втрат часу, а й викликає істотне збільшення обсягів шкідливих викидів. Додатково, подібні умови сприяють підвищенню рівня стресу водіїв. При цьому рівень автомобілізації населення продовжує зростати, розширюючи часові межі годин пік та збільшуючи інтенсивність руху у міжпіковий період. Це впливає на загальноекономічний розвиток міст і якість життя їх мешканців. За оцінками експертів, втрати від транспортних заторів у великих містах сягають 3–4% ВВП.

Західні країни зіштовхнулися з аналогічними проблемами 30–40 років тому. Первинним способом їх вирішення було екстенсивне розширення ВДМ шляхом будівництва нових доріг та розв'язок. Згодом акцент змістився на підвищення ефективності використання існуючої інфраструктури через впровадження методів організації та управління дорожнім рухом. Однак такі заходи часто спричиняли збільшення кількості поїздок, що в кінцевому підсумку знову приводило до заторів. Навіть найбільш розвинені системи управління транспортними потоками здатні лише тимчасово підвищити пропускну спроможність ВДМ. При досягненні певного критичного рівня навантаження затори все одно виникають. Більшість експертів погоджуються, що без управління попитом транспортна система великих міст не може бути стабільною.

Ефективне управління транспортною системою вимагає обмеження кількості поїздок на приватному транспорті та перенаправлення їх на громадський транспорт або інші альтернативи.

До таких заходів належать:

- підвищення податків, плата за проїзд певними магістралями, платна парковка тощо.
- контроль доступу до перевантажених магістралей через світлофори або інші регулюючі засоби.

Попри ефективність таких методів, вони не вирішують проблему заторів повністю, а лише перерозподіляють їх у менш критичні зони.

Дослідження методів управління транспортними потоками та їх впливу на мережевому рівні залишаються актуальними. Управління транспортними потоками може включати обмеження в'їзду для зниження затримок і підтримання певного стану транспортної мережі.

Індивідууми при плануванні поїздок мають кілька альтернатив:

- прийняття рішення про необхідність поїздки;
- вибір пункту призначення (особливо для культурно-побутових і рекреаційних цілей);
- вибір виду транспорту чи їх комбінації;
- визначення часу початку поїздки;
- вибір маршруту пересування.

Ця різноманітність можливостей значно ускладнює процес прогнозування транспортних потоків і розробку ефективних заходів управління. Коли попит перевищує можливості транспортної мережі, вільний вибір маршруту та часу руху неминуче призводять до заторів та зниження ефективності використання ВДМ. Для ефективного управління транспортною системою міст необхідно впроваджувати комплексні заходи, які включають як регулювання попиту, так і оптимізацію роботи існуючої ВДМ. Інноваційні методи управління транспортними потоками, інтеграція громадського транспорту та підвищення мобільності населення мають стати основою сталого розвитку міської транспортної системи.

1. ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ

1.1. Еволюція автомобільного транспорту та супутні виклики

Масова доступність автомобілів призвела до суперечливих наслідків. З одного боку, автомобільний транспорт, особливо в особистому користуванні, забезпечив значну гнучкість і швидкість пересування, створивши можливість доставки вантажів і пасажирів «від дверей до дверей».

Автомобільний транспорт став потужним стимулом для розвитку багатьох галузей економіки, одночасно перетворившись на одну з ключових сфер діяльності. Сьогодні автомобільний транспорт є невід'ємною складовою функціонування міст, відіграючи роль своєрідної кровоносної системи. У міжміських та міжнародних перевезеннях він також займає важливе місце.

На початку автомобілізації власний автомобіль символізував свободу пересування, підвищуючи якість життя за рахунок значного скорочення часу на поїздки. Автомобіль з'єднував раніше ізольовані території, сприяв розширенню міських меж і дозволяв швидко добиратися з передмість у центральні райони міст.

Однак, окрім позитивного впливу на економіку і мобільність населення, автомобілізація спричинила й низку серйозних проблем. Серед основних негативних наслідків — високий рівень аварійності та смертності у ДТП, значні обсяги шкідливих викидів в атмосферу, шумове забруднення та втрати часу через перевантаження вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Ключова проблема полягає в тому, що розвиток інфраструктури, необхідної для автомобільного транспорту, не встигає за стрімким зростанням автопарку. Будівництво доріг і підвищення їх пропускної спроможності вимагає значно більших ресурсів, ніж виробництво автомобілів. У містах ця ситуація загострюється через обмежені можливості розширення транспортної інфраструктури, що призводить до постійних заторів і паралізації руху на великих ділянках.

Транспортні затори фактично нівелюють основну перевагу автомобіля — високу мобільність, перетворюючи його на фактор, що ускладнює пересування та знижує ефективність транспортної системи. Замість сприяння економічному розвитку та покращення логістики, автомобіль починає гальмувати ці процеси, ускладнюючи функціонування міської економіки.

Таким чином, масова автомобілізація, хоча й мала потужний позитивний вплив на суспільство на початковому етапі, сьогодні створює серйозні виклики, які потребують комплексних підходів для їх вирішення. Це включає вдосконалення транспортної інфраструктури, розвиток альтернативних видів транспорту та впровадження ефективних методів управління дорожнім рухом.

Експерти зі США виділяють сім основних причин виникнення заторів, які можуть комбінуватися між собою у різних варіаціях [3]. Ці причини поділяються на три основні групи:

1. Зовнішні фактори:

- дорожні пригоди (аварії, поломки транспортних засобів);
- проведення ремонтних або будівельних робіт на дорогах;
- несприятливі погодні умови.

2. Рівень транспортного попиту:

- щоденні коливання інтенсивності руху;
- збільшення транспортного навантаження через проведення різних заходів.

3. Фізичні характеристики доріг:

- технічні засоби організації дорожнього руху;
- зменшення пропускної здатності дороги (наприклад, через звуження проїжджої частини).

Як зазначено у [3], ці причини часто взаємопов'язані. Наприклад, несприятливі погодні умови можуть спричинити дорожньо-транспортні пригоди, які, у свою чергу, призводять до заторів. Виникнення заторів може спричинити перегрів і поломку автомобіля, а регулярні затори впливають на зміну попиту на поїздки.

На рисунку 1.1 представлено схему, яка ілюструє взаємозв'язок цих причин утворення заторів, демонструючи їх комплексний характер та взаємний вплив.

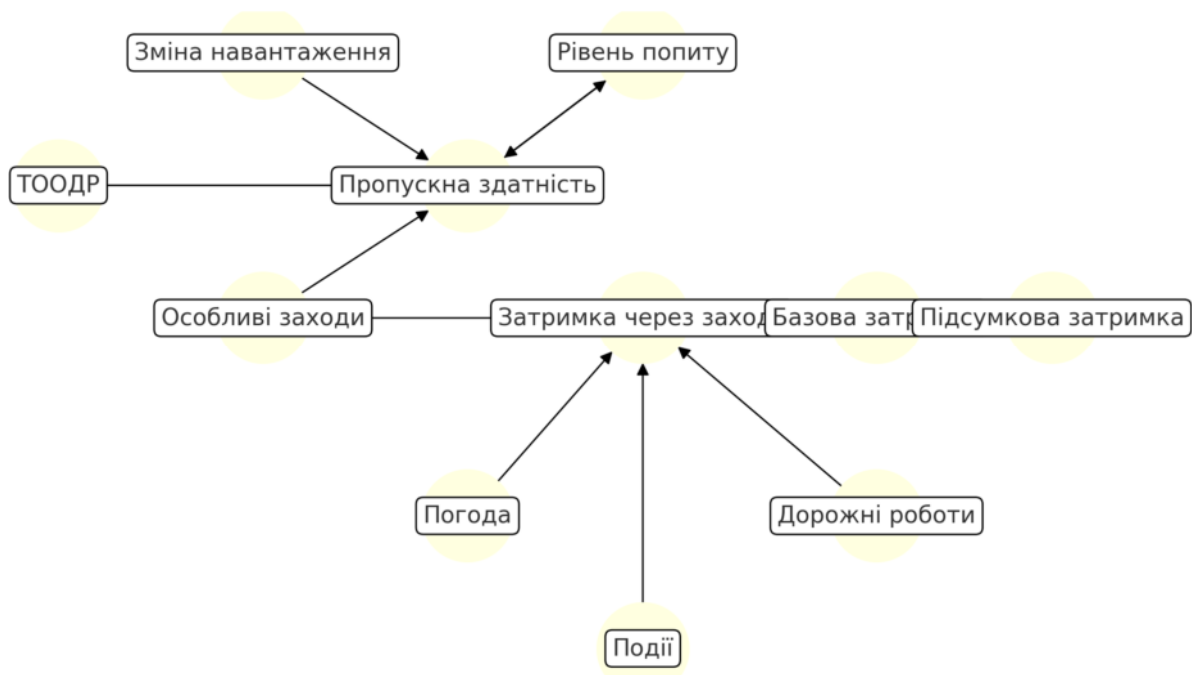


Рисунок 1.1. Схема взаємозв'язку причин утворення заторів

Таким чином, впливаючи на одну з причин виникнення заторів, можна значно зменшити негативний вплив інших факторів. За підсумками багаторічних досліджень закордонні експерти дійшли висновку, що головною причиною заторів завжди є надмірне навантаження на дорожню мережу. Негативний вплив таких чинників, як дорожньо-транспортні пригоди, несприятливі погодні умови чи дорожні роботи, може бути компенсований за рахунок резерву пропускнуої здатності дороги.

Отже, основні зусилля у боротьбі з заторами мають бути спрямовані на регулювання балансу між попитом на поїздки та можливостями дорожньої інфраструктури. Це дозволить підтримувати завантаженість дорожньої мережі в межах допустимого рівня. Оскільки регулювання транспортного навантаження є складним і потребує значних ресурсів, виникає необхідність реалізації оперативних заходів для ефективного використання наявної інфраструктури та зменшення впливу інших факторів.

До таких оперативних заходів належать:

- управління транспортними потоками;
- швидка ліквідація наслідків ДТП;
- належна організація дорожніх робіт;
- попередження обledenіння дорожнього покриття;
- оперативне інформування водіїв про погодні умови.

Згідно з різними оцінками, затори завдають значної шкоди економіці міст, становлячи від 3 до 6% їх валового регіонального продукту (ВРП). Ці втрати включають:

- втрати часу працездатного населення;
- економічні збитки бізнесу через затримки доставки вантажів;
- прискорений знос транспортних засобів;
- підвищену витрату пального;
- погіршення стану здоров'я водіїв і пасажирів.

Дослідження показують, що ступінь психоемоційного стресу у водіїв прямо залежить від тривалості їх перебування у заторах [4].

На даний момент немає загальноприйнятої методики оцінки наслідків заторів, однак безсумнівно, що вони завдають значної шкоди всім сферам життя міста. Найбільш повні рекомендації щодо оцінки наслідків заторів наведено у [5], а більш детальний опис розрахунків окремих компонентів міститься у [6].

Масова автомобілізація не тільки створює затори на вулично-дорожній мережі (ВДМ), але й породжує серйозні проблеми з паркуванням та тимчасовим зберіганням автомобілів. У центральних частинах великих міст до 25% транспортного потоку можуть становити автомобілі, які шукають місце для паркування. Це спричиняє додаткове навантаження на ВДМ і знижує її ефективність, загострюючи проблему заторів.

Класичні наслідки автомобілізації включають перевантаження доріг, збільшення часу поїздок і шкідливих викидів. Проте останні десятиліття додали нові виклики: автомобілізація кардинально змінює структуру міст, їхній зовнішній вигляд, спосіб життя мешканців і соціальні зв'язки.

Особливо показовим є досвід міст США, які стрімко розвивалися у 1970–1980-х роках. У цих містах:

- Формувалася автомобільно-орієнтована інфраструктура. Мережі фрівеїв і магістралей з комерційними зонами вздовж них ставали основою міського простору.

- Громадський транспорт занепадав. Він почав обслуговувати лише соціально незахищені верстви населення, тоді як більшість мешканців користувалися приватними автомобілями.

- Пішохідний рух деградував. Великі відстані між пунктами призначення, відсутність тротуарів, широкі вулиці та великі паркувальні зони робили пересування пішки незручним або неможливим.

- Передмістя розросталися. Низька щільність забудови в передмістях призводила до ще більшої залежності від автомобілів.

Попри інвестиції у величезні паркувальні споруди та сотні миль автомагістралей, затори залишаються серйозною проблемою. У результаті автомобілі стали домінуючим елементом міського ландшафту, витіснивши громадські простори, які могли б використовуватися для розвитку культури, спорту та соціальної взаємодії.

Додаткові наслідки автомобілізації:

1. Зниження якості міського середовища. Переважання автомобілів у міському просторі зменшує доступність зелених зон і пішохідних доріжок, знижуючи комфортність проживання.

2. Зміна соціальних відносин. Зростання залежності від автомобілів обмежує можливості для прямої взаємодії між людьми, сприяючи ізоляції окремих груп населення.

3. Екологічні проблеми. Інтенсивне використання автомобілів призводить до збільшення шкідливих викидів і шумового забруднення, що погіршує стан здоров'я мешканців.

4. Економічні втрати. Затори та витрати на будівництво нової інфраструктури завдають значних фінансових збитків, які перевищують можливі вигоди від автомобілізації.

Для покращення ситуації необхідно перейти до збалансованого підходу, що включає:

- Розвиток громадського транспорту. Інвестиції у швидкі, доступні та комфортні системи громадського транспорту знизять залежність від автомобілів.

- Забезпечення умов для пішоходів і велосипедистів. Створення тротуарів, велодоріжок та зон для активного відпочинку сприятиме формуванню комфортного міського середовища.

- Зниження використання приватних автомобілів. Запровадження платного паркування, обмеження доступу до центрів міст і створення зон з низьким рівнем трафіку можуть зменшити автомобільне навантаження.

- Інтеграція багатофункціональних зон. Поєднання житлових, комерційних та рекреаційних зон у межах пішохідної доступності зменшить потребу у тривалих поїздках.

Перехід до сталого розвитку транспортної системи та міського середовища дозволить не лише зменшити негативні наслідки автомобілізації, але й створити комфортні умови для життя, сприяючи соціальній взаємодії та економічному зростанню.

1.2. Удосконалення методів організації дорожнього руху та боротьби із заторами

Безсумнівно, світлофор є основним інструментом організації дорожнього руху в сучасних умовах. Перший пристрій для регулювання руху, що став прообразом сучасного світлофора, з'явився ще до винайдення автомобіля — у 1868 році в Лондоні. Однак, після місяця роботи цей пристрій вибухнув, поранивши поліцейського, який ним керував. Після цього інциденту світлофор

знову був впроваджений лише в 1910-х роках у США, але вже з використанням електричного освітлення.

З того часу світлофор залишається ключовим елементом систем управління дорожнім рухом. У світлофорному регулюванні існують чотири основні параметри управління:

- послідовність фаз,
- тривалість фаз,
- тривалість циклу,
- зсув початку фаз на різних перехрестях.

З моменту появи світлофорного регулювання цей інструмент пройшов довгий шлях розвитку: від локального жорсткого однопрограмного управління на окремих перехрестях до автоматизованих систем, що керують цілими мережами перехресть із використанням складних алгоритмів та технологій штучного інтелекту. Спочатку світлофор був призначений виключно для забезпечення безпеки під час роз'їзду транспортних засобів, які рухаються конфліктними напрямками. Проте зі збільшенням транспортного навантаження стало очевидно, що світлофор також відіграє ключову роль в оптимізації роботи перехрестя.

На перших етапах режим роботи світлофора налаштовувався емпіричним шляхом, тобто його параметри підбиралися методом спроб і помилок для відповідності поточній транспортній ситуації. Згодом з'явилися аналітичні методи розрахунку параметрів регулювання, і одним із найбільш відомих став метод Вебстера, який дозволяє оптимізувати тривалість фаз та циклів світлофорного регулювання з метою мінімізації затримок.

Сучасні світлофорні системи значно ускладнилися завдяки інтеграції інноваційних технологій. Використання датчиків руху, GPS-трекерів, камер відеоспостереження та інтернету речей (IoT) дозволяє світлофорам адаптуватися до мінливих умов на дорозі. Це забезпечує динамічне регулювання транспортних потоків і знижує затори.

Наприклад, адаптивні світлофорні системи, такі як SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) або SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), використовують реальні дані про інтенсивність руху для автоматичного коригування тривалості фаз у режимі реального часу, забезпечуючи тим самим найефективніше управління рухом. Завдяки цим системам забезпечується плавний потік транспорту, зменшується тривалість затримок і покращується загальна екологічна ситуація за рахунок зниження викидів.

Крім того, з'являються системи на базі штучного інтелекту (AI), які здатні аналізувати величезні масиви даних та приймати оптимальні рішення щодо розподілу фаз руху. Використання нейронних мереж дозволяє цим системам не тільки адаптуватися до поточних умов, але й прогнозувати транспортні ситуації для запобігання можливим заторам.

У майбутньому очікується впровадження взаємодії між світлофорами та автономними транспортними засобами, що дозволить значно покращити ефективність управління транспортними потоками та зменшити час на дорозі. Світлофори зможуть надсилати сигнали автономним автомобілям, попереджаючи про зміну фаз, що допоможе знизити кількість аварійних ситуацій та підвищити загальну безпеку руху.

Таким чином, світлофорне регулювання стало важливим елементом сучасної транспортної інфраструктури, що пройшло еволюційний шлях від простого контролю безпеки до складної системи управління, яка забезпечує ефективний та безпечний рух у міських умовах.

Аналітичні методи розрахунку параметрів світлофорного регулювання мали значні обмеження: вони дозволяли оптимізувати режими роботи лише для окремого перехрестя. Якісний прорив у розвитку методів розрахунку стався наприкінці 1950-х років із появою комп'ютерів. Це дозволило створювати нові підходи, які базувалися на оптимізації результатів моделювання. Одним із найвідоміших методів став TRANSYT, який продовжує вдосконалюватися й донині як програмний продукт для розрахунку параметрів регулювання.

Впровадження TRANSYT надало можливість розраховувати оптимальні плани координації для групи перехресть із різним навантаженням.

Наступним важливим кроком у розвитку стало впровадження зворотного зв'язку в контур управління дорожнім рухом. Це стало можливим завдяки використанню транспортних детекторів, які збирають інформацію про потоки в режимі реального часу. Згодом такі методи, як SCOOT (Split Cycle Offset Optimization Technique) і SCATS (Sydney Coordinated Adaptive Traffic System), інтегрувалися у системи управління для розрахунку планів координації в режимі онлайн на основі даних, зібраних детекторами.

Методи, такі як TRANSYT, SCOOT та SCATS, стали фундаментом для створення адаптивних систем регулювання дорожнього руху, які здатні в реальному часі враховувати зміни у транспортних потоках і вносити корективи в режими роботи світлофорів.

- TRANSYT був одним із перших методів, який дозволив створювати оптимальні плани регулювання для декількох перехресть одночасно, що значно підвищило ефективність роботи дорожніх мереж. Метод ґрунтується на моделюванні руху і пошуку оптимального рішення для узгодження світлофорних фаз із мінімізацією загальних затримок.

- SCOOT є адаптивною системою, яка використовує інформацію з детекторів, розміщених на дорогах, щоб у режимі реального часу змінювати параметри світлофорів для мінімізації заторів і затримок. Вона дозволяє адаптувати час фаз на основі фактичної інтенсивності руху, зменшуючи час затримок для транспортних засобів.

- SCATS, розроблена в Сіднеї, функціонує аналогічно до SCOOT, але використовує свої власні алгоритми для визначення найефективнішого розподілу часу на основі поточної ситуації на дорозі. SCATS також може самостійно приймати рішення щодо зміни режимів роботи світлофорів залежно від зміни транспортного навантаження.

З появою нових технологій такі адаптивні системи отримали новий імпульс у розвитку завдяки інтеграції з технологіями штучного інтелекту (AI) та

машинного навчання. Використання штучних нейронних мереж дозволяє системам навчатися та аналізувати велику кількість історичних даних, прогнозувати виникнення заторів і пропонувати превентивні заходи для оптимізації руху.

Також зростає важливість взаємодії між транспортними засобами та інфраструктурою (V2I), що передбачає обмін інформацією між автомобілями та світлофорами. Це дозволяє попереджати водіїв про зміну світлофорів, оптимізувати траєкторії руху та навіть автоматично коригувати швидкість для мінімізації зупинок на червоне світло.

Таким чином, поява комп'ютерів та новітніх технологій сприяла якісному стрибку у розвитку систем світлофорного регулювання. Сучасні методи, такі як TRANSYT, SCOOT та SCATS, стали основою для адаптивних систем, які активно використовуються для забезпечення ефективного та безпечного руху в умовах зростаючих транспортних навантажень.

Наступним етапом у розвитку систем, що працюють на принципі зворотного зв'язку з транспортним потоком, стали адаптивні системи, які застосовують різноманітні алгоритми самонавчання, що імітують поведінку живих організмів [9], а також нейромережеві технології [10, 11].

На сьогоднішній день найсучасніші системи управління дорожнім рухом використовують вбудовані транспортні моделі, які ітеративно прогнозують параметри руху на певний період і реалізують керуючі дії на випередження. Цей підхід, відомий як "метод ковзного горизонту" (rolling horizon) або MPC (Model Predictive Control)*, набув широкого поширення в зарубіжній практиці. Якість роботи таких систем багато в чому залежить від точності використовуваної транспортної моделі. Оскільки такі системи працюють у режимі онлайн і контролюють велику мережу, моделі повинні мати високу швидкість розрахунку, що часто призводить до необхідності їх спрощення. Зазвичай це макромоделі транспортного потоку з різними модифікаціями для врахування затримок на регульованих перехрестях.

Для підвищення точності прогнозування, розробники прагнуть використовувати більш деталізовані мезо- та мікромоделі, що вимагає значних обчислювальних ресурсів. Однак, з огляду на швидкий розвиток обчислювальних технологій останнім часом, нестача ресурсів перестає бути критичною проблемою і з часом буде подолана.

Ще одним ключовим аспектом ефективності таких систем є визначення оптимальних керуючих дій на основі прогнозованих показників, отриманих з моделей. Це потребує використання складних алгоритмів, які дозволяють знайти рішення для забезпечення максимальної ефективності транспортної мережі, зменшення затримок та покращення загальної мобільності.

У багатьох сучасних дослідженнях, присвячених системам управління дорожнім рухом, наголошується на тому, що пошук строго оптимальних керуючих дій навіть для невеликої групи перехресть є вкрай складним завданням. Це пов'язано з наявністю багатьох випадкових факторів, що робить задачу оптимізації майже неможливою з математичної точки зору. Тому для визначення прийняттого рішення застосовують різні евристичні процедури, які, як відомо, не завжди гарантують досягнення оптимального результату.

Крім вимог до якості моделей та процедур пошуку оптимальних керуючих дій, значна увага має приділятися якості зібраних даних про поточні умови руху у контрольованій мережі. Це вимагає встановлення великої кількості транспортних детекторів та використання надійних алгоритмів для обробки отриманої інформації, що є основою для ефективної роботи таких систем.

У західних країнах ще в 70-х роках минулого століття почали робити спроби інтегрувати систему світлофорного регулювання з системою розподілу транспортних потоків по мережі [12]. Таке поєднання ще більше ускладнює завдання пошуку оптимальних керуючих дій, зокрема через необхідність врахування реакції водіїв на рекомендації щодо вибору маршруту. На сьогодні існує лише кілька прикладів впровадження таких систем на практиці, а розробка теоретичних аспектів триває багатьма дослідниками, наприклад, [13]. У [14] також зазначається, що в галузі управління дорожнім рухом загалом

спостерігається значний розрив між теоретичними дослідженнями та реально впровадженими системами.

Найбільш перспективні розробки в галузі управління транспортними потоками базуються на використанні активної взаємодії транспортних засобів через спеціальне бортове обладнання. Це забезпечує комунікацію як між транспортними засобами, так і з елементами системи організації дорожнього руху (ТСОДД) та центром управління. Такі системи називаються кооперативними системами [15, 16, 17].

На даний момент майже всі провідні світові наукові спільноти в галузі транспорту активно проводять дослідження у цьому напрямку.

Сучасні системи управління дорожнім рухом вже розглядаються як складові частини загальної Інтелектуальної транспортної системи (ІТС). ІТС — це інтегрована система, яка поєднує сучасні технології управління з телематикою та спрямована на автоматизований пошук і прийняття найбільш ефективних сценаріїв управління транспортною системою та її компонентами, забезпечуючи при цьому мобільність на заданому рівні якості обслуговування користувачів [18].

На сьогодні ІТС є вершиною розвитку технологій управління транспортними системами, і водночас її компоненти продовжують активно розвиватися. Завдяки поєднанню підсистем, що керують окремими частинами транспортної інфраструктури, ІТС прагне досягти синергетичного ефекту, забезпечуючи ефективну та надійну роботу всієї транспортної системи, а також вирішуючи проблему заторів. Однак, як показує світовий досвід, на даний момент ще не вдалося повністю вирішити проблему заторів та гарантувати їхню відсутність, навіть із використанням найсучасніших технологій управління.

Огляд етапів розвитку систем управління дорожнім рухом, представлений у цьому матеріалі, не претендує на повноту і детальність, а спрямований на висвітлення основних тенденцій розвитку. Він підкреслює, що, незважаючи на складність і вдосконаленість системи управління транспортними потоками, вона є лише інструментом для підвищення пропускної здатності існуючої дорожньої

мережі через ефективне управління. Це підвищення має свої межі, і коли навантаження перевищує цей ліміт, затори неминуче виникають.

Якщо не враховувати заходи щодо екстенсивного розширення дорожньої мережі, починають застосовуватися технології управління попитом на пересування, які переважно відносяться до соціально-економічних заходів, а не до технічних. Тому транспортні системи сучасних мегаполісів не можуть розглядатися виключно як технічні системи.

Повний спектр заходів, що використовуються в світовій практиці для боротьби із заторами, наведений у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Перелік заходів по боротьбі з заторами

Напрямок діяльності	Сфера діяльності	Заходи
1	2	3
Розвиток інфраструктури	ВДМ	Будівництво нових доріг; Розширення існуючих доріг; Підвищення зв'язності мережі; Будівництво розв'язок в різних рівнях.
	Транспорт загального користування	Будівництво нових ж/д ліній; Організація нових маршрутів ТОП; Будівництво нових ліній швидкісного автобуса; Поліпшення обслуговування на існуючій мережі; Організація особливих маршрутів центр-периферія; Будівництво перехоплюючих парковок.
	Вантажний транспорт	Організація смуг тільки для вантажного транспорту;

1	2	3
		Розвиток інших видів транспорту для вантажних перевезень.
Розвиток систем оперативного регулювання	ВДМ	Поліпшення геометричних параметрів перетинів (каналізування); Організація одностороннього руху; Оптимізація світлофорного регулювання; Введення заборони паркування; Впровадження реверсивних смуг; Управління доступом на магістралі; Управління потоками на магістралях за допомогою знаків змінної інформації; Системи інформування та навігації; Системи безконтактного збору плати; Системи інформування про погодні умови; Системи ліквідації наслідків інцидентів (ДТП, поломка); Планування проведення особливих заходів, а також дорожніх робіт; Виявлення та ліквідація «вузьких» місць.
	Організація нових маршрутів	Відстеження переміщення рухомого складу; Поліпшення розкладу руху; Впровадження виділених смуг для ТОП; Організація пріоритетного проїзду перехресть; Інформування пасажирів про рух ТОП в реальному часі; Організація експрес маршрутів; Організація обслуговування за запитом;

1	2	3
		Гнучкі системи оплати проїзду.
	Вантажний транспорт	Відстеження переміщення рухомого складу; Інформування про рух рухомого складу і вантажів в реальному часі; Системи ідентифікації вантажних автомобілів.
	Альтернативи для здійснення поїздок	Зміна часу поїздки; Зміна графіка роботи; Віддалена робота; Пропаганда пішохідною навігацією і на велосипеді; Тарифне регулювання; Кампанії по навчанню населення правильному вибору транспортних альтернатив

Отже, заходи для боротьби із заторами охоплюють різні сфери діяльності, включаючи технічні, інфраструктурні, соціальні та економічні аспекти. Важливо зазначити, що навіть у зарубіжній літературі немає однозначного визначення поняття "затори", що створює певну невизначеність щодо переліку заходів, спрямованих на їх усунення. Однак усі огляди, присвячені проблемам транспортних заторів, підкреслюють, що для досягнення значного результату потрібен комплексний підхід.

Рішення цієї проблеми завжди буде полягати в компромісі між двома крайніми підходами: містом, повністю орієнтованим на автомобіль, де попит на поїздки задовольняється особистими автомобілями і створено достатньо інфраструктури для уникнення заторів, та містом, вільним від автомобілів, де всі пересування здійснюються громадським транспортом і немоторизованими засобами пересування. Для успішного вирішення питання заторів потрібен баланс між цими підходами з урахуванням місцевих умов і потреб.

У багатьох містах США до 1980-х років переважало прагнення до першого підходу, коли уряд активно стимулював використання особистого транспорту і розширював інфраструктуру для автомобілістів. Однак, такий розвиток

призводив до втрати початкових якостей міського середовища — зручності життя для мешканців. Згодом з'явилося інше бачення, яке спрямовувалося на протилежний полюс — повне усунення автомобілів із міста. Проте це рішення також має свої недоліки, оскільки автомобіль є важливим досягненням цивілізації, яке забезпечує високу мобільність для людей і відіграє ключову роль у життєзабезпеченні міст. Повна відмова від автомобілів не є доцільною [1].

У межах цієї роботи розглядаються можливості розвитку технологій управління рухом транспортних потоків у межах дорожньо-транспортної мережі міст. Оскільки ці технології не можна розглядати ізольовано від заходів з розвитку дорожньої інфраструктури та соціально-економічних ініціатив, такі аспекти також будуть згадуватися за необхідності.

1.3. Дослідження транспортного потоку як об'єкта для управління

У традиційних системах управління дорожнім рухом, таких як світлофорне регулювання та автоматизовані системи керування дорожнім рухом (АСКДР), транспортний потік розглядається як ключовий об'єкт управління. Його основні характеристики, такі як інтенсивність, швидкість і склад, використовуються як вихідні дані для проектування систем. Як об'єкт управління, транспортний потік володіє такими властивостями:

- нестационарність;
- стохастичність;
- статистична стійкість;
- обмежена керованість;
- взаємозалежність.

Керуючі дії на транспортний потік базуються на різних моделях, які описують його поведінку — від простих аналогій з гідродинамікою до складних мікромоделей, що відтворюють індивідуальну поведінку водіїв. Проте, транспортний потік на будь-якій ділянці дорожньої мережі — це не лише фізичне

явище, а й результат соціально-економічної взаємодії в суспільстві. Кожен водій або пасажир транспортного засобу переслідує конкретну мету своєї поїздки.

Залежно від цієї мети, кожна поїздка має різний рівень необхідності, а користувачі транспортної системи мають можливість робити вибір у таких аспектах:

- здійснювати чи не здійснювати поїздку;
- обирати вид транспорту для переміщення;
- визначати час початку поїздки;
- обирати маршрут руху при використанні особистого автомобіля.

Такий багатогранний підхід до аналізу транспортних потоків підкреслює складність управління, що вимагає врахування як фізичних, так і соціальних факторів.

Окрім вибору дій безпосередньо перед та під час здійснення поїздки, користувач транспортної системи може визначати пункти відправлення та призначення, зокрема місце проживання, роботи чи місця для задоволення культурно-побутових потреб. Таким чином, управління транспортною системою, включаючи транспортні потоки, має враховувати ці соціально-економічні чинники.

Одним із перших аспектів, який привернув увагу транспортних фахівців, став вибір маршруту руху на особистому автомобілі. Це пояснюється тим, що міська дорожня мережа зазвичай пропонує кілька варіантів маршрутів для досягнення однієї й тієї ж мети. У вільній дорожній мережі найоптимальнішим за витратами часу і ресурсів маршрутом, як правило, є найкоротший за відстанню. Однак у процесі завантаження дорожньої мережі транспортними потоками час руху кожним маршрутом починає зростати.

У транспортному моделюванні це збільшення описується спеціальною функцією, яка відображає зміну затримки при проїзді ділянки мережі залежно від інтенсивності руху на ній. У англomовній літературі така функція відома під назвою volume-delay function (VDF).

Кожен новий автомобіль, що додається до маршруту, збільшує затримки для всіх транспортних засобів, які рухаються цим же маршрутом у той самий час. Це особливо помітно, коли завантаженість маршруту наближається до його пропускної здатності.

У 1952 році Джон Уордроп (John Wardrop) сформулював два основні принципи розподілу транспортних потоків у мережі [20]:

1. Рівноважний розподіл (User Equilibrium): розподіл, за якого час руху на всіх маршрутах для кожної поїздки однаковий, і жоден учасник руху не може скоротити час своєї подорожі, переключившись на інший маршрут.

2. Оптимальний розподіл (System Optimum): розподіл, за якого загальний час руху всіх транспортних засобів у мережі є мінімальним.

Ще у 1950 році Джон Неш у рамках теорії ігор описав подібне явище [21]. Згодом апарат теорії ігор набув широкого застосування в транспортній науці за кордоном [22, 23], а також у дослідженнях вітчизняних науковців, наприклад, для аналізу систем міського пасажирського транспорту [24].

У термінах теорії ігор взаємодія агентів (учасників гри) відповідно до першого принципу Уордропа класифікується як некооперативна гра, де кожен гравець діє виключно у власних інтересах. У випадку другого принципу взаємодія вважається кооперативною, коли учасники об'єднують свої дії, щоб досягти загального оптимуму, наприклад, у транспортній системі — мінімізації загальних затримок.

У транспортних мережах великих міст, за відсутності систем управління розподілом потоків, ситуація зазвичай відповідає стохастичному рівноважному розподілу. Водії обирають маршрути на основі досвіду попередніх поїздок або за принципом найкоротшої відстані. Однак такий підхід не є ефективним, оскільки можливості дорожньої мережі використовуються нерівномірно. Водії часто не мають актуальної інформації про те, який маршрут у конкретний момент часу забезпечить найшвидше пересування, і змушені покладатися лише на свій досвід.

Через змінність дорожньої ситуації час поїздки за тим самим маршрутом може суттєво відрізнятись в різні дні. Це змушує водіїв планувати свої поїздки з урахуванням максимально можливого часу в дорозі, щоб уникнути запізень. Очевидно, що для підвищення ефективності використання дорожньої мережі необхідно спрямовувати водіїв на об'їзні маршрути, допомагаючи рівномірно розподіляти транспортні потоки та уникати заторів.

Для вирішення цієї проблеми почали впроваджувати різні системи інформування водіїв про дорожню ситуацію. Вони варіюються від радіопередач з повідомленнями про затори до персональних навігаційних пристроїв, які пропонують оптимальні маршрути з урахуванням часу. Одним із ефективних засобів передачі інформації водіям є динамічні інформаційні табло (ДІТ), що дозволяють оперативно надавати рекомендації щодо вибору маршруту.

Визначення оптимальних місць для встановлення динамічних інформаційних табло (ДІТ) та розробка алгоритмів їх управління стали темою численних досліджень як зарубіжних [25, 26], так і вітчизняних [27, 28] учених. Розміщення ДІТ на ключових розв'язках маршрутів безперечно має позитивний вплив. Однак у масштабах великого міста забезпечити рівномірне завантаження альтернативних маршрутів для більшості напрямків лише за допомогою ДІТ є надзвичайно складним завданням. Це вимагало б встановлення табло практично на кожному перехресті, що пов'язано з величезними фінансовими витратами.

Рациональнішим підходом є створення системи інформування, заснованої на використанні індивідуальних пристроїв, таких як навігатори. Хоча економічну ефективність цих рішень слід вивчати окремо, очевидно, що використання індивідуальних пристроїв дозволяє створити більш гнучку систему управління.

Проте навіть за умови повної інформованості учасників дорожнього руху про тривалість поїздки різними маршрутами транспортні потоки прагнуть до рівноважного розподілу, відповідно до першого принципу Уордроба. Водночас відомо, що існує розподіл, який забезпечує менші загальні затримки у дорожній

мережі, тобто системно оптимальний варіант, визначений другим принципом Уордропа.

Можливості впровадження системно-оптимального управління транспортними потоками активно досліджуються, зокрема в роботах зарубіжних авторів, які займаються цією проблематикою.

1.4. Напрями удосконалення способів організації транспортних систем міст

Сучасний розвиток транспортних систем, зокрема підходів до обслуговування населення в міських умовах розвинених країн, свідчить про зміну пріоритетів. Замість окремих систем транспорту з їхніми характеристиками (такими як інтервали руху, швидкість, вартість тощо) на перший план виходить концепція мультимодальної мобільності. Вона передбачає створення єдиного інтегрованого сервісу, що дозволяє планувати та здійснювати поїздки в режимі «онлайн», враховуючи всі доступні варіанти, включаючи каршеринг, карпулінг, прокат велосипедів тощо [29, 30].

Цей підхід обумовлений високим рівнем поточного попиту на переміщення та прогнозованим триразовим його збільшенням до 2050 року [31]. Водночас забезпечення транспортної доступності має враховувати потреби всіх категорій населення [32].

Класичний підхід до управління дорожнім рухом, який передбачає, що «... інформація про реальні наміри водіїв недоступна, використання сучасних електронних засобів у транспортних засобах не розглядається, а всі керуючі пристрої розташовані виключно на дорожній мережі» [33], на якому базується більшість існуючих систем, очевидно, є застарілим.

Крім того, класичне управління дорожнім рухом фокусується на наслідках соціально-економічної взаємодії, які проявляються у вигляді транспортних потоків між різними точками. При цьому поведінка кожного автомобіля на дорозі визначається індивідуальними характеристиками водія, що додає значну

стохастичність як у процес формування транспортного потоку, так і в його внутрішню динаміку (обгони, перестроювання, дотримання дистанції тощо). Це суттєво ускладнює можливості ефективного управління в рамках традиційного підходу.

Міжнародне співтовариство дійшло до висновку, що «епоха необмеженого доступу до перевантажених міських доріг добігла кінця» [19]. Більшість сучасних стратегій розвитку транспортних систем міст включають впровадження механізмів справляння плати за користування інфраструктурою, розмір якої залежить від рівня завантаженості дорожньої мережі. Це обумовлено дією базових економічних законів, які регулюють баланс у соціально-економічних системах, але які досі рідко застосовуються до міських транспортних мереж [34].

Однак введення платного доступу до доріг, особливо у пікові години, викликає значну критику. Основна претензія полягає в тому, що такий підхід надає перевагу заможнішим верствам населення, які можуть дозволити собі користуватися інфраструктурою у зручний час [35]. Як і будь-яке рішення, що стосується широкого кола жителів міста, впровадження плати за користування транспортною інфраструктурою завжди матиме як прихильників, так і опонентів.

Незважаючи на це, фахівці здебільшого погоджуються, що без заходів управління попитом транспортна система великого міста не може бути стабільною і ефективною. У ситуаціях, де обмежені ресурси (наприклад, доступ до пляжів, виставок чи інших масових заходів) і попит значно перевищує пропозицію, умови для всіх споживачів погіршуються.

Як альтернативу фіскальним заходам управління попитом, таким як платний доступ, можуть бути застосовані адміністративні або фізичні обмеження. Такі заходи включають регулювання доступу до певних зон міста, обмеження кількості транспортних засобів у пікові години або створення інфраструктурних бар'єрів для стримування перевантажень. Ці методи

спрямовані на досягнення балансу між попитом та можливостями транспортної мережі без дискримінації за фінансовими можливостями.

Сучасне управління доступом (access management) визначається як комплексний процес організації доступу до земельних ділянок з метою збереження високої якості руху транспортних потоків. Це включає підтримання таких ключових параметрів, як пропускна здатність, безпека дорожнього руху та швидкість пересування транспортних засобів. Основою цього підходу є сувора ієрархія вулично-дорожньої мережі, яка запобігає хаотичному зростанню транспортних потоків на магістралях через безпосередній доступ до них від об'єктів, які генерують інтенсивний рух.

Для забезпечення ефективності управління доступом особлива увага приділяється оптимальному розташуванню перехресть і місцевих проїздів, що дозволяє мінімізувати затримки, знизити кількість конфліктних точок і підвищити рівень безпеки. Крім того, здійснюється регулювання взаємодії між громадськими вулицями, приватними під'їзними шляхами та швидкісними магістральними дорогами, що сприяє впорядкованості руху та попередженню перевантаження основних транспортних артерій.

Такий підхід спрямований на оптимізацію транспортного потоку на системному рівні, дозволяючи враховувати не лише інтереси індивідуальних учасників руху, а й загальну ефективність використання дорожньої інфраструктури. Однак впровадження управління доступом також накладає певні обмеження, пов'язані з фізичними та технічними характеристиками транспортних потоків, а також необхідністю дотримання встановлених правил і стандартів. Водночас це забезпечує гармонійне поєднання безпеки, ефективності та комфортності руху, що є важливим фактором для сталого розвитку міських транспортних систем.

Завдяки швидкому розвитку сучасних інформаційних і комунікаційних технологій, заходи з управління доступом отримують нові перспективи, дозволяючи впроваджувати регулювання доступу на рівні окремого користувача. Такий підхід забезпечує можливість індивідуального підходу до

управління транспортними потоками, що може суттєво підвищити ефективність використання дорожньої інфраструктури, мінімізувати затори та зменшити негативний вплив транспорту на довкілля.

Глобальні тенденції демонструють зростаюче прагнення до автоматизації процесів, які залежать від людського фактора, у більшості сфер діяльності. Не є винятком і автомобільний транспорт. Сучасні автомобілі оснащуються все більшою кількістю систем, що спрощують процес керування та знижують ризики, пов'язані з людськими помилками. Це включає як уже добре відомі системи активної безпеки, такі як антиблокувальна система гальм (ABS) та система курсової стійкості (ESP), так і новітні технології, які націлені на створення автомобілів, здатних пересуватися в автоматичному режимі без участі водія.

Розробки в галузі автономного транспорту активно розвиваються, пропонуючи рішення для повністю автоматизованого водіння, включаючи адаптивні круїз-контролі, системи розпізнавання дорожніх знаків, автоматичне екстрене гальмування та системи автопаркування. У майбутньому це може призвести до широкомасштабного впровадження безпілотних автомобілів, які зможуть значно змінити підходи до управління доступом і організації транспортних потоків.

Таким чином, поєднання управління доступом із сучасними технологіями автоматизації створює фундамент для інтегрованих транспортних систем нового покоління. Це дозволить забезпечити не лише більшу ефективність і безпеку руху, але й сприяти формуванню стійких міських транспортних екосистем.

На серійних автомобілях вже активно впроваджуються технології, які забезпечують автоматизацію керування, зокрема системи автоматичного гальмування при виявленні перешкод, автоматичної корекції траєкторії під час проходження поворотів, а також адаптивний круїз-контроль, що дозволяє підтримувати рух у колоні. Крім того, вже проводяться випробування повністю автономних автомобілів, здатних безпечно пересуватися міськими дорожніми мережами разом із загальним потоком транспорту.

У розвинених країнах також спостерігається тенденція до відмови від особистого володіння автомобілями на користь використання транспортних засобів у прокаті. Такий підхід допомагає вирішити проблему дефіциту паркувальних місць і дозволяє використовувати автомобіль тільки тоді, коли це дійсно необхідно.

Це знижує залежність від громадського транспорту і сприяє переходу до так званих систем персонального транспорту. Раніше більшість проєктів персонального транспорту вимагали створення спеціальної інфраструктури, такої як направляючі рейки, що становило значний недолік через високі капіталовкладення. Однак із впровадженням автоматизації керування автомобілем ця потреба зникає, і для таких систем можна використовувати існуючу дорожню мережу.

Якщо управління транспортним засобом автоматизується, то логічно, що вибір маршруту руху також повинен бути автоматизованим. Це завдання має виконуватися централізованою системою управління для оптимізації роботи мережі, зокрема з метою мінімізації загальних затримок у транспортних потоках.

Ідеальною транспортною системою майбутнього можна вважати повністю автоматизовану систему, яка забезпечує перевезення людей у спеціальних транспортних засобах різної місткості без потреби у створенні окремої інфраструктури. Однак, такий підхід має низку недоліків, які варто врахувати:

- повна автоматизація перевезень висуває дуже високі вимоги до надійності системи, оскільки будь-які збої чи кібератаки можуть мати катастрофічні наслідки.

- використання загального персонального транспорту в межах міста не усуває потреби у володінні особистим автомобілем для поїздок за межі міської зони.

- така система позбавляє людей задоволення від керування автомобілем, а також можливості самовираження через вибір і використання власного транспортного засобу.

Для створення системи управління дорожнім рухом, яка позбавлена виявлених недоліків, необхідно впровадити механізми призначення водіям часу початку руху ще до виїзду на ВДМ, а також визначати оптимальний маршрут для раціонального використання ресурсів дорожньої мережі. Такий підхід дозволяє уникати утворення заторів і забезпечує ефективний розподіл потоків.

Ці заходи можна розглядати як цілеспрямоване управління, спрямоване на мінімізацію затримок шляхом підтримки транспортного потоку у сприятливому стані. Такий підхід є управлінням формуванням транспортних потоків. У разі реалізації у вигляді інтегрованої системи управління це рішення дозволить замінити реальні затори на ВДМ віртуальними чергами, час очікування в яких буде значно меншим, ніж втрати через затори.

Крім того, цей підхід усуває соціальну напруженість, яка часто виникає при використанні систем, що базуються на стягненні додаткових платежів у пікові періоди.

Майбутня транспортна система передбачає повну автоматизацію перевезень, де спеціалізовані транспортні засоби різної місткості забезпечують переміщення людей без необхідності створення окремої інфраструктури. Такий підхід має на меті знизити затори, покращити екологічність і зробити транспорт доступнішим. Однак, ця концепція стикається з низкою важливих проблем, які обмежують її реалізацію:

У повністю автоматизованій системі будь-який технічний збій або хакерська атака може призвести до масштабних аварій чи повного паралічу транспортної мережі. Надійність технологій стає критично важливою, але забезпечити її на 100% на сьогодні є викликом.

Така система не усуває потреби у володінні особистим транспортом для подорожей за межі міста. Це зберігає проблему паркування та приватної автомобілізації, навіть якщо вона зменшиться у межах урбанізованих зон.

Автоматизація позбавляє водіїв задоволення від керування автомобілем, яке для багатьох є не лише практичною необхідністю, а й способом самовираження, символом свободи та частиною стилю життя.

Введення подібних систем може викликати значний супротив у суспільстві через побоювання втрати контролю, залежності від технологій та можливого безробіття серед водіїв.

Замість повної автоматизації можна впровадити системи активного управління транспортними потоками, які надають контрольовані рекомендації та команди учасникам дорожнього руху.

Основні елементи такого підходу:

- регулювання часу виїзду: водіям надається конкретний час початку руху, що дозволяє уникнути пікових навантажень на мережу.
- оптимізація маршрутів: визначення найбільш ефективних маршрутів руху допомагає зменшити навантаження на окремі ділянки та покращити використання всієї мережі.
- розподіл транспортних потоків: забезпечення рівномірного руху дозволяє уникати локальних перевантажень і утворення заторів.

Одним із ключових елементів цього підходу є використання віртуальних черг замість фізичних заторів. Водії очікують у визначених зонах або дотримуються рекомендованого часу виїзду, що мінімізує перевантаження дороги.

Переваги віртуальних черг:

1. зменшення затримок: час очікування віртуальних чергах значно коротший, ніж час у звичайних заторах.
2. підвищення продуктивності мережі: рівномірний розподіл потоку збільшує пропускну здатність і стабільність руху.
3. соціальна прийнятність: виключається необхідність застосування обмежувальних заходів, таких як платний проїзд у пікові періоди, що часто викликає негативну реакцію у суспільстві.

Створення єдиної інтегрованої системи управління дозволить об'єднати ці елементи та забезпечити ефективне функціонування транспортної мережі. Така система:

- контролює потоки у реальному часі, забезпечуючи стабільність руху навіть у пікові періоди.
- знижує навантаження на окремі ділянки, продовжуючи термін їх експлуатації.
- водії проводять менше часу в заторах, знижується витрата пального та екологічний вплив.
- відсутність фінансових санкцій за користування мережею у певний час підвищує рівень соціального прийняття.

Додатково можна інтегрувати в систему інструменти інтелектуального управління, такі як:

- змінюють тривалість фаз залежно від поточного стану потоків.
- виводять рекомендації щодо маршрутів і часу виїзду.
- використовують дані з камер і сенсорів для аналізу та корекції роботи системи в режимі реального часу.

Така система управління транспортними потоками є ефективною альтернативою повній автоматизації, усуваючи її недоліки та забезпечуючи збалансоване використання транспортної інфраструктури. Вона дозволяє зберегти автономність водіїв, зменшити соціальну напругу та забезпечити стабільність дорожнього руху, створюючи основу для сталого розвитку міських транспортних систем.

1.5 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу магістра

На основі проведеного аналізу розвитку автомобільного транспорту, проблем організації руху, методів боротьби з заторами та аналізу транспортного потоку як об'єкта управління, сформульовано ключові завдання для виконання кваліфікаційної роботи магістра:

1. Провести системний аналіз транспортної системи, оцінюючи вплив розподілу потоків за часом поїздки на ефективність функціонування вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

2. Розробити математичну модель, яка дозволить оцінити ефективність управління формуванням транспортного потоку та підвищення продуктивності ВДМ.

3. Створити структурну схему системи управління транспортними потоками.

4. Розробити модель для системи управління, що враховує оцінку цільової функції, яка визначає ефективність роботи.

5. Побудувати блок-схему алгоритму функціонування системи управління транспортними потоками.

6. Реалізувати основний алгоритм системи управління транспортними потоками у програмному середовищі AIMSUN.

Ці завдання спрямовані на розробку ефективних інструментів для управління транспортними потоками, підвищення ефективності функціонування ВДМ та мінімізацію наслідків заторів.

2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1. Аналіз транспортної системи з точки зору системного підходу.

Міські системи наземного транспорту належать до категорії складних систем, оскільки вони включають людей, які керують транспортними засобами та безпосередньо впливають на формування транспортних потоків. У таких умовах системний аналіз стає найдоцільнішим підходом до їх дослідження.

Ключовою задачею системного аналізу є прийняття рішень. У контексті вивчення, проектування та управління складними системами це завдання зводиться до вибору найкращої альтернативи в умовах невизначеності. Джерелами такої невизначеності можуть бути:

- багатокритеріальний характер оптимізаційних задач;
- нечіткість цілей розвитку системи;
- неоднозначність прогнозів щодо її розвитку;
- недостатність початкової інформації;
- випадкові фактори, що впливають на систему в процесі її динамічного функціонування.

З огляду на це, системний аналіз можна визначити як дисципліну, що вирішує проблеми прийняття рішень у ситуаціях, де аналіз складної багатогранної інформації різної природи є необхідним [46].

Управління дорожнім рухом зазвичай базується на поданні транспортної системи як сукупності взаємопов'язаних компонентів:

1. Транспортна мережа:
 - відображається у вигляді графа, де кожне ребро характеризується такими параметрами, як пропускна здатність, середня швидкість тощо.
2. Схема організації руху:
 - включає правила, обмеження та регламентації, які визначають порядок руху.
3. Керуючі елементи:

- пристрої з динамічними параметрами, наприклад, світлофори або знаки, що змінюють свої показники залежно від умов.

4. Транспортне навантаження:

- Виражається через інтенсивність потоків або матрицю кореспонденцій, яка визначає переміщення транспортних потоків між різними зонами.

Таким чином, системний аналіз у поєднанні з традиційними підходами дозволяє ефективно вирішувати завдання управління дорожнім рухом, враховуючи складність і багатофакторність міських транспортних систем.

У цьому випадку завдання управління полягає у визначенні таких параметрів керуючих елементів, за яких критерій ефективності роботи системи, зазвичай рівень затримок, досягає мінімального значення. Коли можливості оптимізації параметрів роботи керуючих елементів і організації руху вичерпано, залишаються два основні варіанти вирішення проблеми:

1. Збільшення щільності, зв'язності транспортної мережі та пропускної здатності її елементів.

2. Зниження навантаження на існуючу транспортну інфраструктуру.

Другий підхід отримав у зарубіжній літературі назву «управління попитом» (demand management). У рамках традиційного підходу цей напрямок уже виходить за межі управління транспортними потоками, оскільки належить до вищої системи, яка регулює загальний обсяг попиту на пересування мережею.

З точки зору системного аналізу управління транспортними потоками можна розглядати у більш широкому контексті. У цьому підході навантаження на транспортну мережу розглядається не лише як кількість автомобілів, що переміщуються між точками, а як поїздки окремих індивідуумів із певними цілями та характеристиками. Такий підхід дозволяє включити до системи управління додаткові параметри, зокрема вибір виду транспорту та часу здійснення поїздки.

Індивідуальний учасник транспортного процесу має наступні варіанти вибору (ступені свободи):

- прийняття рішення про здійснення поїздки чи відмову від неї;

- вибір пункту призначення (особливо для культурно-побутових або рекреаційних поїздки);
- вибір виду транспорту або їх комбінацій;
- визначення часу початку поїздки;
- вибір маршруту руху (для поїздки на особистому автомобілі).

Такий підхід дозволяє більш гнучко керувати транспортними потоками, враховуючи поведінку індивідуальних користувачів і впливаючи на їхні рішення для оптимізації роботи транспортної системи.

Різноманітність доступних альтернатив створює значний рівень невизначеності у процесі формування транспортних потоків і значно ускладнює прийняття рішень щодо застосування конкретних керуючих впливів. У межах традиційного підходу з усіх можливих аспектів управління безпосередньо піддається регулюванню лише вибір маршруту для поїздки на особистому автомобілі. Проте навіть у цьому випадку управління є частковим і реалізується через інформування про дорожню ситуацію та надання рекомендацій щодо маршрутів.

Система також чинить непрямий вплив на інші аспекти вибору через механізми зворотного зв'язку. У таких випадках індивідууми адаптують свої рішення відповідно до поточної ситуації в транспортній системі (рисунок 2.1).

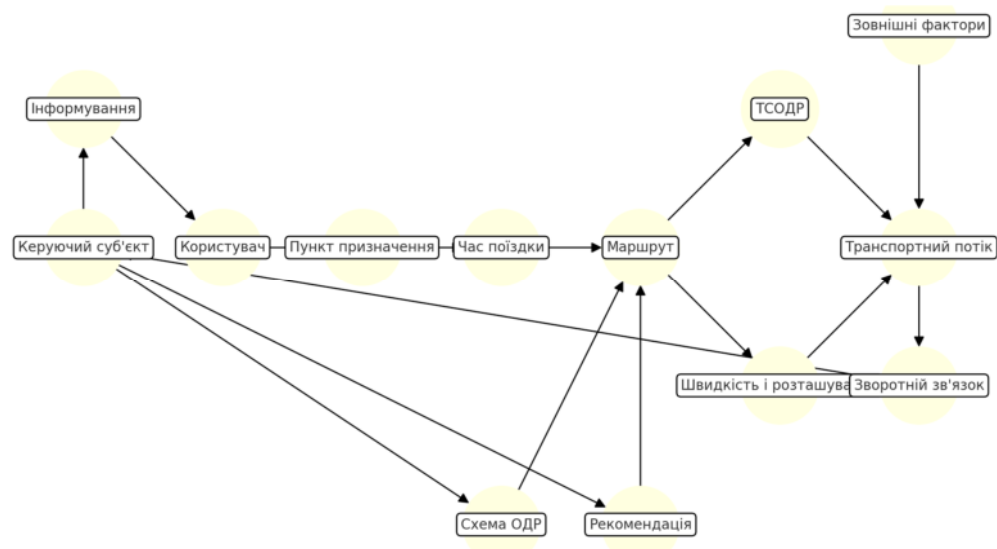


Рисунок 2.1. Модель взаємодії між керуючим суб'єктом та користувачем у процесі формування транспортного потоку в межах традиційної системи управління.

Існують економічні інструменти впливу на вибір індивідуумів, які сприяють досягненню оптимального розподілу рішень серед можливих альтернатив. Ці заходи спрямовані на вирівнювання загальної вартості поїздки, наприклад, між використанням особистого та громадського транспорту або залежно від часу доби.

Такі інструменти включають впровадження податків, зборів і мит, зокрема:

- податок на транспортні засоби;
- акцизи на паливо;
- оплату паркування;
- плату за в'їзд на окремі дороги чи території.

Окрім цього, можуть застосовуватися дотації для здешевлення проїзду громадським транспортом. Усі ці заходи належать до категорії управління попитом.

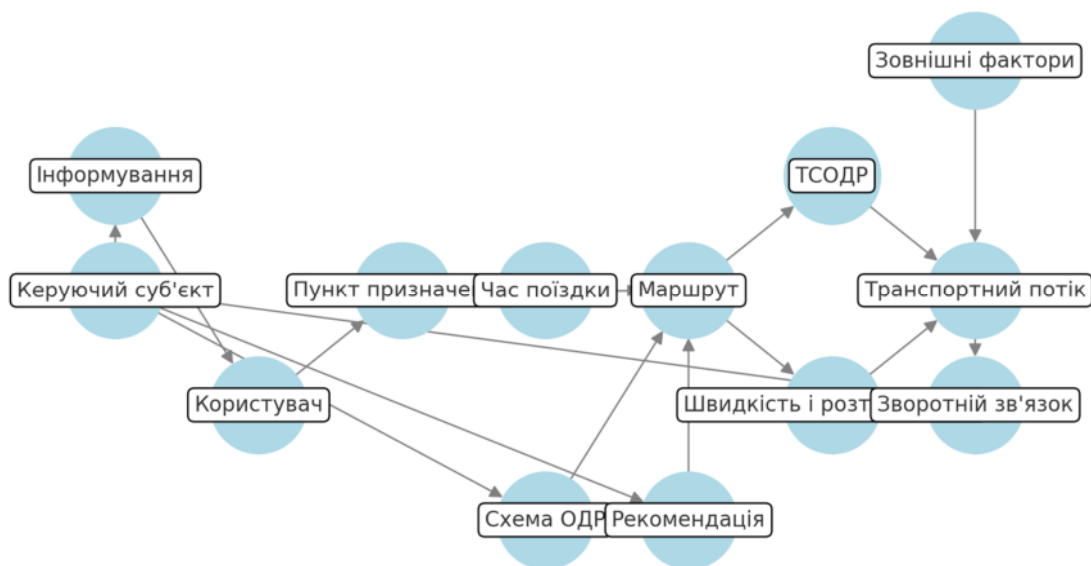


Рисунок 2.2. Схема взаємозв'язків між керуючим об'єктом та користувачем при формуванні транспортного

З позиції системного аналізу основна ідея цієї роботи полягає в розширенні підходу до управління транспортними потоками (рисунок 2.2) шляхом врахування взаємозв'язків із зовнішніми системами та інтеграції елементів управління попитом у контур управління. Особлива увага приділяється

регулюванню розподілу поїздок у часі, а також впровадженню жорсткого контролю за розподілом транспортних потоків по маршрутах. Такий підхід дозволяє знизити рівень невизначеності та підвищити ефективність управлінських рішень.

2.2. Методи оцінки впливу розподілу транспортних потоків за часом поїздки на ефективність роботи дорожньо-транспортної мережі (ВДМ)

Приклад з [37] демонструє різницю в часі проїзду автомобілів через звужену ділянку при неконтрольованому доступі та при організованому доступі, що дозволяє провести аналогію між двома типами розподілу потоків по маршрутам і розподілом потоків у часі. Так само, як за відсутності контролю над розподілом потоків виникає так звана повний безлад, аналогічний ефект спостерігається і при розподілі потоків у часі.

Це явище описав Вільям Вікрам, який став засновником ідеї оптимального розподілу потоків шляхом введення плати за проїзд певними ділянками [63]. Він розглядав приклад звуження (bottleneck), через яке проходить певна кількість автомобілів, які намагаються прибути до пункту призначення в один і той самий час t . Пропускна здатність ділянки не дозволяє всім автомобілям проїхати одночасно, що призводить до виникнення затору. Як і в реальних умовах, деякі водії виїжджають раніше, щоб встигнути прибути до потрібного часу, інші виїжджають пізніше і запізнюються, а лише невелика частина водіїв прибуває точно вчасно, відчуваючи при цьому максимальні затримки через затор.

Таким чином, у системі встановлюється рівновага, коли витрати на поїздку, включаючи витрати на раннє прибуття або запізнення, однакові для всіх водіїв, і ніхто не може їх зменшити, змінивши час виїзду. При цьому витрати на раннє прибуття є нижчими, ніж витрати на запізнення (рисунк 2.3), де c – вартість відхилення від точного часу прибуття t^* і P – питомі витрати на раннє прибуття та запізнення відповідно.

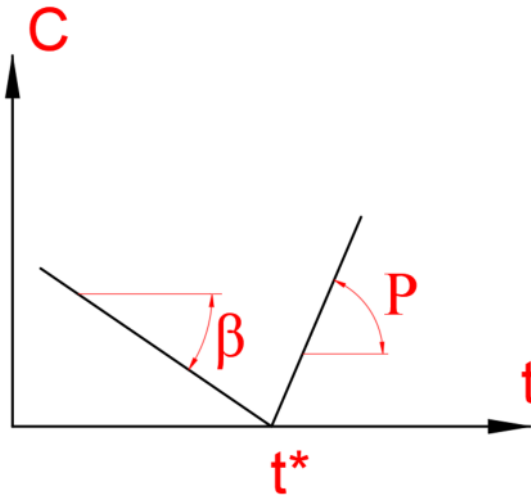


Рисунок 2.3. Графік залежності часу точного прибуття

У подібній ситуації, згідно з першим принципом Уордропа, водії приймають рішення самостійно, прагнучи мінімізувати тривалість своєї подорожі. Проте існує інший можливий сценарій розподілу, коли водії діють узгоджено для досягнення мінімального загального часу поїздки. Для цього необхідно уникати утворення заторів. У такому випадку деякі водії можуть погодитися приїхати дуже рано, інші — пізно, а частина — точно вчасно, причому остання група буде численнішою, ніж у разі відсутності домовленостей.

Однак у реальному житті подібна «домовленість» між водіями є малоймовірною. У зв'язку з цим, як пропонував У. Вікрі, виникає ідея впровадження механізму балансування загальних витрат на поїздки за допомогою додаткових платежів. Наприклад, чим ближче час прибуття до бажаного, тим вищою може бути плата, що стимулює рівномірний розподіл транспортних потоків у часі.

У цьому підході досягається подвійна вигода: дорожня інфраструктура використовується максимально ефективно, а держава отримує додаткові доходи [64]. Ідея запровадження зборів для досягнення оптимального розподілу транспортних потоків активно досліджувалася з моменту її появи і продовжує розвиватися. Особливий інтерес до цієї концепції з'явився в останні роки завдяки вдосконаленню систем електронної оплати [65], а також врахуванню додаткових чинників.

Наприклад, деякі дослідники аналізують оптимальні розміри зборів з урахуванням просторової структури транспортної мережі [66] або з урахуванням руху громадського транспорту [67]. Сьогодні цей напрямок є одним із провідних у розвитку систем управління дорожнім рухом.

Таким чином, контроль над розподілом транспортних потоків за маршрутами і часом початку поїздок може суттєво підвищити ефективність використання існуючої дорожньої інфраструктури.

За аналогією з «коефіцієнтом Браесса», корисним було б дослідити умови, за яких виникає різниця між часом поїздки за неконтрольованого та контрольованого доступу, а також її залежність від рівня навантаження. Для зручності назовемо цю різницю «коефіцієнтом Вікрам».

Очевидно, що це явище проявляється за високої щільності транспортних потоків, коли функція VDF починає різко зростати. Характеристики цього ефекту визначатимуться формою математичного опису функції VDF. Однак, усі розглянуті функції VDF базуються на рівні завантаження, який визначається як відношення поточного навантаження до пропускної здатності, яка вважається незмінною. Результатом застосування VDF є або час поїздки через ділянку мережі для одного автомобіля, або його середня швидкість.

Проте функції VDF не дозволяють оцінити фактичну кількість автомобілів, які пройшли через ділянку, і не описують явища зниження пропускної здатності, яке виникає під час переходу потоку з вільного в заторовий стан. Це є ключовим фактором для оцінки ефективності стримування транспортних потоків.

Таким чином, аналіз ефективності стримування потоків і визначення величини «коефіцієнта Вікрам» на основі існуючих функцій VDF матиме обмежений характер і буде прямо залежати від поведінки конкретної функції при рівні навантаження, що перевищує 1. Крім того, функції VDF лише частково враховують затримки на регульованих перехрестях і зовсім не беруть до уваги вплив завантаженості сусідніх ділянок.

Спочатку функції VDF використовувалися для приблизної оцінки часу подорожі за певним маршрутом, що було достатнім для завдань транспортного

планування. Однак для більш точного опису процесу руху транспортних засобів на окремих ділянках дороги або в межах великих дорожніх мереж слід звертатися до теорії транспортних потоків.

Класична теорія транспортних потоків, яка бере свій початок з дослідження Гріншилдса у 1935 році, також не забезпечує повного пояснення явища зниження пропускної здатності під час переходу транспортного потоку від вільного до заторового стану. Численні дослідники, аналізуючи емпіричні дані про рух потоків, намагалися адаптувати їх до концепцій класичної теорії, проте ця задача залишається складною і потребує подальших досліджень.

2.3 Математичний опис моделі для оцінки ефективності управління формуванням транспортного потоку

Розглянемо детальніше приклад, наведений У. Вікрі, де певна кількість автомобілів намагається прибути до пункту призначення у конкретний час. У такій ситуації система прагне досягти рівноважного стану, коли сума часу раннього прибуття або запізнення разом із часом у дорозі є однаковою для кожного водія.

Попри те, що в реальних умовах міського руху не всім водіям необхідно прибути одночасно в одне місце, і кожен має власну оцінку вартості раннього прибуття або запізнення, цей приклад відображає ситуацію, характерну для ранкової години пік. Саме в цей час значна частина автомобілів прямує від житлових районів до ділових центрів, що створює високе навантаження на транспортну мережу.

Припустимо, що обсяг транспортного навантаження залишається постійним з дня на день, і система також прагне досягти рівноваги. На рисунку 2.4 показано зміну різних параметрів у процесі навантаження умовної ділянки дорожньої мережі, що імітує ранкову годину пік. Графік "а" відображає зміну попиту на поїздки на цій ділянці. Значення навантаження x_t , яке дорівнює x ,

відповідає рівню завантаження, який дорівнює 1, тобто навантаження відповідає пропускній здатності ділянки.

У наведеній термінології рівень навантаження відповідає рівню попиту, тобто кількості транспортних засобів, які хочуть проїхати через ділянку, а рівень завантаження – відношенню інтенсивності руху до пропускної здатності. Моменти часу (t_1) і (t_2) відображають початок і закінчення перевищення попиту над пропускною здатністю відповідно.

Графік "б" показує рівень рівноважної вартості поїздки (C_p) і зміни у співвідношенні витрат на рух через ділянку та витрат, пов'язаних з раннім прибуттям або запізненням. З цього графіка видно, як змінюється структура витрат залежно від часу виїзду: спочатку водій вільно пересувається та прибуває значно раніше потрібного часу, потім зі збільшенням навантаження зростає і час руху. У момент часу (t_{T04}) водій, який виїхав, прибуває точно вчасно, але зазнає максимальних затримок.

Потім, із зниженням потоку, зменшується частка затримок під час руху, але зростає вартість часу запізнення. В якийсь момент водій, який виїхав останнім, знову проїжджає без затримок, значно запізнившись до бажаного часу, при цьому вартість запізнення дорівнює затримкам, які він би відчув, виїхавши в момент (t_{T04}).

Значення вартості C_{sv} відображає час проїзду ділянки в умовах вільного руху. Графік "в" показує залежність часу прибуття від часу відправлення: при низькому завантаженні цей графік має лінійну форму. Графік "г" відображає зміну ефективності роботи ділянки з урахуванням зниження пропускної здатності під час затору. Затор виникає в момент часу t_1 , коли навантаження на ділянку перевищує її пропускну здатність. Після того, як навантаження повертається до рівня пропускної здатності в момент t_2 , ефективність ділянки залишається зниженою до моменту t_3 , коли накопичені черги повністю роз'їжджаються.

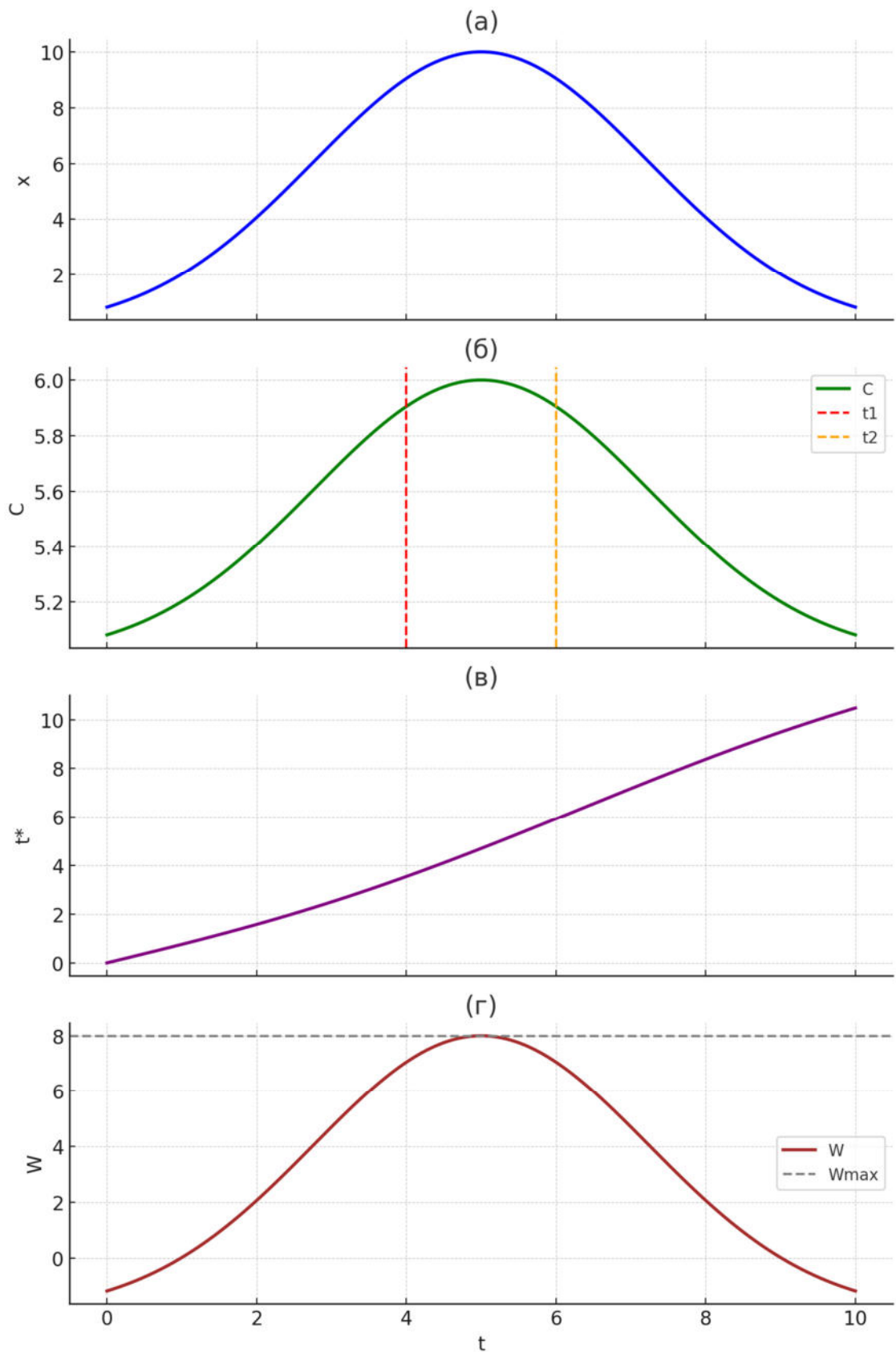


Рисунок 2.4. Зміна параметрів під час завантаження ділянки дорожньо-транспортної мережі за відсутності контролю над формуванням транспортних потоків

Розглянемо тепер той самий приклад, але з директивним управлінням потоком. Завдання формування потоку полягає в тому, щоб запобігти утворенню затору та уникнути зниження пропускної здатності і ефективності роботи мережі. На рисунку 2.5 наведено ті ж графіки, але з урахуванням підтримки потоку на рівні пропускної здатності. Шаблон зміни навантаження (графік "а") залишився незмінним.

На графіку "б" у структурі витрат на поїздку з'являється додаткова вартість часу, витраченого на примусове очікування. Цей час показує, наскільки автомобілі, які бажають виїхати на ділянку після моменту часу t_j , повинні бути затримані. Час затримки для кожного наступного автомобіля збільшується до моменту t_2 . На графіку "б" ці моменти не зменшуються, оскільки графік також відображає частку витрат, пов'язаних із затримкою.

Завдяки підтримці потоку на рівні максимальної ефективності, витрати на рух через ділянку залишаються постійними. Оскільки транспортний потік підтримується в такому стані протягом усього розглянутого періоду, загальні витрати на переміщення значно зменшуються. На графіку цю різницю відображають значення $C_{до}$ і $C_{т\text{ після}}$.

Це підтверджує графік, на якому крива залежності часу прибуття від часу відправлення зміщується вправо в зоні максимального навантаження. Це означає, що час (t_{T04}) наближається до бажаного часу прибуття, тобто скорочується рівноважний час руху ділянкою. Графік (г) відповідно показує, що потік підтримується на рівні максимальної ефективності, а час t відповідає моменту, коли віртуальна черга затриманих автомобілів зникає. Очевидно, що в реальному житті вибір часу виїзду мотивується не лише мінімізацією витрат часу. Ті, хто виїжджають і прибувають раніше, можуть використати цей час для інших корисних справ, замість того, щоб просто чекати. Водночас ті, хто вирішує виїхати пізніше, щоб уникнути заторів, можуть бути мотивовані бажанням поспати довше, зайнятися ранковими вправами, вигуляти собаку тощо. А ті, для кого запізнення є критичним, і хто не може або не хоче починати роботу раніше,

змушені намагатися прибути точно в потрібний час і, таким чином, найбільше страждають від заторів та зниження пропускної здатності.

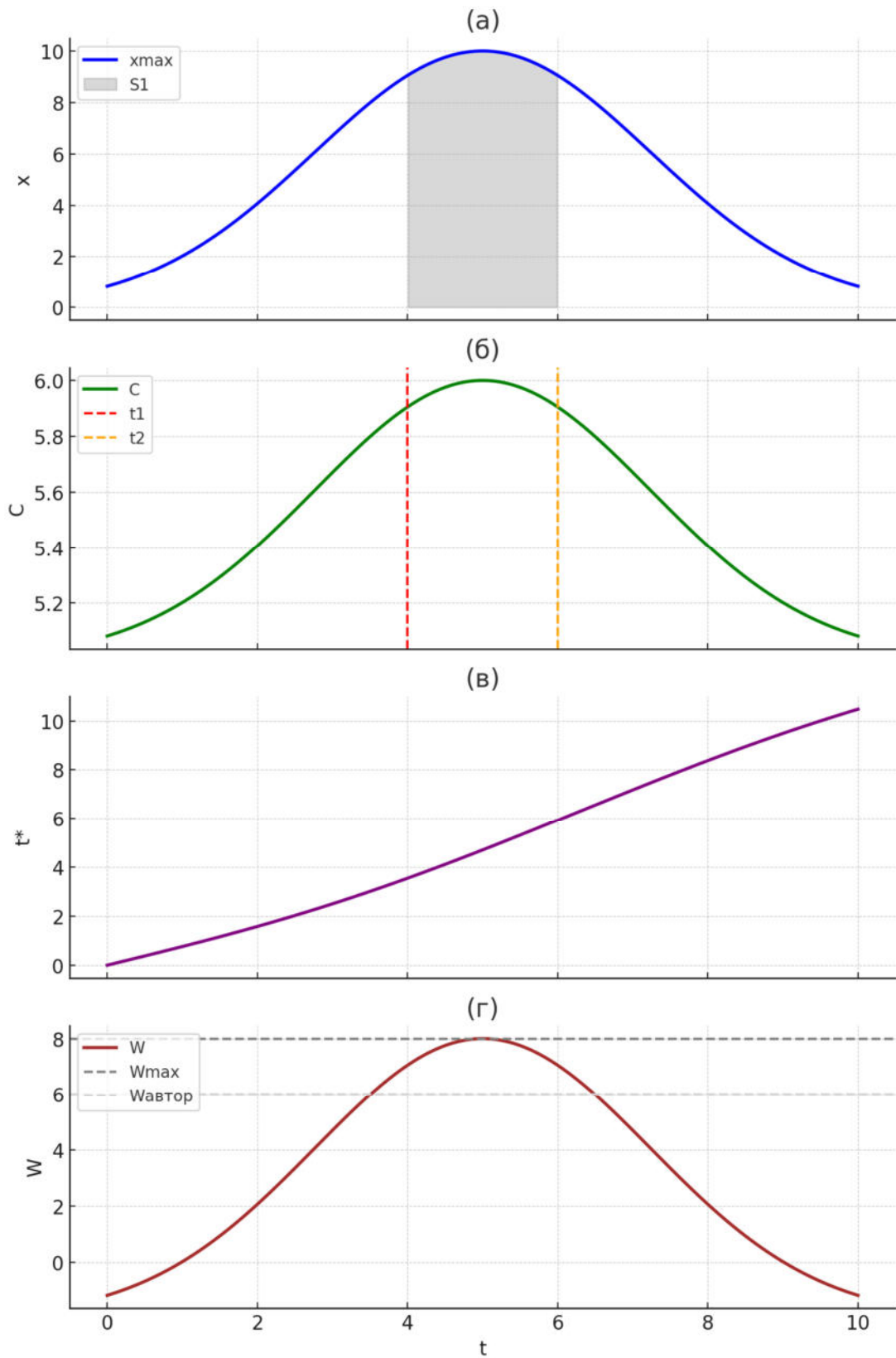


Рисунок 2.5. Коригування параметрів під час завантаження ділянки ВДМ за умови контролю формування транспортних потоків.

2.4. Методи підвищення продуктивності вулично-дорожньої мережі

Останні дослідження у сфері управління транспортними потоками на великих дорожніх мережах (ВДМ) закономірно спрямовані на розробку методів оптимізації пропускної здатності мережі. Зокрема, в роботах [83, 84, 85] пропонується розділяти великі дорожні мережі на однорідні ділянки, для кожної з яких визначається власна форма фундаментальної діаграми. Управління потоками здійснюється таким чином, щоб уникнути перевищення пропускної здатності на цих ділянках. Подібний підхід розглядається у вітчизняному дослідженні [86], де мережу поділяють на райони або кластери, а система управління спрямована на запобігання утворенню заторів. У роботі [87] обговорюється розподіл пропускної здатності між різними видами транспорту, що дозволяє максимально ефективно обслуговувати всі транспортні кореспонденції (пасажирські потоки) через різноманітні заходи.

Багато досліджень прямо чи опосередковано вказують на те, що підтримання транспортного навантаження на рівні максимальної пропускної здатності ВДМ традиційними методами управління є вкрай складним завданням. Одним із найефективніших традиційних підходів є системи інформування водіїв про дорожню ситуацію. Наприклад, у роботі [88] пропонується впровадження рекомендацій щодо вибору маршруту та часу виїзду, що, за словами авторів, може сприяти координації транспортних потоків і пом'якшити проблему заторів.

Безумовно, поінформованість учасників дорожнього руху сприяє більш рівномірному розподілу потоків по мережі, забезпечуючи певні переваги. Однак такі заходи неспроможні повністю запобігти утворенню заторів, оскільки учасники руху зазвичай не зацікавлені у спільних діях для досягнення системного оптимуму. Спонукає їх до кооперації можливо лише через впровадження динамічного тарифного регулювання, як це пропонував У. Вікрі. Проте, фінансові заходи є надзвичайно непопулярними, тоді як втрати від перевантаження мережі, які призводять до зниження її пропускної здатності, настільки значні, що їх не можна ігнорувати.

Таким чином, виникає необхідність розглянути можливість директивного управління часом початку поїздок у масштабах всієї дорожньої мережі, що може стати ключовим фактором у підвищенні її ефективності..

3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1. Створення структурної схеми системи управління транспортними потоками

Системи управління дорожнім рухом у великих міських агломераціях та приміських зонах повинні забезпечувати не лише гнучке реагування на локальні зміни, а й підтримувати високу ефективність функціонування всієї транспортної мережі. Традиційні підходи до управління, які реагують на вже сформовані транспортні потоки, стикаються з труднощами в досягненні оптимального балансу між цими завданнями. Це пов'язано з тим, що досягнення загального оптимуму для великої мережі вимагає значних обчислювальних ресурсів, які зростають експоненціально зі збільшенням розміру мережі.

Більше того, оптимізація роботи окремих елементів мережі, таких як перехрестя або магістралі, не гарантує досягнення загальної оптимальної продуктивності всієї системи. Для вирішення цієї проблеми у світовій практиці використовується ієрархічний підхід до побудови систем управління, що передбачає поділ мережі на кілька рівнів за територіальним охопленням і деталізацією.

Більшість сучасних систем управління дорожнім рухом базуються на використанні моделей транспортних потоків для пошуку оптимальних рішень. Одним із передових рішень є системи динамічного перерозподілу транспортних потоків (DTA, Dynamic Traffic Assignment), наприклад, PTV OPTIMA. Вони дозволяють адаптивно реагувати на зміни в транспортних потоках і розподіляти потоки для уникнення перевантаження. Однак навіть такі системи мають обмеження в прогнозуванні ситуації на великих мережах на періоди, що перевищують 10–15 хвилин, через складність і динамічність процесів у транспортній мережі.

Для подолання цих обмежень ефективним рішенням є метод управління на прогнозуючих моделях (Model Predictive Control, MPC). Цей підхід базується на

принципі «ковзного горизонту», за якого модель прогнозує поведінку системи на визначений період часу, приймає рішення на основі прогнозу, а потім коригує прогноз із урахуванням оновлених даних. Завдяки цьому забезпечується постійна адаптація системи до змін.

Метод MPC розвивався з 1960-х років і спочатку застосовувався в таких галузях, як нафтохімія та енергетика, для управління складними технологічними процесами. У дорожньо-транспортній сфері цей підхід отримав широке поширення у зарубіжній практиці, особливо для управління світлофорними об'єктами, де він демонструє високу ефективність. У вітчизняній практиці цей метод також застосовується, наприклад, у синтезі алгоритмів управління літальними апаратами.

Метод MPC вважається найекономічнішим з точки зору обчислювальних ресурсів і часто є єдиним можливим варіантом для управління складними багатовимірними нелінійними системами в реальному часі.

Запропонована система управління транспортними потоками, заснована на методі MPC, складається з наступних компонентів:

1. Модель транспортних потоків, яка забезпечує прогнозування і оцінку стану підконтрольної ВДМ.
2. Блок оцінки цільової функції, що аналізує ключові параметри ефективності мережі, такі як затримки, пропускна здатність і рівень завантаженості.
3. Блок вироблення керуючих впливів, що приймає рішення на основі прогнозів і визначає заходи для оптимізації руху.
4. Блок оцінки поточного стану, який збирає та обробляє актуальні дані для оновлення моделі та коригування рішень.

Переваги використання методу MPC

- система постійно оновлює прогнози та керуючі рішення, враховуючи зміни в транспортних потоках.
- підхід дозволяє враховувати різні сценарії розвитку ситуації та забезпечує локальну і глобальну оптимізацію.

- метод мінімізує затримки, оптимізує використання інфраструктури та підвищує пропускну здатність мережі.

Ця система може бути інтегрована з сучасними інтелектуальними транспортними системами, забезпечуючи високий рівень автоматизації управління та сприяючи розвитку «розумних» міст.

Взаємодія цих компонентів забезпечує динамічне управління транспортними потоками, адаптуючись до змін у реальному часі та зберігаючи стабільність і ефективність роботи мережі. Структурна схема цієї системи представлена на рисунку 3.1.

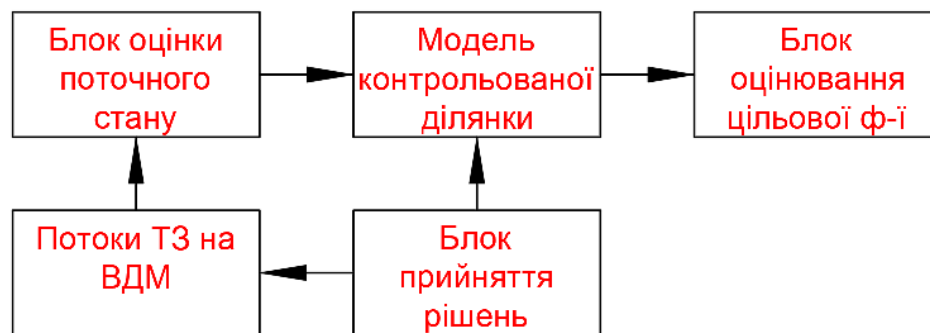


Рисунок 3.1. Схема структури системи управління організацією транспортних потоків.

Перелічені складові далі будуть розглянуті докладніше.

3.2. Модель застосування в системі управління.

Модель, яка відображає реальний об'єкт, завжди є компромісом між точністю відтворення його поведінки та рівнем деталізації. Найвищу деталізацію та точність забезпечують мікромоделі дорожнього руху, які відтворюють динаміку та індивідуальні особливості руху кожного автомобіля в мережі. Однак застосування таких моделей для управління транспортними потоками в умовах великої агломерації є надзвичайно ресурсомістким.

Простіший підхід пропонують клітинні моделі, у яких положення кожного автомобіля визначається конкретною «клітиною» на кожному етапі моделювання. Найменш складними та найменш ресурсозатратними є макромоделі, побудовані на основі фундаментальної діаграми транспортного потоку. Ці моделі працюють із середніми показниками, такими як швидкість, щільність і інтенсивність руху, та відомі як LWR-моделі (названі на честь Лайтхілла, Уїзема та Річардса). Макромоделі активно використовуються в традиційних системах управління дорожнім рухом, таких як OPAC, PRODYN, CRONOS, RHODES, MOTION тощо. У цих системах керуючі дії орієнтовані на групи транспортних засобів, а не на конкретні автомобілі.

У запропонованій системі управління впливи спрямовані на кожен окремий автомобіль, що вимагає підвищеної точності прогнозування для досягнення високої ефективності роботи. Найкращим варіантом для практичного впровадження є інтеграція мікромоделей у контур управління, наприклад, моделей на зразок Aimsun Online. Хоча такі моделі потребують значних обчислювальних ресурсів, сучасні суперкомп'ютери вже здатні виконувати обчислення в реальному часі. Враховуючи прогрес у розвитку обчислювальної техніки, можна передбачити, що обчислювальні ресурси перестануть бути обмеженням.

Отже, для створення системи управління транспортними потоками можна використовувати моделі різного ступеня складності, якщо доступні відповідні обчислювальні ресурси.

3.3 Визначення та оцінювання системи за допомогою цільової функції

У традиційних системах управління дорожнім рухом цільова функція може варіюватися залежно від поставлених завдань, проте зазвичай основним критерієм є сумарна затримка всіх транспортних засобів або загальний час їх перебування у мережі. Як зазначено в [75] із посиланням на різні джерела, сумарна затримка є найбільш доцільним показником для економічної оцінки

ефективності організації дорожнього руху (ОДР) у межах вулично-дорожньої мережі (ВДМ) або міського району.

У ситуаціях, коли мережа наближається до стану перевантаження, а головною метою управління стає мінімізація ймовірності виникнення заторів, більш ефективними показниками для керування є ті, що базуються на довжині черги. Вони дозволяють точніше оцінювати локальні проблеми та впроваджувати відповідні заходи для підтримання руху.

Основна мета запропонованої системи – запобігання утворенню заторів. Логічно припустити, що цільовою функцією системи має бути умова, за якої інтенсивність руху на кожній ділянці не перевищує її пропускної спроможності. Однак це рішення має два суттєві недоліки.

По-перше, потік, що наближається до межі пропускної здатності, є вкрай нестабільним, а ймовірність утворення заторів у таких умовах різко зростає. По-друге, у цьому режимі продуктивність вулично-дорожньої мережі (ВДМ) загалом не є максимальною. Тому для забезпечення стабільності та оптимальної продуктивності потік повинен підтримуватися на рівні, де інтенсивність становить трохи менше за пропускну спроможність.

Часто на практиці оптимальним вважається стан, коли інтенсивність руху становить 85–90% від пропускної здатності. Проте строгих наукових обґрунтувань саме цього діапазону у літературі немає. Очевидно, що таке граничне значення не може бути універсальним, оскільки пропускна здатність залежить від багатьох факторів, таких як тип дороги, геометричні параметри та умови руху.

У зв'язку з цим доцільно проводити експериментальну оцінку оптимального рівня завантаження на моделі. У якості показника пропонується використовувати не лише інтенсивність руху, а й різницю між вхідним та вихідним потоком, що фактично визначає допустиму кількість автомобілів на певній ділянці ВДМ. Це дозволяє оцінювати щільність потоку в абсолютних значеннях, забезпечуючи більш точний контроль та управління трафіком.

Цей підхід можна адаптувати для управління транспортними потоками в реальному часі, використовуючи сучасні інтелектуальні системи, що враховують динамічні зміни умов руху та дозволяють швидко реагувати на потенційні перевантаження мережі.

Проте показник транспортної роботи, запропонований у [97], не повністю відображає реальну продуктивність вулично-дорожньої мережі (ВДМ). Обчислення цього показника як добутку кількості транспортних засобів на годину, часу в дорозі та довжини маршруту дає величину в одиницях автомобіле-кілометрів. У такій формі цей показник широко застосовується для оцінки продуктивності рухомого складу у вантажних і пасажирських перевезеннях.

Однак у контексті роботи ВДМ при перевантаженні спостерігається зниження інтенсивності руху та збільшення часу в дорозі, причому час у дорозі зростає значно швидше, ніж знижується інтенсивність. Оскільки довжина маршрутів кореспонденцій залишається незмінною, на величину транспортної роботи впливають лише інтенсивність потоку та час, витрачений на проїзд. Це викривляє реальну оцінку ефективності роботи мережі, оскільки зростання часу в дорозі у перевантажених умовах не відображає фактичної продуктивності.

Для більш точного оцінювання продуктивності ВДМ пропонується враховувати динамічну зміну параметрів інтенсивності та часу проїзду, які є ключовими факторами, що визначають стан мережі. Зокрема:

1. Час у дорозі слід аналізувати в поєднанні з рівнем завантаження окремих ділянок.

2. Інтенсивність потоку має враховуватися з урахуванням максимальних можливостей мережі та умов руху.

Це дозволить створити більш збалансований показник, який враховує не лише фізичні параметри (довжину маршруту), але й реальні умови роботи ВДМ, зокрема її пропускну здатність та вплив заторів на ефективність транспортних операцій. Такий підхід забезпечить більш точне планування заходів щодо оптимізації дорожнього руху.

Як було показано в розділі 2, функціонування окремої ділянки дороги або всієї вулично-дорожньої мережі (ВДМ) загалом можна описати за допомогою фундаментальної діаграми. Для аналізу показника транспортної роботи розглянемо поведінку цього параметра на прикладі абстрактної ділянки дороги або ВДМ.

На рисунку 3.2 представлені: графік фундаментальної діаграми (рисунок а), графік VDF, що відображає витрати часу (рисунок б), графік транспортної роботи (рисунок в), отриманий шляхом множення значень інтенсивності потоку на час руху.

Після того, як інтенсивність перевищує пропускну спроможність, час руху різко зростає, тоді як фактична інтенсивність знижується, але менш стрімко. У результаті максимальне значення графіка транспортної роботи спостерігається в зоні заторового стану транспортних потоків.

Таким чином, показник транспортної роботи виявляється непридатним для використання як цільової функції в запропонованій системі, оскільки він не відображає ефективність роботи мережі в оптимальних умовах.

Максимальна ефективність роботи транспортної мережі досягається в умовах вільного стану транспортного потоку, що відповідає лівій частині діаграми залежності. Для оцінки продуктивності транспортної мережі важливим є не максимізація часу, витраченого на рух, а його мінімізація. Мінімальні витрати часу забезпечують максимальну середню швидкість руху, яка може слугувати основним критерієм ефективності роботи транспортної системи.

Пропонується включити швидкість руху до розрахунків показників ефективності замість традиційного використання витрат часу. Цей підхід дозволяє оцінювати ефективність мережі в одиницях «авто-кілометри на годину». У вітчизняній практиці такий підхід поки не є поширеним, однак у зарубіжних дослідженнях він почав використовуватися наприкінці 1990-х років.

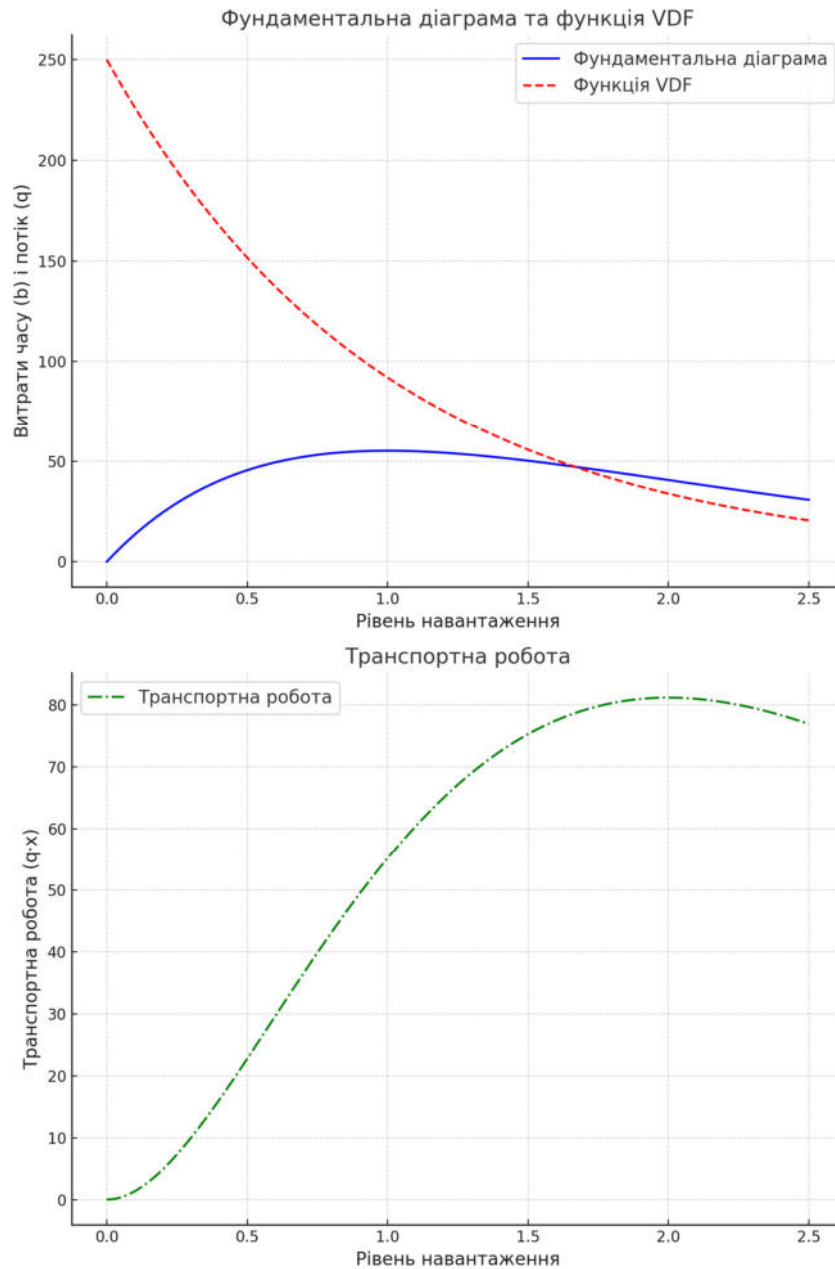


Рисунок 3.2. Залежність транспортної роботи від рівня навантаження на ВДМ

У закордонній практиці цей показник використовується в комплексі з іншими метриками, такими як коефіцієнт завантаженості доріг, рівень затримок та екологічна ефективність, що дозволяє забезпечити багатофакторну оцінку роботи транспортної системи. Його впровадження у вітчизняні методики оцінки може значно покращити аналіз продуктивності та допомогти в оптимізації управління транспортними потоками.

Розробка стандартів для інтеграції таких показників у національні методики дозволить впровадити сучасні підходи до оцінки ефективності транспортних мереж, сприяючи їхній адаптації до сучасних вимог та викликів.

Згодом даний показник почали використовувати для оцінки загальної ефективності вулично-дорожньої мережі (ВДМ) під час впровадження різних заходів [99]. Особливу увагу цей показник отримав у дослідженнях, пов'язаних із побудовою мережевої фундаментальної діаграми.

Варто зазначити, що підсумовування значень показника для кожного маршруту окремо в межах кожної кореспонденції не дозволяє точно оцінити максимальну ефективність роботи мережі. Це зумовлено тим, що на кожному маршруті можуть існувати «вузькі місця», які обмежують продуктивність, тоді як інші ділянки можуть залишатися недовантаженими і використовуватися іншими потоками. Для вирішення цієї проблеми пропонується підсумовувати показник окремо для кожної ділянки мережі, що дозволяє враховувати реальний стан завантаженості ВДМ.

Оскільки характер навантаження безпосередньо впливає на продуктивність мережі, оцінювання показника має проводитися для кожного шаблону навантаження на ВДМ. Аналіз зміни продуктивності залежно від зростання навантаження можливий за допомогою засобів моделювання. Поступове збільшення рівня навантаження відповідно до обраного шаблону дозволяє визначити точку максимального значення продуктивності розглянутої ВДМ.

Проте, при оцінці сумарного показника може виникнути ситуація, коли на окремій ділянці формується затор, але загальна сума продуктивності мережі зростає за рахунок збільшення потоків на інших, менш завантажених ділянках. У таких випадках пропонується додатково відслідковувати зміни показника для кожної окремої ділянки. Якщо для певної ділянки спостерігається зниження продуктивності, слід фіксувати її індивідуальний параметр максимально допустимої щільності потоку.

Значення щільності транспортних потоків, зафіксовані до моменту зниження продуктивності як окремої ділянки, так і загальної мережі, вважатимуться пороговими. Перевищення цих значень призводитиме до зниження ефективності роботи ВДМ, що робить їх важливими орієнтирами для оптимального управління транспортними потоками.

Результати таких оцінок можуть використовуватися для розробки довгострокових рішень, спрямованих на підвищення ефективності міських транспортних систем та мінімізацію негативного впливу перевантаженості мережі.

3.4 Блок-схема алгоритму роботи системи керування формуванням транспортних потоків

На основі запропонованої структурної схеми системи управління формуванням транспортних потоків було розроблено алгоритм її функціонування, представлений на рисунку 3.3. Вихідними даними для роботи системи є характеристики вулично-дорожньої мережі (ВДМ), зокрема допустимі значення щільності потоків на кожній ділянці, інтервал перерахунку прогнозу транспортної ситуації (T_p), а також час наступного розрахунку (T_c), який на початку встановлюється рівним 0.

Коли в мережі з'являється новий транспортний засіб (або надходить нова заявка на поїздку), для нього визначається час затримки t . Далі розраховується оптимальний маршрут руху з урахуванням поточної транспортної ситуації та будується тимчасова траєкторія руху транспортного засобу за цим маршрутом.

На основі сукупності тимчасових траєкторій для всіх транспортних засобів у мережі формується модель прогнозованого розвитку транспортної ситуації. Ця модель дозволяє оцінити кількість транспортних засобів, що будуть перебувати на кожній ділянці вулично-дорожньої мережі (ВДМ) у кожний момент часу.

Якщо під час накладення тимчасової траєкторії нового транспортного засобу (ТЗ) на дані моделі виявиться, що розрахункова щільність руху на певній

ділянці перевищує допустимий максимум, і виникає ризик затору, то для цього ТЗ застосовується затримка на один часовий крок (наприклад, 1 секунду). Після цього знову перевіряються показники щільності на відповідних ділянках.

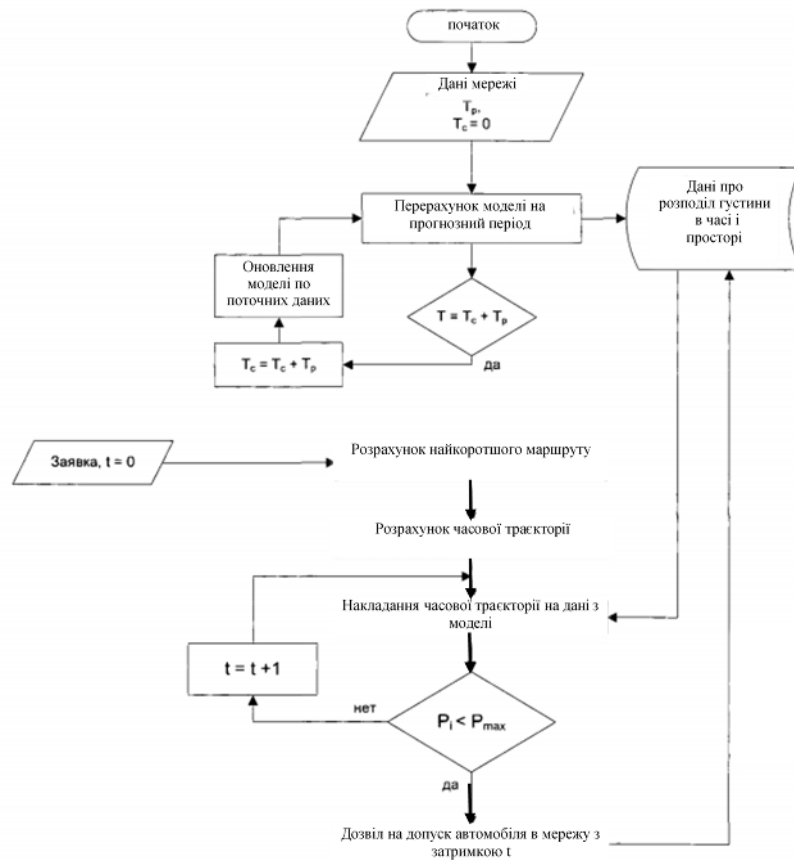


Рисунок 3.3. Алгоритм функціонування запропонованої системи управління транспортними потоками

Процес затримки повторюється, доки розрахункова щільність не знизиться до прийнятного рівня. Кількість таких кроків визначає загальний час затримки для цього ТЗ. Його скоригована траєкторія з урахуванням затримки додається до моделі, щоб враховувати цей вплив при обробці наступних транспортних засобів.

3.5 Впровадження основного алгоритму роботи системи управління транспортними потоками в AIMSUN

Для проведення експериментів у програмному середовищі AIMSUN була створена підпрограма мовою Python, яка реалізує необхідну логіку управління транспортними потоками. В ході експериментів управління здійснювалося виключно часом доступу транспортних засобів до мережі, тоді як маршрути руху визначалися за допомогою вбудованих інструментів програмного комплексу.

Відповідно до запропонованого підходу управління на основі прогнозних моделей, підпрограма створювала власну модель розвитку ситуації в мережі. Ця модель складалася з набору тимчасових траєкторій, які дозволяли оцінити кількість транспортних засобів на кожному перегоні вулично-дорожньої мережі (ВДМ) відповідно до середніх фактичних часів проїзду.

Робота підпрограми виглядала наступним чином: під час запуску імітації підпрограма формувала модель мережі, використовуючи дані про час руху в умовах вільного трафіку. Для ділянок головних доріг перед нерегульованими перехрестями цей час залежав виключно від їх довжини та дозволеної швидкості. Для ділянок другорядних доріг час руху коригувався додатковим коефіцієнтом. На ділянках перед регульованими перехрестями час проїзду враховував тривалість світлофорного циклу та фаз регулювання. Таким чином, на момент початку імітації створювалася базова модель, яка дозволяла оцінювати час руху за різними маршрутами.

Попит на поїздки задавався через матриці кореспонденції, а інтервали між появою транспортних засобів розраховувалися з урахуванням обраного закону розподілу, реалізованого вбудованими засобами програмного комплексу. Поява нового автомобіля трактувалася як заявка на поїздку, для якої визначалися необхідність та тривалість затримки.

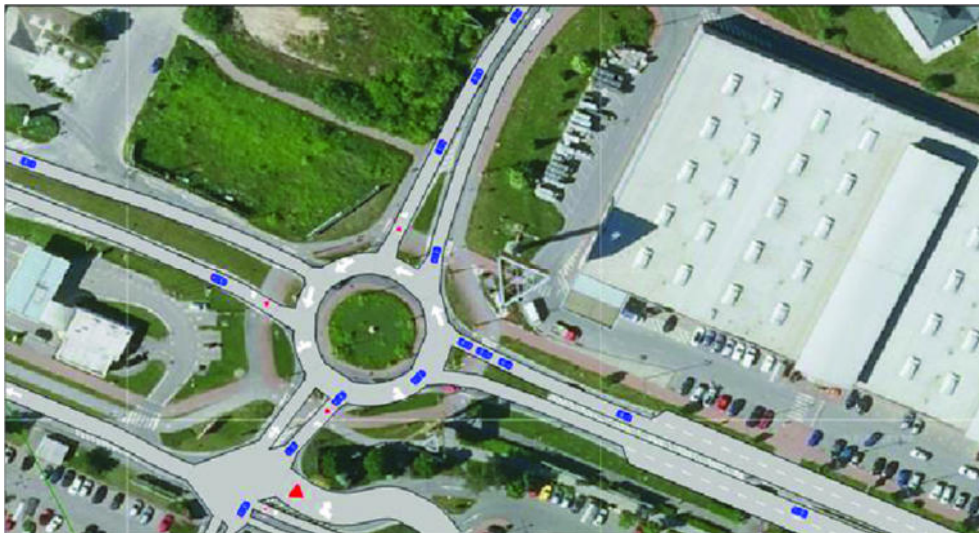
Кожен новий автомобіль мав заздалегідь визначені характеристики, включаючи пункт призначення і маршрут руху, розрахований внутрішніми інструментами AIMSUN. Для реалізації управління, що передбачає затримку

транспортних засобів до виїзду на ВДМ, у моделі було створено спеціальні буферні ділянки. На цих ділянках накопичувалися транспортні засоби, що підлягали затримці. Приклад такої буферної ділянки наведено на рисунку 3.4.

Буферні ділянки відіграють ключову роль у забезпеченні гнучкого управління транспортними потоками, дозволяючи регулювати надмірне навантаження на окремі ділянки ВДМ. Такі рішення забезпечують:

- шляхом утримання транспортних засобів до моменту, коли мережа здатна ефективно їх обробити.
- забезпечуючи рівномірний розподіл потоків на всіх ділянках.
- прогнозування часу проїзду дозволяє уникнути перевантаження мережі та скоротити втрати часу для всіх учасників руху.

Цей підхід може бути розширений для інтеграції з інтелектуальними транспортними системами, що включають в себе адаптивне регулювання світлофорів та оптимізацію маршрутів у реальному часі.



Малюнок 3.4. Кільцеве перехрестя із прилягаючими буферними зонами для зберігання ТЗ

Під час появи транспортного засобу в системі, підпрограма отримує дані про його пункт призначення та запланований маршрут. Далі виконується розрахунок тимчасової траєкторії, яка визначає, на яких ділянках мережі перебуватиме автомобіль у певний момент часу, спираючись на розрахункові

дані щодо тривалості проїзду. Ця інформація додається до моделі транспортної мережі, а автомобіль отримує дозвіл на рух.

На основі зчитаних даних про пункти призначення та маршрути руху всіх транспортних засобів підпрограма формує модель прогнозованого розвитку транспортної ситуації. У рамках принципу управління, що базується на прогнозних моделях, з певною періодичністю виконується перерахунок внутрішньої моделі, використовуючи актуальні дані. Нові часи руху по ділянках мережі визначаються на основі фактичних даних за минулий період. Для кожного транспортного засобу в мережі заново розраховується траєкторія руху, враховуючи оновлену інформацію про часи проїзду.

Цей підхід забезпечує синхронізацію внутрішньої моделі з реальною транспортною ситуацією, що дозволяє більш точно прогнозувати рух нових транспортних засобів у мережі. Періодичність перерахунку моделі визначається вимогами до точності моделювання. У проведених експериментах інтервал оновлення змінювався в межах від 4 до 10 хвилин.

Такий підхід до управління транспортними потоками має кілька важливих переваг:

- система реагує на зміни в реальному часі, знижуючи ризик заторів та перевантаження окремих ділянок мережі.
- постійне оновлення даних дозволяє оптимально розподіляти транспортні потоки, мінімізуючи затримки для кожного учасника руху.
- точні дані про розвиток ситуації сприяють покращенню роботи транспортної мережі, наприклад, через попереднє перенаправлення потоків.

Ця методика може використовуватися для управління дорожнім рухом у великих містах, забезпечуючи:

- зниження рівня заторів;
- економію часу для пасажирів та вантажоперевезень;
- оптимізацію використання транспортної інфраструктури;
- зменшення шкідливих викидів через скорочення часу холостого ходу транспортних засобів.

Подальший розвиток таких систем може включати інтеграцію штучного інтелекту для самонавчання моделі, що дозволить ще більш ефективно керувати транспортними потоками. Це стане основою для впровадження «розумних» міст, де управління рухом є одним із ключових елементів міської екосистеми.

Для кожної нової заявки на розрахунок тимчасової траєкторії автомобіля, її накладання на дані внутрішньої моделі дорожнього руху здійснюється шляхом порівняння кількості автомобілів на окремих ділянках у кожний момент часу із заздалегідь визначеними допустимими значеннями. Якщо кількість автомобілів перевищує допустимий рівень, тимчасова траєкторія цього автомобіля зміщується на один часовий крок, після чого проводиться повторна перевірка. Процес зсуву триває до тих пір, поки дотримання порогових значень не буде забезпечено.

Кількість кроків зміщення визначає тривалість затримки для даного автомобіля. Це значення призначається як атрибут автомобіля, а скоригована траєкторія додається до внутрішньої моделі для подальшого врахування при обробці наступних заявок. Після завершення визначеного часу затримки підпрограма випускає автомобіль у рух.

Для реалізації затримки автомобілів їм тимчасово задається мінімальна швидкість руху (наприклад, 0,1–0,5 км/год). Розраховані значення затримок сумуються для визначення загальних показників роботи системи.

Експеримент порівнює ефективність функціонування різних ділянок вулично-дорожньої мережі (ВДМ) за умов наявності та відсутності описаного механізму управління. Основним критерієм оцінки виступає сумарний час перебування автомобілів у мережі.

Такі експерименти дозволяють не лише оцінити ефективність впровадженого управління транспортними потоками, а й виявити можливості оптимізації роботи ВДМ. Зокрема, результати можуть використовуватися для:

- зниження рівня заторів;
- мінімізації часу затримки транспортних засобів;
- підвищення пропускної здатності мережі;

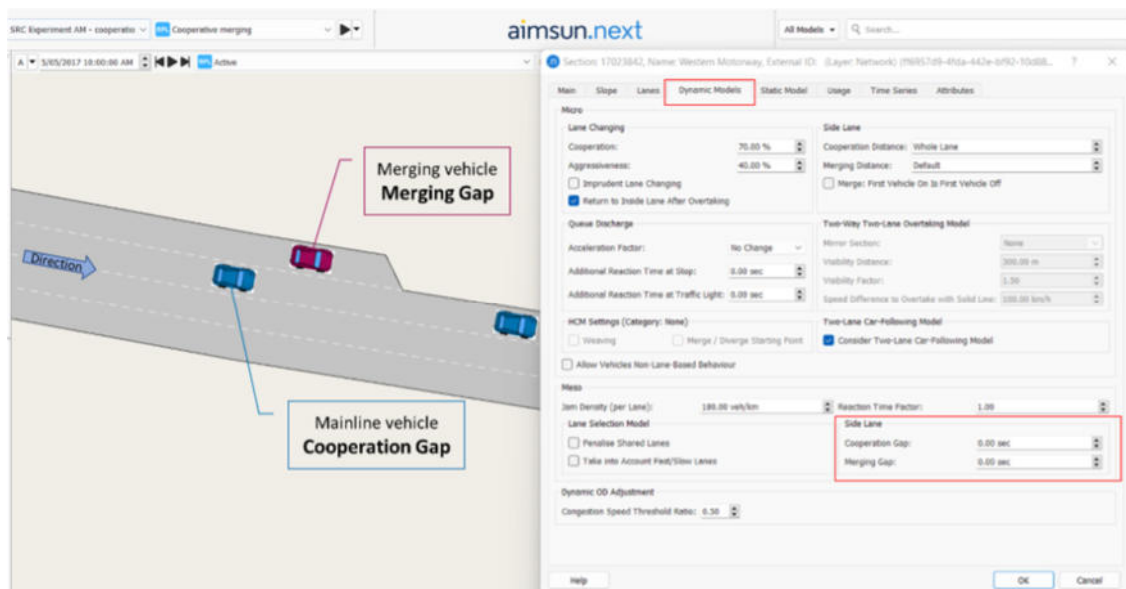
- зменшення шкідливих викидів через скорочення холостого ходу транспортних засобів.

Таким чином, запропонований метод управління дозволяє не лише покращити ефективність роботи транспортної системи, а й забезпечити її відповідність сучасним екологічним та економічним вимогам.

Система моделювання визначає сумарний час перебування автомобілів у мережі за допомогою вбудованих інструментів, при цьому буферні ділянки не враховуються у статистичних розрахунках. Загальний час примусових затримок додається до часу перебування автомобілів у мережі.

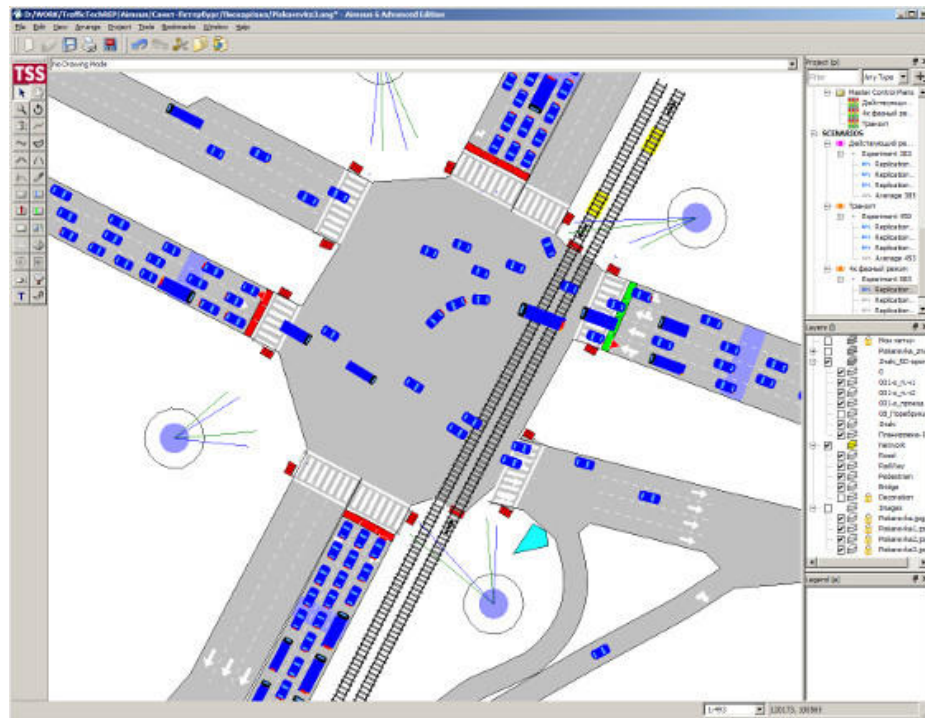
Для всіх об'єктів дослідження використовувався однаковий профіль навантаження, який імітує ранковий час пік. Навантаження поступово зростало від 50% до 120% із кроком у 20 хвилин, після чого знижувалося. Максимальне навантаження в 120% тривало 40 хвилин, а загальний час моделювання становив 4 години. За 100% приймалося навантаження, що відповідає максимальній пропускній здатності, визначеній на підготовчому етапі.

Перший об'єкт моделювання представляє собою дорожню ділянку, яка спочатку має дві смуги руху, а потім звужується до однієї. Візуалізацію моделі цієї ділянки наведено на рисунку 3.5.



Малюнок 3.5. Ділянка дороги із елементами звуження

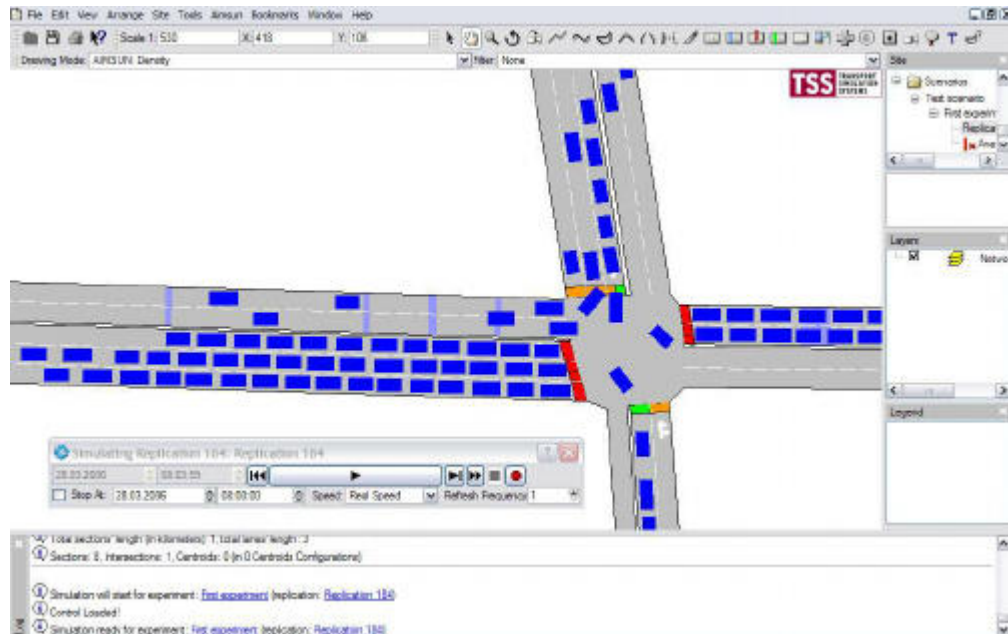
Нерегульоване перехрестя являє собою місце перетину двох доріг під прямим кутом. Кожна з доріг має по дві смуги руху в кожному напрямку. На цьому перехресті дозволені всі маневри, окрім розвороту. Співвідношення обсягу транспортного потоку на головній та другорядній дорогах становить 95/5. Розподіл прямого руху та поворотів на всіх підходах є однаковим: 80% руху прямо, 15% — праворуч, та 5% — ліворуч. Зображення моделі нерегульованого перехрестя показано на рисунку 3.7.



Малюнок 3.6. Складне перехрестя із регульованим рухом

Регульоване перехрестя утворено перетином двох вулиць під прямим кутом, причому кожна з них має по три смуги руху. На перехресті дозволено всі напрямки руху, крім розвороту: прямий рух можливий з усіх смуг, а поворотні потоки здійснюються з крайніх смуг.

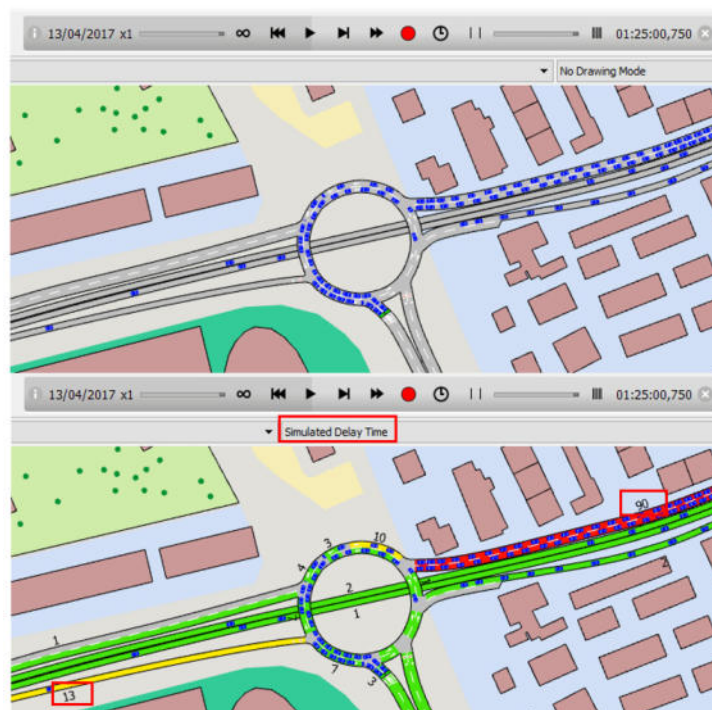
Обсяги транспортного навантаження на всіх підходах однакові, а також однаковим є співвідношення прямого руху та поворотів: 80% руху прямо, 15% — праворуч і 5% — ліворуч. Режим регулювання складається з двох фаз по 45 секунд кожна, з яких 36 секунд відведено на основний такт, а 9 секунд — на проміжний. Тривалість повного циклу становить 90 секунд. Модель регульованого перехрестя представлена на рисунку 3.7.



Малюнок 3.7. Перехрестя із регульованим рухом

Кільцеве перехрестя утворене двома дорогами, кожна з яких має по три смуги руху в кожному напрямку. Діаметр центрального острівця становить 50 метрів. Кільцева проїжджа частина також складається з трьох смуг руху.

Пріоритет надається автомобілям, які рухаються по кільцевій частині. Обсяг транспортного навантаження на всіх підходах є однаковим. Модель кільцевого перехрестя зображена на рисунку 3.8.



Малюнок 3.8. Кільцеве перехрестя

Розв'язка на різних рівнях представляє собою перетин двох магістралей, кожна з яких має по дві смуги руху в кожному напрямку по основному ходу. У місцях поворотних з'їздів проїжджа частина розширюється до трьох смуг. Радіус внутрішніх лівоповоротних з'їздів становить 60 метрів.

Обсяг транспортного навантаження на всіх підходах є однаковим. Співвідношення прямого руху та поворотних потоків також однакове для всіх підходів і становить 80% руху прямо, 15% – праворуч, та 5% – ліворуч. Модель розв'язки на різних рівнях зображена на рисунку 3.9.



Малюнок 3.9. Транспортна розв'язка

Узагальнені результати експериментів для всіх проведених прогонів із вказаними об'єктами подано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати досліджень параметрів транспортної мережі для різних об'єктів

Ділянка ВДМ	Сумарний час в дорозі до заходів, год.	Сумарний час в дорозі після заходів, хв.	Зниження у %
Звуження з 2-х до 1-ї смуги руху	386,7	182,5	52,8
Нерегульоване перехрестя	1252,26	1237,2	1,2
Регульоване перехрестя	1262,6	1268,9	-0,5
Кільцеве перехрестя	4504,6	2918,9	35,2
Розв'язка типу «лист конюшини»	4279,5	2242,5	47,6

Окремі аналізи регульованих і нерегульованих перехресть не показали значного зменшення затримок. У зв'язку з цим було вирішено провести експеримент із ділянкою дорожньо-транспортної мережі (ДТМ), яка містить кілька перетинів різних типів. Для експерименту обрано фрагмент ДТМ Центрального району Тернополя, який включає одне кільцеве перехрестя, 15 нерегульованих і 25 регульованих перетинів. Дані про параметри регулювання і навантаження на цю мережу взяті з матеріалів попереднього проєкту з удосконалення організації дорожнього руху в цьому районі. Навантаження відповідає вечірній годині пік з 18:00 до 19:00. Модель досліджуваного фрагмента ДТМ наведено на рисунку 3.10.

Результати експерименту з реальним фрагментом ДТМ показали зниження сумарного часу перебування в мережі на 18,1%. Проведені експерименти є попередньою оцінкою, а їхні числові результати лише приблизно відображають можливу ефективність запропонованої системи. Це пов'язано з похибками у відтворенні поведінки транспортних потоків програмним комплексом і недосконалістю програмної реалізації запропонованого методу. Однак отримані результати експериментів свідчать про значний позитивний ефект, і разом з теоретичним обґрунтуванням можуть бути вагомим підтвердженням ефективності запропонованої системи управління.

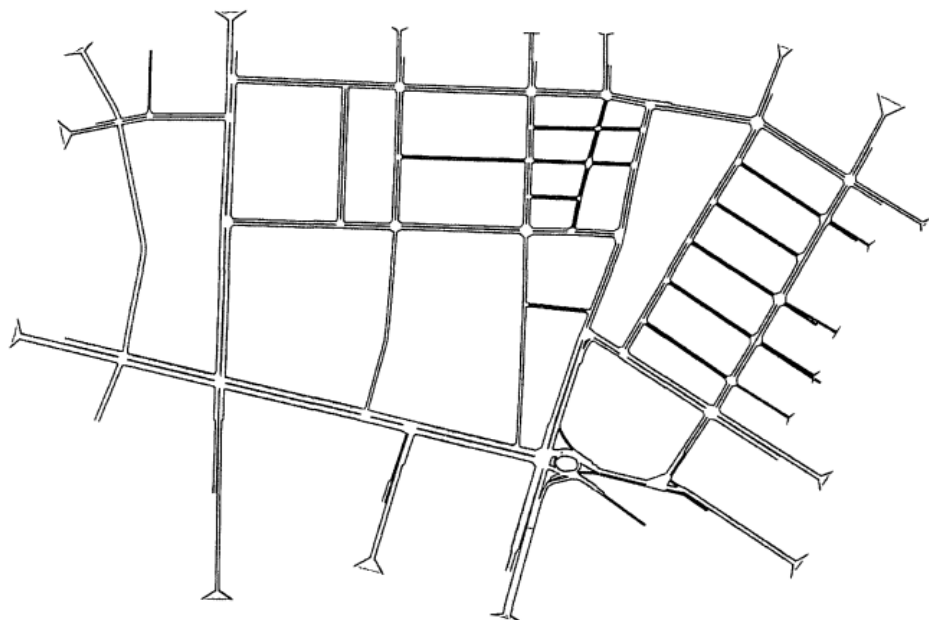


Рисунок 3.10. Досліджуваний фрагмент ВДМ м. Тернополя

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Охорона праці на транспорті

Правовою основою охорони праці на автомобільному транспорті є:

- Конституція України ;
- ЗУ “Про охорону праці” ;
- ЗУ ” Про дорожній рух” ;
- Правила дорожнього руху України;
- Правила охорони праці на автомобільному транспорті ДНАОП 0.00-1.28-97, які затверджені Наказом Державного комітету України з нагляду за охороною праці (тепер – Державний комітет України з промислової безпеки, охорони праці та гірничому нагляду) від 13.01.97 №5, та які погодженні листом Міністерства транспорту і зв’язку України від 11.06.96 №6/22–17-2907 і які введені в дію 1.10.1997;
- Санітарні правила з гігієни праці водіїв автомобілів;
- Правила перевезень пасажирів автомобільним транспортом України;
- Правила технічної експлуатації рухомого складу автомобільного транспорту;
- Нормы технологического проектирования предприятий автомобильного транспорта ОНТП 01-91;
- ГОСТ 12.4.026-76 «Цвета сигнальные и знаки безопасности»
- Положення про профілактичне обслуговування і ремонт рухомого складу автомобільного транспорту.

Працівники, під час прийняття на роботу та періодично, повинні проходити на підприємстві інструктажі з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, а також з правил поведінки та дій при виникненні аварійних ситуацій, пожеж і стихійних лих.

Служба охорони праці створюється на підприємствах з кількістю працюючих 50 і більше осіб.

На підприємстві з кількістю працюючих менше 50 осіб функції служби охорони праці можуть виконувати в порядку сумісництва (суміщення) особи, які мають відповідну підготовку.

На підприємстві з кількістю працюючих менше 20 осіб для виконання функцій служби охорони праці можуть залучатися сторонні спеціалісти на договірних засадах, які мають виробничий стаж роботи не менше трьох років і пройшли навчання з охорони праці.

Керівники та спеціалісти служби охорони праці за своїми посадами та заробітною платою прирівнюються до керівників і спеціалістів основних виробничо-технічних служб. Професії працівників, які є загальними для всіх видів економічної діяльності, повинні відповідати кваліфікаційним вимогам, зазначеним у Довіднику кваліфікаційних характеристик професій працівників (Випуск 1), затвердженому наказом Міністерства праці та соціальної політики від 16 лютого 1998 року №24 (із змінами).

Навчання та перевірка знань з питань охорони праці працівників служби охорони праці проводяться в установленому законодавством порядку під час прийняття на роботу та періодично один раз на три роки.

Завдання та обов'язки. Організовує і координує роботи з охорони праці на підприємстві, здійснює контроль за дотриманням у структурних підрозділах законодавчих і нормативних правових актів з охорони праці, проведенням профілактичної роботи із запобігання виробничого травматизму, професійних і виробничо-обумовлених захворювань, заходів зі створення здорових і безпечних умов праці на підприємстві, за наданням робітникам установлених пільг і компенсацій за умовами праці. Організовує вивчення умов праці на робочих місцях, роботу з проведення паспортизації санітарно-технічного стану цехів, перевірки технічного стану устаткування, запобіжних і захисних пристроїв, здійснює контроль за ефективністю роботи вентиляційних і аспіраційних систем. Інформує працівників від особи роботодавця про стан умов праці на робочому місці, а також про прийняті заходи щодо захисту від небезпечних і шкідливих виробничих факторів, забезпечує підготовку документів на виплату

відшкодування збитків, причинених здоров'ю працівників у результаті нещасного випадку на виробництві або професійного захворювання. Організовує проведення перевірок, обстеження технічного стану будинків, будівель, устаткування, машин і механізмів на відповідність їх вимогам нормативних актів з охорони праці, стану санітарно-побутових приміщень, засобів колективного і індивідуального захисту працівників, контролює своєчасність їх проведення. Бере участь у складанні розділу "Охорона праці" колективного договору, здійснює контроль за його виконанням, а також виконанням приписів органів державного контролю, інших заходів з поліпшення умов праці. Бере участь в узгодженні розроблюваної на підприємстві проектної документації, у роботі комісій з приймання в експлуатацію завершених будівництвом або реконструйованих об'єктів виробничого призначення, з приймання із ремонту установок, агрегатів і іншого обладнання щодо додержання вимог нормативних правових актів з охорони праці. Надає методичну допомогу керівникам підрозділів підприємства у складанні списків професій і посад, згідно з якими працівники повинні проходити обов'язкові попередні і періодичні медичні огляди, а також списків професій і посад, згідно з якими працівникам надаються компенсації і пільги за тяжкі, шкідливі або небезпечні умови праці, у разі розробки і перегляду інструкцій з охорони праці, стандартів підприємства з безпеки праці. Забезпечує проведення ввідних і повторних інструктажів, навчання і перевірку знань з охорони праці працівників підприємства. Видає керівникам структурних підрозділів підприємства обов'язкові для виконання приписи щодо усунення наявних недоліків, одержує від них необхідні відомості, документацію і пояснення з питань охорони праці, вимагає відсторонення від роботи осіб, які не пройшли медичного огляду, навчання, інструктажу, перевірки знань і не мають допуску до відповідних робіт або не виконують нормативи з охорони праці, зупиняє роботу виробництва, діляниць, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва в разі порушень, які створюють загрозу життю або здоров'ю працюючих. Надсилає керівникові підприємства подання про притягнення до відповідальності працівників, які порушують

вимоги щодо охорони праці. Забезпечує участь відділу в розробленні та впровадженні більш досконалих конструкцій загороджувальної техніки та інших засобів захисту, маршрутів безпечного руху транспорту і пішоходів на території підприємства, заходів щодо створення безпечних та здорових умов праці. Бере участь у розробленні проектів перспективних і річних планів з поліпшення умов праці на підприємстві. Забезпечує проведення інструктажу (навчання) працівників з питань охорони праці, надання першої медичної допомоги потерпілим від нещасних випадків, правил поведінки в разі виникнення аварій згідно з чинним типовим положенням; контролює складання кошторисів витрат на заходи з охорони праці в підрозділах підприємства, правильність складання заявок на спецодяг та інші засоби індивідуального захисту, спецхарчування, запобіжні та захисні пристрої тощо. Здійснює контроль за витратами коштів на охорону праці, додержанням правил і норм охорони праці і виробничої санітарії в проектах підрозділів підприємства, які будуються або реконструюються, нових технологічних процесів під час установа устаткування, а також строків випробувань і перевірок правильності експлуатації парових котлів, балонів для стиснених газів, контрольної апаратури, кранів, підйомників та іншого устаткування, графіків замірів виробничого шуму, повітряного середовища, вібрації тощо, виконання розпоряджень органів державного нагляду, міжвідомчого та відомчого контролю за додержанням чинних норм і стандартів з безпеки праці в процесі виробництва. Подає підрозділам підприємства методичну допомогу в розробленні нових і перегляді застарілих інструкцій та пам'яток з охорони праці, а також складанні програм навчання працівників безпечним методам праці.

Бере участь у розслідуванні та аналізі причин виробничого травматизму, професійних захворювань, у розробленні заходів щодо їх запобігання та усунення. Організовує роботу кабінету з охорони праці та пропаганду заходів з охорони праці і виробничої санітарії шляхом проведення лекцій, бесід, улаштування виставок, вітрин, стендів, розповсюдження правил, інструкцій, пам'яток, демонстрації кінофільмів тощо. Контролює забезпечення додержання

правил і норм охорони праці під час проходження практики студентів, учнів професійно-технічних училищ тощо.

Здійснює зв'язок з медичними установами, науково-дослідними інститутами та іншими організаціями з питань охорони праці і вживає заходів щодо впровадження їх рекомендацій. Забезпечує складання звітності з охорони праці. Керує робітниками відділу.

Повинен знати: законодавчі і нормативні правові акти, методичні матеріали з питань охорони праці; виробничу та організаційну структуру підприємства; основні технологічні процеси та режими виробництва; устаткування підприємства і принципи його роботи; методи вивчення умов праці на робочих місцях; організацію роботи з охорони праці і виробничої санітарії; систему стандартів безпеки праці; психофізіологічні вимоги до працівників, виходячи з категорії важкості робіт, обмеження застосування праці жінок, підлітків, робітників, переведених на легку працю; правила і засоби контролю відповідності технічного стану устаткування вимогам безпечного ведення робіт; передовий вітчизняний і світовий досвід у галузі охорони праці; методи і форми пропаганди та інформації з охорони праці; порядок проведення розслідування нещасних випадків; порядок і строки складання звітності про виконання заходів з охорони праці та виробничої санітарії; основи економіки, організації виробництва і управління; основи трудового законодавства; засоби обчислювальної техніки, комунікацій і зв'язку.

Завдання та обов'язки. Здійснює контроль за додержанням у підрозділах підприємства законодавчих та інших нормативних актів з охорони праці, за наданням робітникам встановлених пільг і компенсацій за умовами праці. Вивчає умови праці на робочих місцях, готує і вносить пропозиції щодо розроблення і впровадження більш досконалих конструкцій обгороджувальної техніки, запобіжних і блокувальних пристроїв, інших засобів захисту від впливу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Бере участь у проведенні перевірок, обстежень технічного стану будівель, споруд, устаткування, машин і механізмів, ефективності роботи вентиляційних систем, стану санітарно-

технічних пристроїв санітарно-побутових приміщень, засобів колективного та індивідуального захисту працівників, визначенні їх відповідності вимогам нормативних правових актів з охорони праці і у разі виявлення порушень, які створюють загрозу життю і здоров'ю працівників або можуть привести до аварії; вживає заходів щодо припинення експлуатації машин, устаткування і виконання робіт у цехах, на ділянках, на робочих місцях. Разом з іншими підрозділами підприємства проводить роботу з атестації та сертифікації робочих місць і виробничого устаткування на відповідність вимогам охорони праці. Бере участь у розробленні заходів щодо запобігання професійним захворюванням і нещасним випадкам на виробництві, поліпшення умов праці і доведення їх до вимог нормативних правових актів з охорони праці, а також надає організаційну допомогу з виконання розроблених заходів. Контролює вчасне проведення відповідними службами необхідних випробувань і технічних оглядів стану устаткування, машин і механізмів, дотримання графіків вимірів параметрів небезпечних і шкідливих виробничих факторів, виконання приписів органів державного нагляду і контролю за додержанням чинних норм, правил і інструкцій з охорони праці, стандартів безпеки праці у процесі виробництва, а також у проектах нових виробничих об'єктів та тих, що реконструюються, бере участь у прийманні їх до експлуатації. Бере участь у розгляді питання про відшкодування роботодавцем шкоди заподіяної працівникам каліцтвом, професійним захворюванням або іншим пошкодженням здоров'я, пов'язаним з виконанням ними трудових обов'язків. Надає підрозділам підприємства методичну допомогу у вкладанні переліків професій і посад, відповідно до яких працівники мають проходити обов'язкові медичні огляди, а також переліки професій посад, відповідно до яких на основі чинного законодавства надається компенсація та пільги за важкі, шкідливі або небезпечні умови праці; під час розроблення і перегляду інструкцій з охорони праці, стандартів підприємства, системи стандартів безпеки праці; з організації інструктажу, навчання і перевірки знань працівників з охорони праці. Проводить вступні інструктажі з охорони праці з усіма, хто приймається на роботу, приїждить у відрядження,

учнями і студентами, які прибули на проходження виробничого навчання або практику. Бере участь у складанні розділу "Охорона праці" колективного договору, у розслідуванні випадків виробничого травматизму, професійних і виробничо-обумовлених захворювань, вивчає їх причини, аналізує ефективність впроваджуваних заходів щодо їх запобігання. Здійснює контроль за організацією зберігання, видання, прання, хімічного чищення, сушіння, запобігання запиленню, знежирення і ремонту спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту, станом запобіжних пристосувань і захисних пристроїв, а також правильним витрачанням у підрозділах підприємства коштів, виділених на виконання заходів з охорони праці. Складає звітність з охорони праці за встановленими формами і у відповідні терміни.

4.2 Безпека дорожнього руху на транспорті

Розвиток дорожнього руху в Україні, у першу чергу, визначив її особливості його правового регулювання, а також межі відповідальності за порушення правил безпеки руху та експлуатації транспорту.

Дорожній рух — процес руху по дорогах транспортних засобів та учасників дорожнього руху, сукупність суспільних відносин, що виникають у процесі переміщення людей і вантажів за допомогою транспортних засобів або без таких у межах дороги.

Учасниками дорожнього руху є особи, які використовують автомобільні дороги, вулиці, залізничні переїзди або інші місця, призначені для пересування людей та перевезення вантажів за допомогою транспортних засобів.

До учасників дорожнього руху належать водії та пасажери транспортних засобів, пішоходи, велосипедисти, погоничі тварин.

Отже, дорожній рух характеризується наступними ознаками:

- є соціально систематизованою та соціально значимою діяльністю визначеного кола осіб;

- є техніко-технологічним процесом невід'ємно пов'язаним з ймовірністю вчинення дорожньо-транспортних пригод;
- безпека дорожнього руху є найважливішою соціально-значимою якісною характеристикою цього процесу, яка дістає прояв у реальному ступені захищеності його учасників від можливості вчинення дорожньо-транспортних пригод;
- забезпечення безпеки дорожнього руху є невід'ємною частиною діяльності правоохоронних органів.

Безпека дорожнього руху (БДР) — це багатогранна, комплексна проблема. Серед безлічі визначальних її факторів можна виділити: створення надійних в експлуатації автотранспортних засобів з високим рівнем активної і пасивної безпеки; їх своєчасне і якісне обслуговування; психофізіологічні властивості та рівень професійної підготовки водіїв; якість і стан проїзної частини; організацію дорожнього руху та ін.

Автомобіль є засобом підвищеної небезпеки. У світі в дорожньо-транспортних пригодах (ДТП) щорічно гинуть сотні тисяч і одержують поранення мільйони людей. Наноситься величезний матеріальний збиток економіці.

За останні п'ять років в Україні зареєстровано 173,2 тис. ДТП, в яких загинуло майже 28 тис. і травмовано понад 191 тис. осіб.

Для попередження ДТП важливе значення має наявність всебічних знань з БДР у водіїв і всіх посадових осіб, відповідальних за експлуатацію транспортних засобів. Однак одержати такі знання непросто.

В нашій країні державна транспортна політика в галузі безпеки руху реалізується через законодавство України, нормативно-правову і нормативно-технічну базу, удосконалення системи державного управління, управління державною власністю (об'єктами інфраструктури, підприємствами транспорту) та державне регулювання в сфері відносин і діяльності суб'єктів підприємництва.

Контроль за додержанням транспортного законодавства, правил перевезень і безпеки покладено на Міністерство транспорту, його територіальні органи. Регулювання дорожнього руху, виконання водіями правил дорожнього руху — природна функція служб Міністерства внутрішніх справ (МВС).

Основні напрямки державного регулювання перевезень базуються на економічних та правових механізмах забезпечення вимог до безпеки та якості транспортних послуг.

Державному регулюванню в першу чергу підлягають такі основні напрямки:

- забезпечення безпеки, якості пасажирських перевезень та екологічної безпеки;
- економічні взаємовідносини перевізників із споживачами та замовниками транспортних послуг;
- формування ринку автотранспортних послуг.

Стандартизація визначає основні державні вимоги до продукції, робіт і послуг пасажирського автомобільного транспорту.

Ліцензування здійснюється з метою регулювання певної необхідної кількості (квоти) перевізників у конкретному регіоні. Воно передбачає контроль за спроможністю суб'єкта підприємницької діяльності надавати послуги на професійному рівні.

Квотуванню в першу чергу підлягають таксомотори в місті (чи регіоні), здійснюється місцевими органами влади.

Сертифікація є обов'язковою, згідно з законодавством України, для продукції та послуг, які є небезпечними для життя і здоров'я споживачів, їх майна і довкілля.

Обов'язковій сертифікації підлягають транспортні засоби та їх складові і запасні частини. Послуги з перевезення пасажирів на автобусних маршрутах

загального користування повинні підлягати обов'язковій сертифікації до моменту розробки і введення в дію ліцензійних умов на ці послуги, якщо вони передбачатимуть перевірку перевізника на його відповідність вимогам чинних законодавчих та нормативних актів щодо безпеки перевезень.

Після введення таких ліцензійних умов сертифікація послуг з перевезення пасажирів на автобусних маршрутах загального користування повинна стати добровільною.

Добровільна сертифікація може бути застосована для перевезень організованих груп пасажирів, туристів, обслуговування на замовлення і таксомоторне обслуговування, технічне обслуговування і ремонт вузлів та агрегатів, які безпосередньо впливають на безпеку перевезень.

Пасажирські перевезення на автобусних маршрутах загального користування є сферою державного замовлення.

Замовниками послуг на перевезення пасажирів автобусами на маршрутах загального користування є, залежно від видів сполучень, центральні державні органи управління, місцеві державні органи і органи місцевого самоврядування.

Реалізація державного замовлення здійснюється виключно на конкурсних засадах і передбачає встановлення між пасажирськими перевізниками і замовниками послуг договірних відносин, які б обумовлювали:

- технічне і технологічне забезпечення керування рухом автобусів на маршрутах загального користування;
- облаштування автобусних маршрутів загального користування зупинками, інформаційними табличками тощо;
- забезпечення відшкодування пасажирському перевізнику витрат, пов'язаних з перевезенням пільгових категорій пасажирів та встановлення збиткових тарифів;
- відповідальність та санкції за невиконання сторонами умов договору.

Державний контроль за виконанням транспортного законодавства поширюється на перевізників всіх форм власності, споживачів послуг, місцеві органи виконавчої влади та органи місцевого самоврядування.

До ринку автотранспортних послуг допускаються тільки ті перевізники, які відповідають державним вимогам щодо безпеки та якості перевезень.

Система контролю включає:

- визначення правопорушень, які підлягають фінансовим або іншим санкціям;
- визначення розміру санкцій за кожне правопорушення;
- формування організаційних структур, визначення їх функцій, прав, обов'язків і відповідальності щодо здійснення державного контролю;
- правове визначення процедури контролю та накладання санкцій.

Кожне підприємство, що здійснює перевезення пасажирів, повинно:

- проводити профілактичні заходи щодо безпеки перевезень;
- мати відповідні структури або фахівців з питань безпеки перевезень;
- забезпечувати належні умови праці та відпочинку водіїв, передбачені нормативами;
- забезпечувати щоденний медичний контроль стану здоров'я водіїв;
- дотримуватись вимог транспортного законодавства щодо організації перевезень пасажирів, виконувати правила перевезень пасажирів;
- забезпечувати належний контроль технічного стану транспортних засобів.

Основні напрямки державної політики в галузі безпеки передбачають:

- розробку сучасних вимог до підприємств та підприємців, які здійснюють пасажирські автомобільні перевезення, щодо якості та безпеки надання послуг;

- створення системи виконавчої влади, яка б здійснювала контроль виконання транспортного законодавства щодо безпеки пасажирських перевезень місцевими органами влади, надавачами та споживачами послуг;

- створення системи санкцій до порушників транспортного законодавства.

Першочерговими заходами повинні бути:

- перегляд чинних в Україні нормативно-правових актів щодо безпеки пасажирських перевезень та гармонізація їх з міжнародними конвенціями, угодами, приписами ЄНК ООН з цих питань;

- облаштування існуючої мережі вулиць і доріг згідно зі стандартами і умовами безпеки;

- розробку і втілення в життя ефективних схем, методів та засобів організації дорожнього руху відповідно до міжнародних стандартів;

- підвищення ефективності аварійно-рятувальних робіт і заходів до подання невідкладної медичної допомоги потерпілим у результаті дорожніх пригод.

Основними напрямками державної програми підвищення безпеки дорожнього руху повинні бути:

- удосконалення системи збору, обробки й аналізу статистичних даних щодо дорожньо-транспортних пригод;

- розробка методів оцінювання тяжкості наслідків дорожньо-транспортних пригод;

- удосконалення структур управління безпекою дорожнього руху на всіх рівнях, удосконалення правової та інформаційної бази державної системи управління безпекою дорожнього руху;

- виявлення і ліквідація ділянок концентрації дорожньо-транспортних пригод, проведення комплексу дорожніх робіт щодо удосконалення умов безпечного руху на потенційно небезпечних ділянках;

- організація проведення цільових інформаційно-роз'яснювальних компаній з питань безпеки дорожнього руху, регулярне висвітлення цих питань у засобах масової інформації, активізація роботи з пішоходами;
- розробка і втілення нових форм і методів навчання безпечної поведінки та виховання транспортної культури дітей та підлітків;
- зниження рівня ризику внаслідок проведення робіт з формування громадської думки з питань необхідності виконання Правил дорожнього;
- удосконалення нормативної бази щодо безпеки конструкції транспортних засобів та зменшення викидів забруднювальних речовин у довкілля з урахуванням вимог Правил ЄЕК ООН;
- створення диспетчерських служб спасіння потерпілих при дорожніх пригодах;
- удосконалення системи підготовки водіїв, а також системи профілактичної роботи з водіями;
- запровадження системи інструментального контролю технічного стану дорожніх транспортних засобів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У роботі виконано дослідження розвитку автомобільного транспорту, пов'язаних із цим проблем, а також методів організації руху та боротьби із заторами. Проведено аналіз транспортного потоку як об'єкта управління.

Транспортна система досліджена з точки зору системного аналізу, з акцентом на оцінку впливу розподілу потоків у часі поїздки на ефективність роботи вулично-дорожньої мережі (ВДМ).

Описано математичну модель для оцінки ефективності управління транспортним потоком із використанням підходів до підвищення продуктивності ВДМ. Розроблено структурну схему системи управління формуванням транспортних потоків, а також модель для інтеграції в систему з врахуванням оцінки цільової функції.

Запропоновано блок-схему алгоритму функціонування системи управління транспортними потоками. Основний алгоритм роботи системи реалізовано в середовищі AIMSUN.

Окрему увагу приділено питанням охорони праці та безпеки в умовах надзвичайних ситуацій.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Ковальчук О.В., Іванов Д.С. Дослідження параметрів руху груп транспортних засобів на вулично-дорожній мережі // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2018. – № 83. – С. 106–111.
2. Тур О.М. Концепція розумного міста як основа забезпечення сталого розвитку територій // Розвиток територій: теорія та практика. – 2018. – С. 297–300.
3. Traffic Congestion and Reliability, Trends and Advanced Strategies for Congestion Mitigation, Cambridge Systematics, Inc., 2005, http://www.ops.fhwa.dot.gov/congestion_report/
4. Мисько Б.В., Сеник І.О. Аналіз систем управління транспортними потоками в містах // Прикладні аспекти сучасних міждисциплінарних досліджень. – 2024. – С. 155–157.
5. Litman T. A., Smart Congestion Relief: Comprehensive Analysis Of Traffic Congestion Costs and Congestion Reduction Strategies, Victoria Transport Policy Institute, 2013, http://www.vtpi.org/cong_relief.pdf
6. TTI's 2012 Urban Mobility Report Powered by INRIX Traffic Data, <http://tti.tamu.edu/documents/mobility-report-2012.pdf>.
7. Robertson D.I. Transyt: a traffic network study tool. Road Research Laboratory report. LR 253. Crowthorne, Berkshire, 1969, p. 37.
8. Програмний комплекс TRANSYT. [Електронний ресурс] / Режим доступу: https://www.trlsoftware.co.uk/products/junction_signal_design/transyt
9. Prothmann H., Organic Traffic Control, Dissertation, Karlsruher Institut für Technologie, 2011.
10. Chong Y., Quek C, Loh P. A novel neuro-cognitive approach to modeling traffic control and flow based on fuzzy neural techniques. / Expert Systems with Applications, Vol. 36, Issue 3, Part 1, pp. 4788-4803, 2009.

11. Srinivasan D., Choy M. C, Cheu R. L. Neural Networks for Real-Time Traffic Signal Control. / IEEE transactions on intelligent transportation systems, vol. 7, no. 3, pp. 261-272. 2006.

12. Gershwin S.B., Tan H.N. Hybrid optimization: optimal static traffic control constrained by drivers' route choice behavior. Decision and Control including the 17th Symposium on Adaptive Processes, 1978 IEEE Conference on (Vol.17).

13. Zuurbier F. S. Intelligent Route Guidance. Ph.D. thesis. Delft University of Technology, Netherlands, 2010.

14. Papageorgiou M., Diakaki, C, Dinopoulou, V., Kotsialos A., Wang, Y. (2003) 'Review of road traffic control strategies.', Proceedings of the IEEE., 91 (12). pp. 2043-2067.

15. The future of traffic management, State of the Art, Current Trends and Perspectives for the Future, 2012 TrafficQuest, http://www.traffic-quest.nl/images/stories/documents/State_of_the_Art/the_future_of_traffic_management.pdf

16. Wang M., Daamen W., Hoogendoorn S. P., Van Arem B. Rolling horizon control framework for driver assistance systems. Part II: Cooperative sensing and cooperative control. / Transportation Research Part C: Emerging Technologies, Vol. 40, pp. 290-311, 2014.

17. Monteil J., Billot R., El Faouzi N., Towards cooperative traffic management: methodological issues and perspectives. / Proceedings Australasian Transport Research Forum 2011.

18. Шевченко О.В., Іванов Д.С. Шляхи підвищення стійкості та ефективності роботи інтелектуальних транспортних систем // Матеріали конференції Житомирського державного технологічного університету. – 2022. – С. 54–58.

19. Managing Urban Traffic Congestion, ECMT, 2007, <http://www.internationaltransportforum.org/Pub/pdf/07Congestion.pdf>

20. Wardrop J. G. Some theoretical aspects of road traffic research. In Proceedings of the Institute of Civil Engineers, Pt. II, volume 1, pages 325-378, 1952.

21. Національний транспортний університет. Моделювання транспортних потоків. Наукові та прикладні аспекти: матеріали Всеукраїнської конференції. – Київ: НТУ, 2023.

23. Taale H. Integrated Anticipatory Control of Road Networks A gametheoretical approach // Ph.D. Thesis, Netherlands: GA Delft, 2008.

24. Кирган О.А., Тарновський М.Г. Система керування транспортними потоками // Вісник Вінницького національного технічного університету. – 2018. – № 1. – С. 56–62.

25. Toledo T., Beinhaker R. Evaluation of the potential benefits of advanced traveler information systems// Journal of Intelligent Transportation Systems: Technology, Planning, and Operations. Vol. 10(4), 2006. P. 173-183

26. Нагребельна Л.П. Удосконалення управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі міста: дис. ... канд. техн. наук. – Київ: Національний транспортний університет, 2019.

27. Феценко А.О. Кращі зарубіжні практики розвитку розумних міст та можливості їх імплементації в Україні: наук. дослід. робота. – Київ: НТУУ "КПІ ім. Ігоря Сікорського", 2019.

28. A sustainable future for transport - Towards an integrated, technology-led and user-friendly system, European Commission, 2009 - 26 pp. http://ec.europa.eu/transport/media/publications/doc/2009_future_of_transport_en.pdf.

29. Digital-Age Transportation: The Future of Urban Mobility, Deloitte Services LP, 2012, <http://dupress.com/wp-content/uploads/2012/12/Digital-Agetransportation.pdf>

30. The Future of Urban Mobility 2.0 Full study, 2014 <http://www.adlittle.com/future-of-urban-mobility.html>

31. Improving transport accessibility for all: guide to good practice -ECMT, 2006, <http://www.internationaltransportforum.org/IntOrg/ecmt/pubpdf/06TPHguide.pdf>

32. Степанчук О.В. Особливості функціонування вулично-дорожньої мережі міста // Проблеми розвитку міського середовища. – 2016. – Вип. 1(15). – С. 87–90.

33. Коротков С.С. Методика побудови інформаційної системи управління транспортною інфраструктурою міста на базі теорії S-гіпермереж: дис. ... канд. техн. наук. – Київ: Державний університет інформаційно-комунікаційних технологій, 2024..

34. Using Pricing to Reduce Traffic Congestion, The Congress of the United States, Congressional Budget Office, 2009, <http://www.cbo.gov/sites/default/files/cbofiles/ftpdocs/97xx/doc9750/03-11-congestionpricing.pdf>

35. Zuurbier F., Zuylen H., Hoogendoorn S., Chen Y. A generic approach to generating optimal controlled prescriptive route guidance in realistic traffic networks. 85th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington D.C., 2006.

36. Литвиненко Т.П., Шарий Л.В. Особливості сучасного проектування і реконструкції вулично-дорожньої мережі міст // Збірник наукових праць Полтавського національного технічного університету імені Юрія Кондратюка. – 2018. – Вип. 1(50). – С. 107–114.

37. Волошина В.О. Сучасні логістичні технології на транспорті: навч. посіб. – Харків: Харківський національний економічний університет, 2020..

38. Кожем'яко В.П., Маліновський В.І., Новицький Р.М. Інтелектуалізація управління дорожнім рухом як засіб підвищення ефективності транспортних потоків // Штучний інтелект. – 2022. – № 3. – С. 45–52.

39. Kirschfink H. Collective traffic control on motorways, Heusch/Boesefeldt Gmbh, <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.112.5337&rep=rep1&type=pdf>

40. Varaiya P. Congestion, ramp metering and tolls. Phil. Trans. R. Soc. A (2008) 366, http://paleale.eecs.berkeley.edu/~varaiya/papers_ps.dir/RSTA20080015.pdf

41. Zhang L., Levinson D. Optimal freeway ramp control without origindestination information // *Transportation Research Part B* 38, 2004. P. 869-887.
42. Тарабан С.М. Обґрунтування відповідності класифікації вулично-дорожньої мережі м. Києва // *Автомобільні дороги і дорожнє будівництво*. – 2020. – № 90. – С. 24–32.
43. Степанчук О.В., Степанчук С.О. Оцінка критеріїв ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міста // *Проблеми розвитку міського середовища*. – 2016. – Вип. 2(16). – С. 87–95
44. Хлюпін О.А., Пустовойт Р.О. Сучасний стан та проблеми міських магістральних вулиць України // *Теорія та практика дизайну*. – 2021. – Вип. 23. – С. 70–77.
45. Quinn D., A Review of Queue Management Strategies, DRIVE II PROJECT V2016 : PRIMA VERA, 1992, <http://www.its.leeds.ac.uk/projects/primavera/delivl.pdf>
46. Поліщук А.М., Сеник І.О. Оптимізація маршрутизації транспортних мереж // *Комп'ютерні технології та системи*. – 2024. – № 2. – С. 45–50..
47. Roughgarden T. Selfish Routing and the Price of Anarchy. 2006. <http://theory.stanford.edu/~tim/papers/optima.pdf>
48. Braess D. On a paradox of traffic planning. *Transportation Science*, 39(4), 2005.
49. Spiess H. (1990). Conical volume-delay functions. *Transportation Science*, 24(2),pp.153-158.
50. Lebacque J.P. (1996). Instantaneous travel times for macroscopic traffic flow models. CERMICS Report 59-96.
51. Akcelik R. (1991). Travel time functions for transport planning purposes: Davidson's function, its time-dependent form and an alternative travel time function. *Australian Road Research* 21 (3), pp. 49-59.
52. Buisson C, Lebacque J. P., Lesort J. B. Travel Times Computation for Dynamic Assignment Modelling. EURO Working group on transportation. 1996.

53. Singh R. Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models. 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods, 1999.

http://www.mtc.ca.gov/maps_and_data/datamart/research/bostonl.htm

54. Smith J. M., Cruz F.R.B. Deterministic and Stochastic Travel Time Estimation Formulas, 2005.

55. Dowling R., Skabardonis A. Urban Arterial Speed-Flow Equations For Travel Demand Models. // Innovations in Travel Modeling Conference, 2006.

56. Olstam J. J., Matstoms P. New V/D-functions on the way. Preliminary function for urban road environments based on a new method // VTI rapport 571, 2007.

57. Singh R. Improved Speed-Flow Relationships: Application to Transportation Planning Models. 7th TRB Conference on Application of Transportation Planning Methods. 1999.

58. Aimsun Users Manual, TSS-Transport Simulation Systems, S.L.

59. ОДМ «Руководство по прогнозированию интенсивности движения на автомобильных дорогах» 2003.

60. Rapoport A., Kugler T., Dugar S., Gisches E. J. Choice of routes in congested traffic networks: Experimental tests of the Braess Paradox // Games and Economic Behavior. 2009. V. 65 P. 538-571

61. Bloy K. An Investigation into Some Aspects of Braess' Paradox. 2006. http://www.inro.ca/en/pres_pap/international/ieug06/6-3_Keith_Bloy.pdf

62. Шевченко О.В., Іванов Д.С. Шляхи підвищення стійкості та ефективності роботи інтелектуальних транспортних систем // Матеріали конференції Житомирського державного технологічного університету. – 2022. – С. 54–58.

63. Vickrey W.S. Congestion theory and transport investment, American Economic Review 59, 1969. pp. 251 - 260.

64. Yperman I., Logghe S., Immers B. Dynamic congestion pricing in a network with queue spillover // Proceedings of the 12th World Congress on Intelligent Transport Systems. 2005.

65. Arnott R. The Economic Theory of Urban Traffic Congestion: A Microscopic Research Agenda // Working Papers in Economics, Boston College, 2001 http://escholarship.bc.edu/econ_papers/114

66. Fosgerau M., De Palma A., Karlstrom A., Small K. Trip timing and scheduling preferences, 2012, <http://www.hal.archives-ouvertes.fr/hal-00742267>

67. Daganzo C F., Gonzales E. J., Gayah V. V. Traffic Congestion in Networks, and Alleviating it with Public Transportation and Pricing // Institute of Transportation Studies University of California, Berkeley, 2011.

68. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

69. Техноекологія та цивільна безпека. Частина «Цивільна безпека». Навчальний посібник / В.С. Стручок, – Тернопіль: ТНТУ ім. І.Пулюя, 2022. – 150 с.

70. Методичні вказівки до практичного заняття і самостійної роботи з курсу «Техноекологія та цивільна безпека» частина «Цивільна безпека» на тему «Шляхи і способи підвищення стійкості роботи промислового об'єкта» для студентів всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл. : В.С. Стручок . - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2023. - 26 с.

71. Стручок В. С. До питання захисту персоналу та населення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / Стручок Володимир Сергійович // Матеріали IV Міжнародної наукової конференції „Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки“, 18-19 квітня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. — С. 113–115. — (Вплив воєнних конфліктів та техногенних катастроф на безпеку життєдіяльності, локальні та глобальні екосистеми).