

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

## Магістерська кваліфікаційна робота

на тему:

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ  
ШЛЯХОМ ПОЛІПШЕННЯ ПОКАЗНИКІВ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ В  
УМОВАХ МІСТА ВІННИЦІ

Виконав: студент 2 курсу, групи 1ТТ-19мз  
спеціальності 275 – Транспортні технології (за  
видами) за спеціалізацією 275.03 – Транспортні  
технології (на автомобільному транспорті)  
Каспрук В. О. \_\_\_\_\_

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ  
Кашканов В. А. \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Рецензент: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Робота допускається до захисту  
В.о. завідувача кафедри АТМ  
д.т.н, професор Макаров В.А. \_\_\_\_\_  
« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Вінниця ВНТУ– 2021 року

Міністерство освіти і науки України  
Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)  
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)  
Освітня програма – «Транспортні технології на автомобільному транспорті»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
**В.о. завідувача кафедри АТМ**  
**д.т.н., професор Макаров В.А.**

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Каспруку Василю Олександровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Підвищення ефективності організації дорожнього руху шляхом поліпшення показників рівня обслуговування в умовах міста Вінниці  
керівник роботи Кашканов Віталій Альбертович, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом ВНТУ від «09» березня 2021 року № 64.

2. Строк подання студентом роботи: 28.05.2021 р.

3. Вихідні дані до роботи: Законодавство України в галузі дорожнього руху, безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – м. Вінниця; вулично-дорожня мережа м. Вінниця; особливості руху транспортних потоків в умовах міста; управління дорожнім рухом в умовах міста; об'єкт дослідження – організація і управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі великих міст; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.

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

1. Аналіз методів оцінювання ефективності дорожнього руху в міських умовах.

2. Теоретичні передумови підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах.

3. Аналіз ефективності організації дорожнього руху в умовах міста Вінниці.

4. Розробка методики підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

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

1-3 Тема, мета та завдання дослідження.

4 Аналіз проблем завантаженості автомобільних доріг в містах.

5 Визначення рівня обслуговування міської вулиці.

- 6 Характеристика рівнів обслуговування дорожнього руху.
- 7 Залежності між щільністю, швидкістю та інтенсивністю транспортного потоку.
- 8 Фактори, що впливають на відповідність категорії міської вулиці необхідного рівня обслуговування.
- 9 Алгоритм формування опорної вулично-дорожньої мережі.
- 10 Класифікація заходів з підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.
- 11 Основні фактори і обмеження щодо вибору типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.
- 12 Показники транспортного навантаження ВДМ м. Вінниця.
- 13 Опорна вулично-дорожня мережа м. Вінниця.
- 14 Картограма швидкостей м. Вінниця.
- 15 Найбільш завантажені ділянки ВДМ м. Вінниця у години «пік».
- 16 Приклад розробленого комплексу заходів.
- 17 Алгоритм з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.
- 18 Основні висновки по роботі.

#### 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Кашканов В.А., доцент кафедри АТМ		
Економічна частина	Макарова Т.В., доцент кафедри АТМ		
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	Дембіцька С.В., професор кафедри БЖДПБ		

7. Дата видачі завдання « 10 » березня 2021 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	10.03-14.03.2021	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	10.03-14.03.2021	
3	Обґрунтування методів досліджень	15.03-18.03.2021	
4	Розв'язання поставлених задач	18.03-25.05.2021	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	20.05-25.05.2021	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	26.04-25.05.2021	
7	Виконання розділу «Економічна частина»	26.04-25.05.2021	
8	Нормоконтроль МКР	25.05-28.05.2021	
9	Попередній захист МКР	31.05-01.06.2021	
10	Рецензування МКР	02.06-04.06.2021	
11	Захист МКР	07.06-08.06.2021	

Студент

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи

\_\_\_\_\_ (підпис)

Каспрук В. О.

Кашканов В. А.

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається із вступу, 5 розділів і загальних висновків. Загальний обсяг роботи 92 стор., у тому числі 16 рис., 17 табл., 34 літературних джерела.

Об'єкт дослідження – організація і управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі великих міст.

Робота складається з п'яти частин:

1. Аналіз методів оцінювання ефективності дорожнього руху в міських умовах.

2. Теоретичні передумови підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах.

3. Аналіз ефективності організації дорожнього руху в умовах міста Вінниці.

4. Розробка методики підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.

5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Метою дослідження є розробка рекомендацій щодо покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі великих міст України на прикладі міста Вінниці.

Ключові слова: дорожній рух, вулично-дорожня мережа, рівень обслуговування, транспортний потік, автомобільний транспорт.

## ABSTRACT

The master's qualification work consists of an introduction, 5 sections and general conclusions. The total volume of work is 92 pages, including 16 figs., 17 table., 34 literature sources.

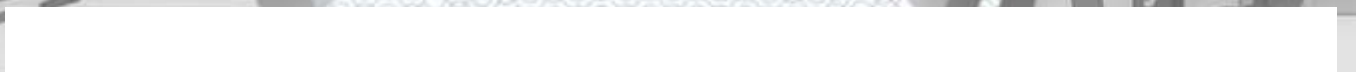
The object of study - the organization and management of traffic on the road network of large cities.

The work consists of five parts:

1. Analysis of methods for evaluating the effectiveness of traffic in urban conditions.
2. Theoretical prerequisites for increasing the level of road service in urban conditions.
3. Analysis of the effectiveness of traffic organization in the city of Vinnytsia.
4. Development of methods to increase the efficiency of traffic organization in urban conditions.
5. Occupational safety and security in emergencies.

The purpose of the study is to develop recommendations for improving the efficiency of traffic organization on the road network of large cities of Ukraine on the example of the city of Vinnytsia.

Key words: traffic, street and road network, level of service, traffic flow, motor transport.



## ЗМІСТ

ВСТУП .....	3
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ .....	5
1.1 Аналіз проблем руху транспорту в умовах великих міст .....	5
1.2 Забезпечення необхідного рівня обслуговування дорожнього руху в містах і його вплив на якість функціонування автомобільного транспорту .....	10
1.3 Визначення факторів, що впливають на відповідність фактичного рівня обслуговування дорожнього руху необхідному, для різних категорій міських вулиць в умовах насичених транспортних потоків .....	29
Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження .....	34
РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ ....	36
2.1 Визначення опорної вулично-дорожньої мережі міст .....	36
2.2 Класифікації типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху .....	45
Висновки до розділу 2 .....	48
РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УМОВАХ МІСТА ВІННИЦІ .....	49
3.1 Аналіз функціонування вулично-дорожньої мережі м. Вінниця .....	49
3.2 Виділення опорної вулично-дорожньої мережі .....	57
Висновки до розділу 3 .....	62
РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ .....	63
4.1 Формування комплексів заходів з урахуванням фактичних обмежень щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху .....	63
4.2 Розробка алгоритму з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах .....	68
Висновки до розділу 4 .....	73

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ .....	75
5.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника .....	75
5.2 Наїзд на пішохода: обов'язки водія та пішохода .....	76
5.3 Забруднення повітря вихлопними газами автомобілів .....	78
5.4 Транспортний шум .....	81
5.5 Оцінка рівня транспортного шуму та заходи щодо його зниження .....	83
Висновки до розділу 5 .....	85
ВИСНОВКИ .....	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	88
ДОДАТКИ .....	92

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Проблема організації та забезпечення безпеки дорожнього руху в великих містах стає все більш актуальною в зв'язку з триваючим зростанням автомобілізації і недостатнім розвитком транспортної інфраструктури міст [2, 7, 17, 27]. Збільшення інтенсивності руху, зростання числа дорожньо-транспортних пригод (ДТП), поширення заторових ситуацій на основних міських маршрутах - все це викликає необхідність як підвищення ефективності організації дорожнього руху так і підвищення ефективності транспортного обслуговування міст, а також гарантування дорожньої безпеки при функціонуванні автомобільного транспорту.

Системні затори призводять до великих витрат часу на поїздки громадян, як на індивідуальному, так і на громадському транспорті, що знижує рівень комфортності та безпеки цих поїздок [11, 28].

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана відповідно до Указу Президента України №722/2019 «Про Цілі сталого розвитку України на період до 2030 року» та проекту «Стратегії сталого розвитку України до 2030 року» [25].

Дослідження з теми кваліфікаційної роботи виконувались відповідно плану науково-дослідних робіт ВНТУ на 2020-2021 рр. та належать до основних наукових напрямків кафедри «Автомобілі та транспортний менеджмент» Вінницького національного технічного університету.

**Мета і завдання дослідження.** Метою дослідження є розробка рекомендацій щодо покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі великих міст України на прикладі міста Вінниця.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- виконати аналіз методів оцінювання ефективності дорожнього руху в міських умовах;
- дослідити шляхи підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах;



– виконати аналіз ефективності організації дорожнього руху в умовах міста Вінниці;

– розробити методику підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.

– розробити заходи з охорони праці при виконанні дослідницьких робіт.

**Об'єкт дослідження** – організація і управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі великих міст.

**Предмет дослідження** – способи підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.

**Методи досліджень.** Дослідження виконані з використанням методів системного підходу та системного аналізу теоретичних і практичних положень в сфері організації та забезпечення безпеки дорожнього руху, теорія прийняття рішень.

**Наукова новизна одержаних результатів.**

Набув подальшого розвитку метод підвищення ефективності дорожнього руху в міських умовах за показником рівня обслуговування.

**Практична значимість отриманих результатів.**

Результати наукового дослідження можуть використовуватися для розробки заходів з підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі великих міст України.

**Достовірність теоретичних положень** магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, обґрунтуванням прийнятих припущень при розробці розрахункових моделей.

**Апробація результатів роботи.** Деякі положення та результати роботи доповідались та обговорювались на L-й науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ (Вінниця: ВНТУ, березень 2021 р.) та на IX-ій міжнародній науково-практичній інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту» (Вінниця, ВНТУ, 14-15 квітня 2021 р.).

**Публікації.** Основні положення та результати досліджень за участі автора опубліковані в публікаціях [17, 18].

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

## 1.1 Аналіз проблем руху транспорту в умовах великих міст

Проблема організації руху транспорту у великих містах в умовах насичених транспортних потоків стає все більш актуальною в зв'язку зі збільшенням чисельності транспортних засобів і темпом автомобілізації, випереджаючим розвиток транспортної інфраструктури міст. Рух транспорту в умовах насичених транспортних потоків (ТП) характеризується інтенсивністю, складом і швидкістю руху, інтервалами між автомобілями і щільністю потоку. Внаслідок взаємодії автомобілів в потоці всі ці характеристики функціонально пов'язані один з одним. Діюча, історично сформована, дорожня мережа не справляється з існуючим навантаженням, що призводить до системних заторів, а отже, до великих витрат часу на поїздки громадян, як на індивідуальному, так і на громадському транспорті [28].

Затори, що виникають щодня в одних і тих же місцях - результат невідповідності пропускну́ї спроможності вулично-дорожньої мережі інтенсивностям руху транспорту. Неefективна система управління світлофорної сигналізацією, яка характеризується недостатнім розвитком автоматизованих систем управління дорожнім рухом, використанням застарілих технологій управління світлофорної сигналізацією, широким використанням диспетчерського (ручного) керування, лише посилює ситуацію, що склалася.

Розвитком теорії організації дорожнього руху займалися такі іноземні та вітчизняні дослідники, як D. Drew, N. Gartner, B. Kerner, R. Herman, A. K. Біруля, Н. Ф. Хорошилов, Н. Я. Говорущенко, Д. С. Самойлов, Д. А. Вуліс, В. І. Гук, В. К. Доля, О. О. Лобашов, М. М. Осетрін та багатьох інших.

Проблеми транспортного забезпечення міст призводять до серйозного погіршення якості життя населення і ускладнюють розвиток суб'єктів економічної діяльності. Раніше накопичений досвід вирішення транспортних проблем,

орієнтований на рух рівнями завантаження до 0,5-0,6, в сьогоднішніх умовах не працює, тому що принципово змінилися умови руху, значна частина магістральної мережі функціонує при завантаженнях близьких до 1,0 і навіть перевищують його [11].

Результатом є зниження якості автомобільних перевезень та їх надійності, ефективності роботи всіх міських служб, якості життя населення. Все вищесказане можна перевести в грошовий еквівалент, об'єднати загальним поняттям соціально-економічні втрати користувачів вулично-дорожньої мережі міста [5].

За даними міжнародного рейтингу TomTom, який включає міста з найбільшими проблемами в плані завантаженості автомобільних доріг. Київ піднявся з 12-го на 7-е місце в світі в рейтингу міст із найбільшими затримками часу для автомобільного трафіку в 2020 році (див. рис. 1.1). Середній показник затримки в столиці України становить 51%. Це означає, що 30-хвилинна поїздка автомобілем на порожніх дорогах перетворюється в 45-хвилинну поїздку за завантажених дорогах. Крім того, в Києві тільки 48 днів на рік спостерігався низький трафік - це найгірший показник серед топ-10 учасників рейтингу.

RANK BY FILTER	WORLD RANK	CITY	DAYS WITH LOW TRAFFIC	CONGESTION LEVEL 2020	CHANGE FROM 2019
1	1	<b>Moscow region (oblast)</b> Russia	66 days	54%	↓ 5%p
2	2	<b>Mumbai</b> India	133 days	53%	↓ 12%p
3	3	<b>Bogota</b> Colombia	116 days	53%	↓ 15%p
4	4	<b>Manila</b> Philippines	128 days	53%	↓ 18%p
5	5	<b>Istanbul</b> Turkey	80 days	51%	↓ 4%p
6	6	<b>Bengaluru</b> India	147 days	51%	↓ 20%p
7	7	<b>Kyiv</b> Ukraine	48 days	51%	↓ 2%p

Рисунок 1.1 – Рейтинг найбільших міст світу TomTom із найбільшими затримками часу для автомобільного трафіку у 2020 році [19]

На першому місці в рейтингу знаходиться Москва - 54% затримки, другий - індійський Мумбай (53%), третя - столиця Колумбії Богота (53%). Всього в топ-30 потрапили чотири українські міста - Одеса виявилася на 11 місці, Харків - на 13 місці, Дніпро - на 22 місці [19].

У рейтинг входять показники завантаженості автомобільних доріг більше ніж у двохстах містах світу. Індекс TomTom заснований на порівнянні середнього показника руху в місті в вільний час, і в період години пік.

У великих містах, що мають високоінтенсивний рух на магістральних вулицях, з'являється також додаткове навантаження від транзитного транспорту. Особливо актуально це для вулиць, які є продовженням доріг загальної мережі, через які відбувається введення транспортних потоків, в тому числі і транзитних, на міську вулично-дорожню мережу [10].

На окремих ділянках вулично-дорожніх мереж (ВДМ), крім основної проблеми «заторів», що виникає в великих містах в результаті зниження швидкості руху, викликаній впливом різних негативних факторів, набагато рідше, але теж має місце бути протилежна проблема - постійні затори провакують водіїв наганяти втрачений час і підвищувати швидкість руху.

Зростає вплив негативних чинників, викликаних збільшенням швидкості руху:

- збільшення рівня забруднення та шуму, а також зростання експлуатаційних витрат (зростає споживання палива і масла, прискорюється зношування шин);
- підвищення ризику помилки і швидке настання втоми водія;
- високий ризик скоєння ДТП в нічний час (фари ближнього світла висвітлюють ділянку протяжністю всього 30 м, і на швидкості понад 70 км / год зіткнення з раптово виниклою в освітленій зоні перешкодою стає неминучим) [9, 27, 28, 31];
- значне збільшення шуму транспортного потоку, що істотно знижує якість життя населення, особливо в міських зонах;
- погіршення зчеплення дорожнього покриття з шиною коліс.

Дослідження показали, що в загальному транспортному потоці не менше 15% водіїв ведуть автомобілі зі швидкістю, що перевищує швидкість транспортного потоку, а до 40% - допускають помилки в бік заниження швидкості свого автомобіля [10].

Доведено вплив швидкісного режиму на зносостійкість підшипників колінчастого вала - під час руху автомобіля на різних швидкостях, змінюється і ступінь зносу [11].

Необхідний пошук золотої середини, визначення таких оптимальних показників швидкості руху транспортного потоку, які забезпечували б максимальну пропускну здатність транспортної мережі в «години пік», і максимальну безпеку дорожнього руху (БДР) для всіх учасників дорожнього руху в періоди найменшої інтенсивності руху.

Вирішенню проблеми транспортної завантаженості міст може сприяти організація рівномірного руху автомобільного транспорту [8]. В існуючій науковій літературі термін «рівномірний рух транспорту» не використовується і не має точного визначення.

Проводячи аналогію руху транспортного потоку, як руху окремого матеріального об'єкта, введемо визначення «рівномірний рух транспорту», використовуючи класичне визначення рівномірного руху тіла в просторі [8]. Рівномірний рух транспорту - це рух, при якому величина швидкості транспортного потоку на всьому протязі шляху знаходиться у вузькому діапазоні або залишається незмінною, без різкого збільшення чи, навпаки, зниження швидкості до мінімальних значень (повної зупинки).

Швидкість руху і транспортні втрати залежать від рівномірності руху транспортного потоку по маршруту руху [10]. Рівномірний рух транспорту забезпечує найбільш ефективне використання пропускну здатності вулично-дорожньої мережі, істотно підвищується швидкість сполучення і відповідно зменшується час пересування, поїздка стає набагато більш комфортною, як для водія, так і для пасажирів. Рівномірний рух виключає необхідність зайвих

маневрів на дорозі - перебудовань, гальмувань тощо, і таким чином, збільшує безпеку руху, знижуючи конфліктні ситуації на дорозі між учасниками руху.

Часті зупинки автомобілів у перехресть значно прискорюють знос ходової частини транспортних засобів і руйнують дороги з утворенням зрушень і хвиль. Під час зупинки транспорту біля перехресть і в момент початку руху, двигуни, працюючи спочатку вхолосту, а потім на малих обертах, виділяють значну кількість вихлопних газів, що забруднюють повітря в містах. Викид шкідливих речовин в режимі затору в 2,5 рази більше, ніж при швидкості 40-60 км/год. Незалежно від типу легкового автомобіля, його віку та марки використовуваного палива мінімальні викиди оксиду азоту (найбільш небезпечно забруднююча речовина, що виділяється з відпрацьованими газами автомобілів), спостерігаються при рівномірному русі автомобіля без зупинок і розгонів в діапазоні швидкостей від 40 до 90 км / год [9, 10].

Позитивний ефект від забезпечення рівномірного руху транспорту очевидний, проте в міських умовах його реалізація є вкрай складним завданням. Рух в населених пунктах, як правило, характеризується високою інтенсивністю, частими початком руху і зупинкою, змінами швидкісних режимів, перестроюваннями і поворотами, інтенсивним рухом пішоходів, зменшеною дистанцією, значним обсягом інформації про дорожній рух [3]. Тобто мають місце дуже складні дорожні умови (ДУ). Все це необхідно враховувати при будівництві нової міської магістралі або реконструкції вже існуючої. Повинна бути створена і впроваджена у виробництво така методика, яка дозволила б органам управління дорожнім господарством забезпечувати необхідний рівень обслуговування дорожнього руху не тільки на окремих ділянках ВДМ, але і забезпечувати узгоджений рух потоку по всьому напрямку.

## 1.2 Забезпечення необхідного рівня обслуговування дорожнього руху в містах і його вплив на якість функціонування автомобільного транспорту

Із розвитком автомобілізації протягом десятиліть у світі накопичувався досвід забезпечення безпеки, ефективності і зручності дорожнього руху в містах і на автомобільних дорогах методами організації дорожнього руху із застосуванням відповідних технічних засобів. Цей процес буде тривати і далі відповідно до розвитку техніки і технології наземного транспорту, а також дорожнього і міського будівництва.

Наукові дослідження і практична інженерна діяльність в області організації руху дозволили нагромадити широкий комплекс вимог до дорожнього будівництва і специфічних інженерних розв'язок, що дозволяють одержати бажаний ефект при масовому русі транспортних засобів і пішоходів.

На автомобільних дорогах одночасно здійснюється рух багатьох однотипних автомобілів, що відрізняються технічним станом та їхньою завантаженістю. Цими автомобілями керують водії різного віку, різної кваліфікації, яким притаманні певні індивідуальні особливості керування автомобілем, причому автомобілі керуються більш чи менш вільним бажанням водія, маневри кожного із автомобілів можуть розглядатися як вірогідні події. Однак, у випадках, що відбуваються на вулицях великих міст або на швидкісній дорозі, дуже часто можна спостерігати велику кількість автомобілів, що рухаються в групі, підкоряючись необхідним вимогам, встановленим конкретними умовами, характерними для певної сукупності транспортних засобів, які рухаються по визначеній ділянці дороги руху. Сукупність автомобілів, які рухаються на дорогах, створюють транспортні потоки.

Транспортний потік, що рухається по вулично-дорожній мережі, складається з багатьох автомобілів, які мають різні початкові та кінцеві пункти руху.

У кожному транспортному потоці відбувається взаємодія між автомобілями:  
– встановлюються інтервали між автомобілями, величина яких залежить від швидкості руху, індивідуальних особливостей водія і дорожніх умов;

– виконуються обгони транспортних засобів, які їдуть з меншою швидкістю, транспортними засобами, що рухаються з більшою швидкістю;

– здійснюється гальмування автомобілів і їхня зупинка при виникненні на дорозі заторів.

Усе це (встановлення інтервалів, обгони, гальмування) створює перешкоди руху, знижує пропускну здатність, збільшує час, який необхідний для здійснення запланованого рейсу, підвищує витрати пального і т. п.

Управління складними об'єктами, якими є транспортні потоки, функціонування яких проходить під впливом зовнішнього середовища, є досить складним процесом. Розробка і дослідження ефективності різних методів управління транспортними потоками вимагають знання закономірностей поведінки транспортних потоків на вулично-дорожній мережі: розподілення інтервалів між транспортними засобами у потоці у заданому перерізі і часу проїзду по заданому перегону та ін.

Головним завданням під час управління транспортних потоків є вимога організувати дорожній рух так, щоб задоволення автомобільних потреб, що постійно зростають, проходило з мінімальними людськими та екологічним втратами. На сьогодні перевантаження транспортних мереж є однією з соціально-економічних проблем, яка виникла в багатьох розвинених країнах світу. Ось через що докладне вивчення причин, що викликають виникнення дорожніх заторів, стало необхідним.

Ефективне регулювання транспортними потоками можливе лише на основі розуміння природи процесів, що виникають у них.

Завантаження дороги безпосередньо впливає на ступінь зручності руху автомобіля по дорозі, на ефективність використання автомобільного транспорту і витрату пального.

Залежно від завантаження дороги розрізняють кілька характерних режимів транспортних потоків, пов'язуючи з ними поняття про рівні зручності руху. Режим руху характеризується швидкістю автомобілів (поодиноких і всього



поток), інтервалами між автомобілями в потоці, тобто щільністю потоку, кількістю обгонів та їхніми траєкторіями, режимами прискорення і гальмування.

Проведений аналіз характеристик руху [4, 9, 11] дає можливість встановити, що за нормальних дорожніх умов основним показником, який визначає час та інші характеристики транспортного потоку, є пропускна здатність дороги.

Пропускна здатність автомобільних доріг є складною і неоднозначною характеристикою дороги. На величину пропускної здатності впливає багато факторів, серед яких можна виділити: дорожні умови, характеристики транспортного потоку, психофізіологічні особливості водія, рівень кваліфікації водіїв, технічний стан транспортних засобів, погодні умови, час доби, соціальні фактори і т.д.

Усі ці фактори тісно пов'язані між собою. Величина пропускної здатності визначається співвідношенням тих чи інших факторів, які мають випадковий характер. Оскільки зміна всіх перерахованих факторів приводить до зміни швидкості руху й щільності потоку автомобілів, ці два показники впливають на величину пропускної здатності автомобільної дороги.

Пропускна здатність дороги характеризується максимальною інтенсивністю у частково пов'язаному режимі з деякими зниженнями швидкості порівняно зі швидкістю поодинокого автомобіля.

Інтенсивність руху на дорозі різко змінює стан транспортного потоку. Для характеристик різних станів потоку і умов руху В. Сильянов [16] увів поняття коефіцієнту завантаження рухом, під яким розуміє відношення інтенсивності руху  $\lambda$  до пропускної здатності ділянки дороги:

$$Z = \frac{\lambda}{\rho_{\max}}. \quad (1.1)$$

Розрізняють чотири рівні зручності табл. 1.1. Автомобілі в транспортному потоці залежно від наповнення, стану проїжджої частини, швидкості автомобілів можуть рухатися в певних межах своїх швидкісних можливостей.

Таблиця 1.1 – Рівні завантаження дороги і рівні зручності [13]

Рівень зручності руху	Інтенсивність руху на смузі авт./год	Стан транспортного потоку	Умови руху автомобілів	Коефіцієнт завантаження	Швидкість потоку відносно швидкості одиночного автомобіля	Умови роботи водія
А	360	Вільний	Взаємних перешкод немає	Менше 0,2	0,9...1,0	Легкі
Б	900	Частково пов'язаний	Утворення груп автомобілів, часті обгони	0,20...0,45	0,7..0,9	Нормальні
Г	1600	Насичений	Утворюється суцільний потік автомобілів, швидкість значно зменшується. Можливі затори	0,7...1,0	0.40...0.55	Напружені

У роботі [12] в залежності від щільності руху наведено п'ять видів транспортних потоків. За основний параметр, що характеризує відповідний стан транспортного потоку, була прийнята швидкість руху. Кожному стану відповідають певні умови руху (табл. 1.2).

Таблиця 1.2 – Стан транспортного потоку в залежності від швидкості та щільності руху

Стан транспортного потоку	Число смуг руху в обох напрямках			
	4		6	
	Щільність, авт./км	Швидкість, км/год	Щільність, авт./км	Швидкість, км/год
I	0-22	78-80	0-36	83-85
II	22-50	64-78	36-72	73-83
III	50-100	28-64	72-150	31-73
IV	100-140	12-28	150-210	14-31
V	140-200	5-12	210-300	4-14

За даними таблиці 1.2 у роботі [11] були побудовані графіки (рис.1.2 та 1.3) залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має дві і три смуги руху.

За наведеними графічними залежностями можна визначити, з якою швидкістю буде рухатися транспортний потік.

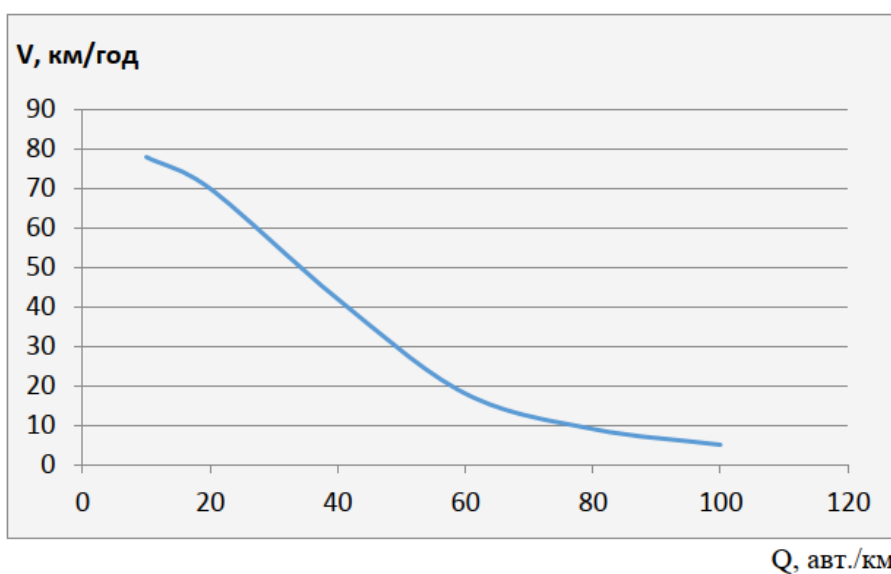


Рисунок 1.2 – Графік залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має дві смуги руху

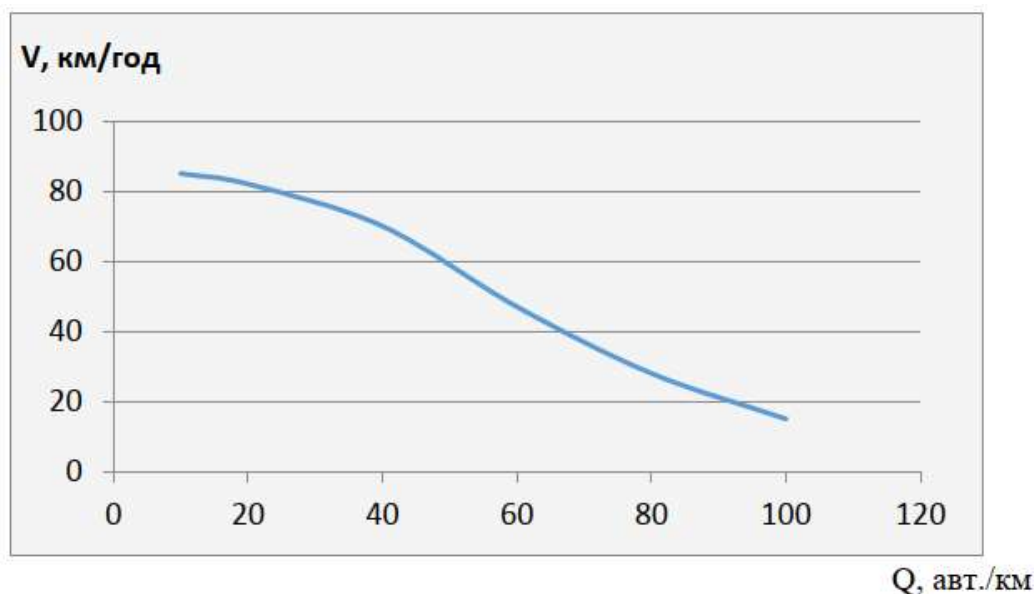


Рисунок 1.3 – Графік залежності швидкості транспортного потоку від його щільності для автомобільної дороги, яка має три смуги руху

Професор В. І. Гук вважає, що рівні зручності, передбачені В. Сильяновим у той час, коли рівень автомобілізації був нижче 100 авт. на 1000 мешканців, і в потоці переважали вантажні автомобілі, складаючи 50–70%, на сьогодні є неактуальними. У даний час склад і чисельність транспортних потоків різко помінялися і досягли міжнародного рівня, тому раціональніше використовувати градацію рівнів обслуговування, прийняту в американській практиці.

Транспортники США запропонували характеризувати певну комфортність руху в потоці рівнем обслуговування, рівнем наявного сервісу [13, 29-32].

У зарубіжних джерелах, зокрема [29-32], рівень обслуговування (level of service LOS) – це показник, що описує умови руху в транспортному потоці, як правило, з точки зору таких показників, як швидкість руху і час у дорозі, свобода маневрування, а також комфорт і зручність. Рівень обслуговування дорожнього руху – один з найбільш універсальних критеріїв оцінки якості дорожнього руху, запропонований в середині минулого століття американським ученим Д. Дрю [13].

Рівень обслуговування – це концепція, введена для того, щоб зв'язати якість транспортного обслуговування із заданою швидкістю потоку, що використовується для визначення того, наскільки добре працює транспортний засіб з точки зору користувача, а також з точки зору водіїв автомобілів, пасажирів міського пасажирського транспорту, велосипедистів і пішоходів, так званий мультимодальний рівень обслуговування [11]. Як правило, визначаються шість рівнів обслуговування, і кожному присвоюється буквене позначення від А до F, де рівень обслуговування А представляє найкращі умови роботи, а рівень обслуговування F – найгірше (див. табл. 1.3).

Рівень обслуговування А: вільний рух автомобілів у транспортному потоці при щільності  $q$  до 6 авт/км.

Рівень обслуговування В: комфортний рух автомобілів у потоці при щільності  $q=6-12$  авт/км.

Рівень обслуговування С: стабільний стан, але вже статичний рух у потоці при щільності  $q = 13 - 18$  авт/км.

Рівень обслуговування D: характеризує перехід до нестабільного руху, виникають групи із автомобілів, що поволі рухаються, щільність потоку  $q = 19 - 31$  авт/км.

Рівень обслуговування E: умови руху незадовільні, насичений потік на рівні пропускної здатності, стан руху нестабільний, щільність потоку  $q = 32 - 50$  авт/км.

Рівень обслуговування F: максимально насичений транспортний потік рухається повільно, швидкість потоку  $V_i < 0,5V_0$ , щільність потоку  $q = 51 - 100$  авт/км.

Рівень обслуговування в міських умовах на вулицях і дорогах з регульованим рухом, істотно відрізняється від рівня обслуговування на заміських дорогах або при нерегульованому русі.

Таблиця 1.3 – Рівень обслуговування дорожнього руху

Рівень обслуговування	Відношення середньої швидкості руху транспортних засобів до швидкості транспортних засобів в умовах вільного руху (%)
A	>90
B	70-90
C	50-70
D	40-50
E	33-40
F	< 33

Існує наступний порядок вимірювання рівня обслуговування на ділянці міської вулиці [11]:

- визначення об'єкта підвищення рівня обслуговування;

- визначення пікового годинного обсягу і пікового годинного коефіцієнта;
- визначення швидкості вільного потоку;
- класифікація типу і класу міської вулиці;
- визначення часу роботи, часу затримки, визначення середньої швидкості руху в години пік;
- аналіз даних для визначення рівня обслуговування.

Критерії визначення рівня обслуговування міської вулиці засновані на категорії міської вулиці і середньої швидкості руху.

Якщо обсяг попиту в будь-якій точці перевищує пропускну здатність сегмента, то розрахована середня швидкість руху може не бути хорошим показником рівня обслуговування. На вищевказаних етапах описується визначення категорії міської вулиці і середньої швидкості руху, і за допомогою наведеної таблиці 1.4 проводиться визначення рівня обслуговування міської вулиці [13].

Таблиця 1.4 – Рівень обслуговування для різних категорій міських вулиць США

Категорія міської вулиці	I	II	III	IV
Рівень обслуговування	Середня швидкість руху транспортних засобів (км/год)			
A	>72	>59	>50	>41
B	>56-72	>46-59	>39-50	>32-41
C	>40-56	>33-46	>28-39	>23-32
D	>32-40	>26-33	>22-28	>18-23
E	>26-32	>21-26	>17-22	>14-18
F	<26	<21	<17	<14

Визначення рівня обслуговування повністю засноване на середній швидкості руху, часу затримки, часу пробігу, категорії і класі міської вулиці. Для міських

вулиць, в якості мінімального, потрібно рівень обслуговування  $C$ , як зазначено в Highway Capacity Manual (2010) [33]. Це означає, що для різних міських вулиць середня швидкість руху варіюється від 40-56 км/год для міських вулиць I категорії до 23-32 км/год для міських вулиць IV категорії.

Основними характеристиками рівнів обслуговування є: коефіцієнт (рівень) завантаження дороги рухом, коефіцієнт швидкості, коефіцієнт насичення рухом [11].

Визначення основних параметрів:

1. Коефіцієнт завантаження руху  $Z$  обчислюється за формулою:

$$Z = \frac{N}{P}, \quad (1.2)$$

де  $N$  – інтенсивність руху (існуюча або перспективна), легк. авт./год;

$P$  – практична пропускна здатність, легк. авт./год.

2. Коефіцієнт швидкості руху  $C$  обчислюють за формулою:

$$C = \frac{V_z}{V_o}, \quad (1.3)$$

де  $V_z$  – середня швидкість руху при розглянутому рівні зручності, км/год;

$V_o$  – швидкість руху в вільних умовах при рівні зручності A, км/год.

3. Коефіцієнт насичення рухом  $P$  обчислюється за формулою:

$$P = \frac{q_z}{q_{\max}}, \quad (1.4)$$

де  $q_z$  – середня щільність руху при розглянутому рівні завантаження, авт./км;

$q_{\max}$  – максимальна щільність руху, авт./км.

Розрізняють шість рівнів обслуговування руху на дорогах, характеристика яких наведена в таблиці 1.5.

Таблиця 1.5 - Характеристика рівнів обслуговування дорожнього руху [11]

Рівень обслуговування дорожнього руху	Z	C	P	Характеристика потоку автомобілів	Стан потоку	Емоційне навантаження на водія	Зручність роботи водія	Економічна ефективність роботи дороги
A	<0,2	>0,9	<0,1	Автомобілі рухаються у вільних умовах, взаємодія між автомобілями відсутня	Вільний рух одиночних автомобілів з великою швидкістю	Низьке	Зручно	Неефективна
B	0,2-0,45	0,7-0,9	0,1-0,3	Автомобілі рухаються групами, здійснюється багато обгонів	Рух автомобілів малими групами (2-5 од.). Обгони можливі	Нормальне	Мало зручно	Мало ефективна
C	0,45-0,7	0,55-0,7	0,3-0,7	В потоці ще існують великі інтервали між автомобілями. Обгони заборонені	Рух автомобілів великими групами (5-14 од.). Обгони заборонені	Високе	Незручно	Ефективна
D	0,7-0,9	0,4-0,55	0,7-1,0	Суцільний потік автомобілів, які рухаються з малими швидкостями	Рух автомобілів у колонах з малою швидкістю. Обгони неможливі	Дуже високе	Дуже незручно	Неефективна
E	0,9-1,0	<0,4	1,0	Потік рухається з зупинками, виникають затори, режим пропускної здатності	Щільний	Дуже високе	Дуже незручно	Неефективна
F	>1,0	0,3	1,0	Повна зупинка руху, затори	Дуже щільний	Надзвичайно високе	Надзвичайно незручно	Неефективна

Згідно [13], рівень обслуговування А відповідає умовам, при яких відсутня взаємодія між автомобілями. Максимальна інтенсивність руху не перевищує 20%



від пропускної здатності. Водії вільні у виборі швидкостей. Швидкість практично не знижується з ростом інтенсивності руху. У міру збільшення завантаження число дорожньо-транспортних пригод дещо зменшується, але практично всі вони мають важкі наслідки.

При рівні обслуговування В проявляється взаємодія між автомобілями, виникають окремі групи автомобілів, збільшується число обгонів. При верхній межі обслуговування число обгонів найбільше. Максимальна швидкість на горизонтальній ділянці становить приблизно 80% від швидкості в вільних умовах, максимальна інтенсивність - 50% від пропускної здатності. Швидкості руху швидко знижуються в міру зростання інтенсивності. Число дорожньо-транспортних пригод збільшується зі зростанням інтенсивності руху.

При рівні обслуговування С відбувається подальше зростання інтенсивності руху, що призводить до появи колон автомобілів. Максимальна інтенсивність становить 75% від пропускної здатності. Число обгонів скорочується в міру наближення інтенсивності до граничної для даного рівня. Максимальна швидкість на горизонтальній ділянці становить 70% від швидкості в вільних умовах; відзначаються коливання інтенсивності руху протягом години. З ростом інтенсивності руху швидкості знижуються незначно. Загальна кількість дорожньо-транспортних пригод збільшується зі зростанням інтенсивності руху.

При рівні обслуговування D швидкість починає зменшуватися зі збільшенням завантаження дороги рухом, щільність руху різко зростає. Свобода маневрування автомобілів обмежена, і водії відчують зниження фізичного і психологічного рівня комфорту, навіть при невеликих дорожньо-транспортних пригодах виникають затори, пов'язані з відсутністю можливості об'їзду місць скоєння ДТП.

При рівні обслуговування D формується колонний рух з невеликими розривами між колонами. Обгони відсутні. Між проходами автомобілів в потоці переважають інтервали менше 2 с. Найбільша швидкість становить 50-55% від швидкості руху в вільних умовах. Швидкості руху з ростом інтенсивності змінюються незначно. Число дорожньо-транспортних пригод безперервно

збільшується і починає трохи знижуватися при інтенсивності руху, близькою до пропускної спроможності.

При рівні обслуговування Е автомобільна дорога працює на рівні межі пропускної здатності, автомобілі рухаються безперервної колоною з частими зупинками: швидкість в періоди їх руху становить 35-40% від швидкості в вільних умовах, а при заторах дорівнює нулю. Інтенсивність змінюється від нуля при виникненні «пробок» і заторів до інтенсивності, що дорівнює пропускної здатності.

Число дорожньо-транспортних пригод знижується в порівнянні з іншими рівнями завантаження, знижуються тяжкість і величина втрат від ДТП. Можуть мати місце ланцюгові дорожньо-транспортні пригоди за участю більше п'яти автомобілів.

При рівні обслуговування Е наявність ділянок злиття і переплетення транспортних потоків: інтенсивність в годину пік перевищує пропускну здатність дороги, виникає повна зупинка руху транспортного потоку і затори. Спостерігаються великі черги автомобілів перед ділянками заторів і повної зупинки руху. Повна зупинка потоку автомобілів відбувається, як правило, через виникнення дорожньо-транспортних пригод, коли кількість автомобілів, що прибувають до місця ДТП, значно перевищує кількість автомобілів здатних проїхати місце ДТП. Слід зазначити, що у всіх зазначених вище випадках зупинки руху коефіцієнт завантаження перевищує 1,0.

Рівні обслуговування, що характеризують зміну взаємодії автомобілів в транспортному потоці, слід використовувати:

- для обґрунтування числа смуг руху, як на всій дорозі, так і на її окремих ділянках (в першу чергу на тих, де в подальшому буде утруднена реконструкція: великі мости, ділянки, що проходять через щільну забудову; ділянки з високими насипами і естакадами тощо);

- для обґрунтування ширини смуги відведення: при розробці заходів щодо підвищення пропускної спроможності;

- для вибору засобів регулювання руху;

- при встановленні граничної інтенсивності для даної категорії дороги з урахуванням району її прокладання та руху на ній.

Найважливішим показником транспортного потоку є середня швидкість руху, яка визначає ефективність транспортної мережі.

Середня швидкість транспортного потоку визначається за такою формулою [6]

$$v = \frac{n \cdot L}{\sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n t_i} = \frac{L}{t_c}, \quad (1.5)$$

де  $n$  - кількість автомобілів в потоці;

$L$  - довжина ділянки дороги, км;

$t_i$  - час проїзду ділянки 1-м автомобілем з урахуванням всіх затримок, год;

$t_c$  - середній час проїзду ділянки дороги, год.

З використанням отриманих даних про середні швидкості сполучення можна передбачити передзаторовий стан потоку на певній ділянці дороги або вільний режим руху.

Важливим значенням швидкості при визначенні показників, що характеризують ефективність організації дорожнього руху є швидкість сполучення  $v_c$ , яка є вимірником часу доставки вантажів і пасажирів. Швидкість сполучення визначається як відношення відстані між точками сполучення до часу перебування в дорозі (часу сполучення). Цей же показник застосовується для характеристики швидкості по окремих ділянках доріг.

Темп руху є показником, зворотним швидкості сполучення, і вимірюється часом в секундах, що витрачається на подолання одиниці довжини шляху в кілометрах.

Графічно рівномірний рух транспортного потоку можна представити у вигляді діаграми, як показано на рис. 1.4.

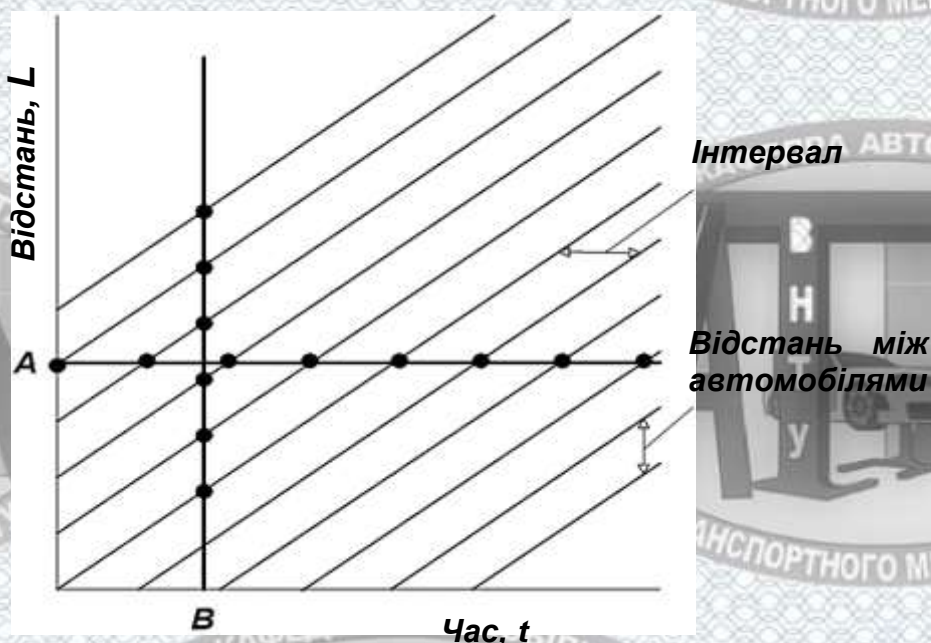


Рисунок 1.4 – Рівномірний транспортний потік [13]

На діаграмі рух окремого автомобіля представлено прямою лінією - траєкторією руху, тому що прийнято, що швидкість руху постійна, тоді нахил лінії відповідає швидкості руху  $v = dl/dt$ .

Сукупність траєкторій руху окремих автомобілів утворює транспортний потік. Точки на діаграмі відповідають положенню окремих автомобілів в відповідний момент часу.

Горизонтальна лінія А, перетинаючись з траєкторіями руху автомобілів, представляє інтервали часу, через які вони проїжджають певний перетин дороги (стаціонарно розташованого спостерігача). Кількість перетинів за одиницю часу визначає інтенсивність транспортного потоку - кількість транспортних засобів, що проходять за одиницю часу в одному напрямку на певній ділянці дороги.

Вертикальна лінія В, перетинаючись з траєкторіями руху окремих автомобілів, представляє відстані між ними. Кількість перетинів відповідає числу автомобілів, що знаходяться на певному відрізку дороги - щільності транспортного потоку.

Між швидкістю руху  $v_a$ , щільністю  $q_a$  та інтенсивністю  $N_a$  існує співвідношення, яке називається фундаментальним виразом транспортного потоку:

$$N_a = v_a \cdot q_a. \quad (1.6)$$

Всі три величини в цьому виразі знаходяться в складній взаємозалежності, тому не можна аналізувати його, фіксуючи одну з них і довільно змінюючи значення іншої (рис. 1.5).

Підвищення швидкості руху знижує щільність потоку, тому інтенсивність руху може зростати, залишатися постійною або знижуватися в залежності від відносної величини цих двох протидіючих чинників.

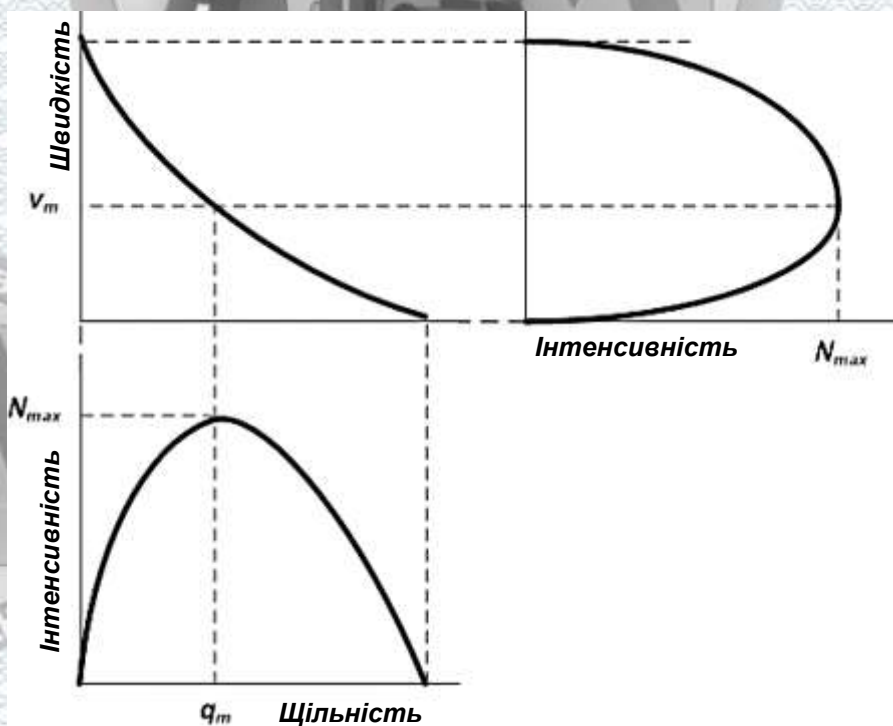


Рисунок 1.5 – Залежності між щільністю, швидкістю та інтенсивністю транспортного потоку [13]

Розглянемо діаграму транспортного потоку (рис. 1.6). Діаграма відображає зміну стану однорядного транспортного потоку переважно легкових автомобілів в залежності від збільшення його інтенсивності та щільності.

Ліва частина кривої (показана суцільною лінією) відображає стійкий стан потоку, при якому в міру збільшення щільності транспортний потік проходить фази вільного, потім частково пов'язаного і, нарешті пов'язаного руху, досягаючи точки максимально можливої інтенсивності, тобто пропускної здатності (точка  $N_{a \max} = P_a$ ). У процесі цих змін швидкість потоку падає - вона характеризується тангенсом кута нахилу  $\alpha$  радіуса-вектора, проведеного від точки 0 до будь-якої точки кривої, що характеризує зміну  $N_a$ . Відповідні точки  $N_{a \max} = P_a$  значення щільності та швидкості потоку вважаються оптимальними по пропускній здатності ( $q_{a \text{ opt}}$  і  $v_{a \text{ opt}}$ ).

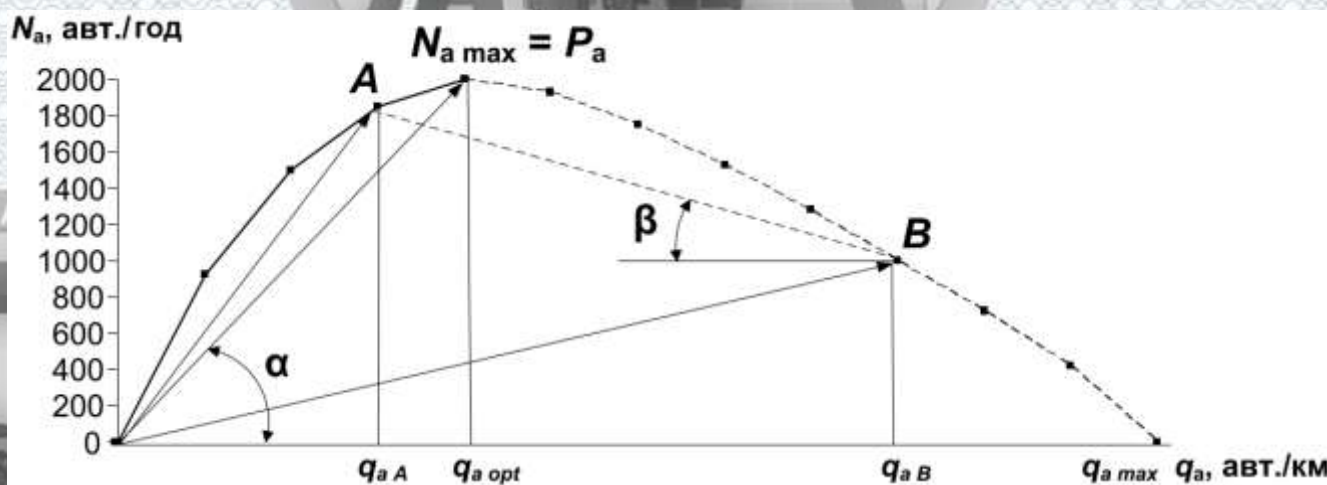


Рисунок 1.6 – Діаграма транспортного потоку

При подальшому зростанні щільності (за точкою  $P_a$  перегину кривої) потік стає нестійким (ця гілка кривої показана переривчастою лінією).

Різде гальмування потоку (що знаходиться в режимі, відповідному точці А) і перехід його в результаті гальмувань до стану по швидкості та щільності в положення, відповідне, наприклад, точці В викликає так звану «ударну хвилю»

(показана пунктиром АВ), що поширюється назустріч напрямку потоку зі швидкістю, яка характеризується тангенсом кута  $\beta$  (значення швидкості буде негативним).

«Ударна хвиля» є, зокрема, джерелом виникнення попутних ланцюгових зіткнень, типових для щільних транспортних потоків. У точках 0 і  $q_{a \max}$  інтенсивність руху  $N_a = 0$ , тобто відповідно на дорозі немає транспортних засобів або потік знаходиться в стані затору (нерухомості).

Основні параметри дорожнього руху впливають на пропускну здатність - максимальне значення інтенсивності дорожнього руху в одному напрямку на певній ділянці дороги за умови забезпечення безпеки дорожнього руху. Вона може вимірюватися в одному або в двох спрямованих у відповідних дорожніх і погодно-кліматичних умовах.

На пропуску здатність ділянок доріг в межах міських територій впливає велика кількість різних параметрів. Їх можна розділити на дві групи: геометричні та транспортні.

До геометричних параметрів відносяться:

- число смуг,  $n$ ;
- середня ширина смуги, м;
- поздовжній ухил, %;
- наявність паркування;
- наявність автобусних зупинок;
- радіус кривої в плані, м.

До транспортних параметрів належать:

- інтенсивність руху, прив. од / год;
- величина максимальної практичної пропускну здатності, прив. од / год;
- частка вантажних транспортних засобів в потоці, %;
- число маневрів автомобілів, що паркуються, маневр / год;
- швидкість, км / год.

Розрахункове значення пропускної здатності групи смуг в конкретних дорожніх умовах визначається за формулою:

$$P = P_{\max} \cdot n \cdot f_b \cdot f_{\text{ван}} \cdot f_i \cdot f_p \cdot f_{\text{авт}} \cdot f_{\text{тер}} \cdot f_R \cdot f_V, \quad (1.7)$$

де  $P_{\max}$  - максимальна практична пропускна здатність, прив. авт. / год;

$n$  - кількість смуг руху в одному напрямку;

$f_b$  - коефіцієнт, що враховує ширину смуги руху;

$f_{\text{ван}}$  - коефіцієнт, що враховує частку вантажних автомобілів в потоці;

$f_i$  - коефіцієнт, що враховує поздовжні ухили;

$f_p$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані транспортними засобами, які виконують маневри з паркування;

$f_{\text{авт}}$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані автобусами;

$f_{\text{тер}}$  - коефіцієнт, що враховує тип території;

$f_R$  - коефіцієнт, що враховує радіуси кривої в плані;

$f_V$  - коефіцієнт, що враховує обмеження швидкості.

Максимальна практична пропускна здатність  $P_{\max}$  встановлюється на еталонній ділянці при сприятливих погодно-кліматичних умовах і транспортному потоці, що складається тільки з легкових автомобілів.

При розрахунку пропускної здатності (ПЗ) багатосмугових вулиць слід пам'ятати, що ПЗ не збільшується пропорційно кількості смуг. Це пов'язано з тим, що на багатосмуговій вулиці при наявності перетинів на одному рівні, автомобілі часто маневрують для поворотів наліво і направо, розворотів на перетинах тощо.

Пропускна здатність групи смуг руху на регульованому перехресті  $P_{ji}$ , (од. / год,) визначається за формулою:



$$P_{ji} = \frac{S_{ji} \cdot g_j}{C}. \quad (1.8)$$

де  $S_{ji}$  - потік насичення групи смуг  $j$  протягом фази  $i$ , од. / год;

$g_j$  - ефективна тривалість фази регулювання  $i$ , с;

$C$  - тривалість циклу регулювання, с.

Розрахункове значення потоку насичення групи смуг (авт. / год) в конкретних дорожніх умовах визначається за формулою:

$$S = S_0 \cdot n \cdot f_{ш} \cdot f_{у} \cdot f_{п} \cdot f_A \cdot f_T \cdot f_H \cdot f_{лп} \cdot f_{лп} \cdot f_{лп} \cdot f_{лп} \cdot f_{лп}, \quad (1.9)$$

де  $S_0$  - ідеальний потік насичення, прив. авт. / год;

$n$  - кількість смуг руху в складі групи;

$f_{ш}$  - коефіцієнт, що враховує ширину смуги руху;

$f_{у}$  - коефіцієнт, що враховує поздовжні ухили;

$f_{п}$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані автомобілями при паркуванні;

$f_A$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані автобусами;

$f_T$  - коефіцієнт, що враховує тип території;

$f_H$  - коефіцієнт, що враховує нерівномірність завантаження смуг руху;

$f_{лп}$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані транспортними засобами, що повертають наліво, в складі групи смуг;

$f_{лп}$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані транспортними засобами, що повертають направо, в складі групи смуг;

$f_{лп}$  - коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані пішоходами при повороті наліво;

$f_{\text{пеш}} -$  коефіцієнт, що враховує перешкоди, створювані пішоходами при повороті направо.

Зниження максимальної пропускної здатності відбувається в результаті впливу різних чинників.

### **1.3 Визначення факторів, що впливають на відповідність фактичного рівня обслуговування дорожнього руху необхідному, для різних категорій міських вулиць в умовах насичених транспортних потоків**

Рух насичених транспортних потоків в містах не стабільний і змінюється в залежності від часу доби, складу транспортного потоку, напрямку руху (центр-околиця) і т.д. Для того щоб зрівняти рух транспортного потоку необхідно розуміти які чинники на нього впливають і призводять до нестабільності.

Рівень обслуговування дорожнього руху багато в чому визначається зміною пропускної здатності магістралей. На пропускну здатність впливає велика кількість чинників, що залежать від технічних параметрів автомобільної дороги, організації руху і управління нею та автомобілів. Тому, для отримання надійних даних про пропускну здатність, повинні бути враховані показники, що характеризують взаємодію між автомобілями в потоці в різних дорожніх умовах.

Розглянемо графік залежності пропускної здатності і швидкості руху (рис. 1.7). Найбільша пропускну здатність спостерігається на швидкості 50-60 км/год. Тому при зниженні швидкості руху знижується і пропускну здатність.

Незначне зниження швидкості потоку спостерігається при виникненні на перегонах різних перешкод для руху (припарковані автомобілі, зупинки громадського транспорту). Але найбільше зниження швидкості спостерігається при підходах до перехресть з другорядними вулицями і утворення справжнього затору при підході до рівнозначної магістралі.

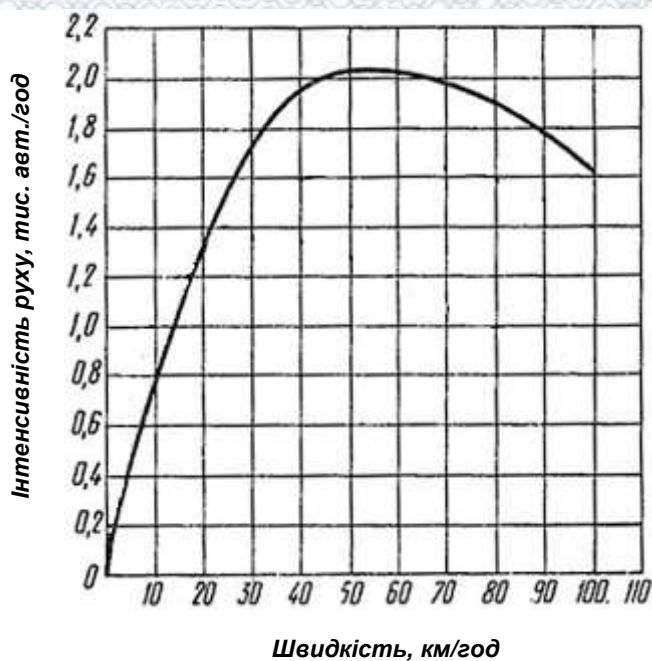


Рисунок 1.7 – Залежність пропускної здатності від швидкості руху автомобільного транспорту

Проходження перехрестя здійснюється тільки через кілька світлофорних циклів. Зрозуміло, що на магістралях регульованого руху затримки викликані зупинками під червоний сигнал світлофора, проте, додатковий негативний вплив надає і зниження пропускної здатності, пов'язане з впливом швидкісного режиму. Очевидна нерівномірність руху транспортного потоку.

Рівень обслуговування дорожнього руху багато в чому визначається швидкістю сполучення. На швидкість сполучення, а, отже, і на відповідність фактичного рівня обслуговування дорожнього руху необхідному для різних категорій міських вулиць впливає ряд факторів, які призводять до виникнення заторів в міському середовищі. Всі фактори умовно можна розділити на три групи: технічні рішення вулиці, організація і управління рухом, поведінка учасників руху (рис. 1.8).

**Основні фактори, що впливають на відповідність фактичного рівня обслуговування необхідному**

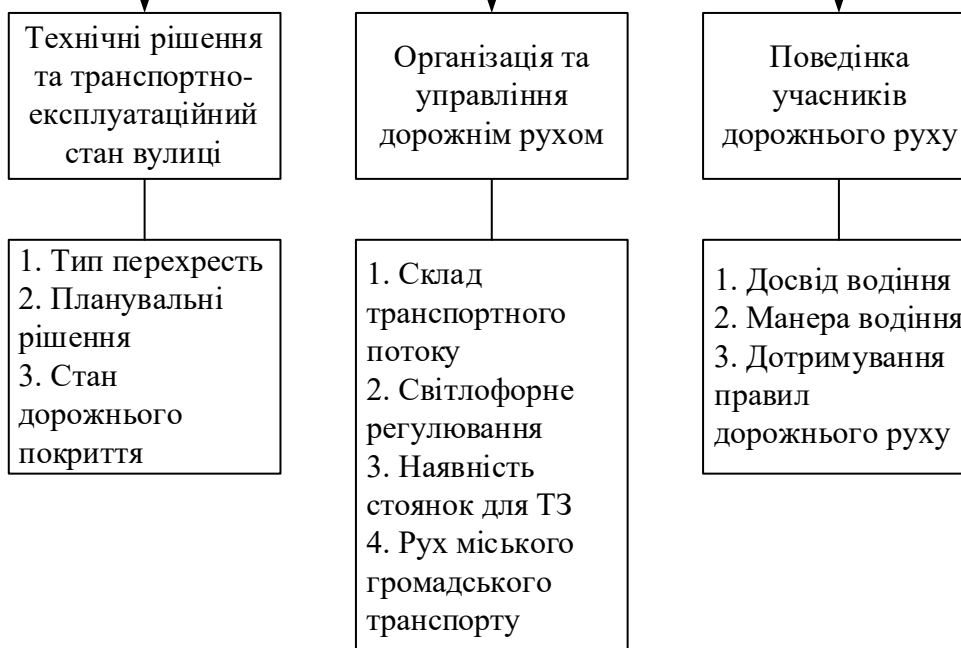


Рисунок 1.8 – Фактори, що впливають на відповідність категорії міської вулиці необхідного рівня обслуговування

Транспортна інфраструктура міста має суттєвий вплив на умови руху. Основна причина виникнення заторів на вулицях - обмеження пропускної здатності на перехрестях і наявність перешкод руху на перегонах (припарковані автомобілі, громадський транспорт, що зупинився на проїжджій частині і т. п.). Припаркований уздовж проїжджої частини транспортний засіб (ТЗ) завжди являє собою джерело конфліктних ситуацій [72].

Найбільші втрати часу і, отже, виражена нерівномірність руху, спостерігається на ділянках ВДМ, де є вуличні парковки, зупинки громадського транспорту і пішохідні переходи [8]. Тобто, перш за все, необхідно вживати заходів щодо забезпечення рівномірності пропускної здатності вулиці, з урахуванням типу перетинів і регулювання руху на них.

У свою чергу, на пропускну здатність і вибір заходів щодо її підвищення суттєво впливає склад руху. Його необхідно враховувати при всіх розрахунках,

пов'язаних з оцінкою рівня обслуговування руху н пропускної здатності. Склад руху на дорозі визначають на основі даних автоматизованого або візуального обліку руху, аналізу народногосподарського значення району, у якому функціонує дана дорога, та перспектив його соціального і промислового розвитку, аналізу парку автомобілів в організаціях, розташованих в зоні впливу дороги, рівень автомобілізації населення.

Як в часі, так і по відстані інтервали між автомобілями є характеристиками, від яких залежить пропускна здатність смуги руху. На величину інтервалів між автомобілями впливають швидкість та інтенсивність руху. Істотний перерозподіл інтервалів між автомобілями спостерігається при появі в потоці вантажних автомобілів або автобусів, які мають низькі швидкості руху.

Рух громадського транспорту значно впливає на режим руху всього транспортного потоку. Рух автобусів в режимі «гальмування-розгін-гальмування» призводить до різкої зміни швидкісного режиму транспортного потоку в зоні зупинок, зміни щільності потоку і збільшення числа маневрів [16].

Не менш важливу роль в забезпеченні призначеного рівня обслуговування грають організація руху та управління ним. Оскільки, навіть при відповідності пропускної здатності магістралі попиту на пересування, не ефективне світлофорне регулювання може призвести до постійних зупинок автомобілів і навіть до утворення заторів, що досить часто має місце в наших містах. Необхідна чітка координація роботи світлофорних постів, відсутність нерегульованих пішохідних переходів на перегонах між перехрестями тощо.

Слід зазначити, що одним з факторів неупорядкованого та небезпечно руху на вулицях наших міст є поведінка водіїв. Існує досить велика частка недосвідчених водіїв, викликана швидкими темпами автомобілізації, велика кількість учасників руху, які порушують правила дорожнього руху (ПДР) і використовують агресивну манеру водіння, все це в одному транспортному потоці призводить до його високої нестабільності, істотно підвищує аварійність. Необхідно враховувати важливість людського фактору і виробляти заходи щодо мінімізації його негативного впливу, як примусові - більш жорсткий контроль

дотримання ПДР, так і підвищення якості підготовки водіїв, формування коректної поведінки на дорозі [16]. Аналіз ДТП показав, що молоді водії в чотири рази частіше, ніж їх досвідчені колеги, стають учасниками дорожніх пригод. Це підтверджується і масовим анкетними опитуванням, проведеним в ряді європейських країн, які показали, що приблизно 30% аварій на дорогах доводиться на водіїв молодше 21 року [22].

Існує ряд факторів, що впливають на вибір швидкості водієм:

- технічні та транспортно-експлуатаційні характеристики дороги (категорія, геометричні параметри, стан покриття і т.д.);
- транспортний засіб (тип; співвідношення між масою і потужністю; комфортабельність; рівень шуму і т.д.);
- умови дорожнього руху (щільність; загальний рівень швидкості; склад транспортного потоку);
- дорожня обстановка (час доби (день / ніч), ландшафт, дорожнє освітлення, дорожні знаки і сигнали, обмеження швидкості, наявність радарів і т.д.);
- психофізіологічні зміни водія (вплив погодних умов, наприклад, сонячного світла);
- водій (вік; стать; час реакції; особистісні установки);
- обставини, з якими пов'язане перебування в дорозі - мета поїздки (транзитні перевезення, місцеві перевезення і т.д.);
- можливий вміст алкоголю в крові;
- присутність пасажирів;
- здатність до сприйняття небезпеки;
- пошук гострих відчуттів і т.д.

Для підвищення рівня обслуговування дорожнього руху до необхідних для кожної категорії міської вулиці значень, необхідний аналіз впливу перерахованих вище факторів. Перш за все, необхідно провести оцінку зміни пропускної здатності по протяжності вулиці, побудувати графік пропускної здатності і

виявити вузькі місця, там де має місце різке зменшення пропускнуої здатності. Проаналізувати організацію руху на дорозі, подивившись, наскільки ефективно організовано рух по смугах, раціональні чи заборони маневрів і т. д. Дуже важливо оцінити ефективність регулювання руху на всій магістралі, а не тільки на окремому перехресті, подивитися наскільки скоординовано управління рухом.

Аналіз проблем, що виникають на перехрестях і перегонах вулично-дорожньої мережі по цілому напрямку руху в крупному місті – це шлях, що дозволяє оцінити як в цілому функціонує дорожня система, а не тільки окремі її елементи будь то світлофорний об'єкт, найбільш завантажений напрямок руху транспортного потоку або зупинний пункт міського пасажирського транспорту. Такий підхід дозволяє брати до уваги всі можливі негативні чинники, що впливають на швидкість сполучення, а отже, на рівень обслуговування дорожнього руху.

При розробці заходів по реорганізації дорожнього руху на проблемних ділянках мережі, робота також повинна вестися по цілим маршрутами руху автомобільного транспорту. Це дозволить дійсно пропрацювати існуючу ситуацію і оцінити майбутню перспективу, а не віднести проблему на сусіднє перехрестя, як це часто відбувається зараз.

### **Висновки до розділу 1 та постановка задач дослідження**

1. Затори на вулично-дорожньої мережі – характерне явище для великих та найбільших міст України і світу. Раніше накопичений досвід вирішення транспортних проблем у сьогодишніх умовах не працює, оскільки принципово змінилися умови руху – значна частина вулично-дорожньої мережі функціонує на критичних рівнях завантаження.

2. Рівень обслуговування дорожнього руху – показник ефективності організації дорожнього руху. Аналіз проблем руху транспорту у великих містах в умовах насичених транспортних потоків показав, що необхідне вироблення заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.

3. На відповідність міської вулиці необхідного рівня обслуговування впливає значна кількість факторів. Проаналізувавши фактори впливу, можна запропонувати напрямки підвищення основних параметрів дорожнього руху, а саме рівня обслуговування.

Виходячи з цього об'єктом дослідження є організація і управління дорожнім рухом на вулично-дорожній мережі великих міст; предметом дослідження – способи підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.

Метою дослідження є розробка рекомендацій щодо покращення ефективності організації дорожнього руху на вулично-дорожній мережі великих міст України на прикладі міста Вінниці.

Для досягнення поставленої мети у подальших розділах даної роботи необхідно вирішити такі завдання:

- дослідити шляхи підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах;
- виконати аналіз ефективності організації дорожнього руху в умовах міста Вінниці;
- розробити методика підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах.
- розробити заходи з охорони праці при виконанні дослідницьких робіт.



## РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ПЕРЕДУМОВИ ПІДВИЩЕННЯ РІВНЯ ОБСЛУГОВУВАННЯ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

### 2.1 Визначення опорної вулично-дорожньої мережі міст

Перенасичення рухом вулично-дорожньої мережі – одна з основних проблем сучасних мегаполісів. Вулично-дорожня мережа будь-якого міста є основоположною одиницею транспортного переміщення і транспортної системи в цілому, яка виконує завдання сполучного елемента транспортної інфраструктури. Якість її функціонування безпосередньо пов'язана з умовами руху транспорту і пішоходів на ній, визначаючи рівень її завантаження (відношення інтенсивності руху до пропускної спроможності ділянки дороги), а також рівень обслуговування (комплексний показник економічності, зручності та безпеки руху, що характеризує стан транспортного потоку).

Важливо визначити елементи ВДМ, на яких необхідно в першу чергу здійснювати заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху, так звану опорну мережу вулиць і доріг. Саме по цих вулицях реалізується основна частина транспортних кореспонденцій з високою інтенсивністю. Найбільше навантаження в цій «роботі» на себе бере опорна мережа. У сучасній практиці поняття «опорна мережа» використовується досить часто, однак, нормативною документацією не регламентується.

Рух транспорту у великих містах підпорядкований цілком строгим правилам і відбувається по опорній мережі міста. Опорна вулично-дорожня мережа – виділені в червоних лініях території загального користування з метою розміщення швидкісних доріг, магістральних вулиць міського значення безперервного руху, магістральних вулиць міського значення регульованого руху I класу [26]. Опорна мережа кожного великого міста цілком конкретно визначена – це найбільш затребувані напрями, зазвичай з центру міста до околиць (спальних районів) та назад, а також дугові зв'язки між великими планувальними районами, за якими щодня рухаються тисячі автомобілів у великих містах.

Проблемні місця на опорній транспортній мережі міста, пов'язані з її перенасиченням і утворенням заторів, виникають, як правило, в одних і тих же «вузьких» місцях і потребують вирішення. Зазвичай це локальні заходи. Однак відсутній єдиний підхід до організації та виділенню безпосередньо самої опорної мережі. Прокладання опорної мережі по основних магістралях міста не вірно. Виконуючи функції загальноміських і міжрайонних зв'язків на ці магістралі припадає основний обсяг руху і при зростаючому транспортному попиті їх пропускна здатність швидко вичерпується, виникають затори. Слід зазначити, що необхідність перевірки міських вулиць є важливим завданням при підвищенні рівня обслуговування дорожнього руху.

На ділі ми часто спостерігаємо розбіжність номінальної опорної мережі міста і фактичної. Необхідно створити методику, яка дозволяла б визначати за різними критеріями, яку вулицю-або частина вулиці слід віднести до опорної, а яку ні.

У складі вулично-дорожньої мережі виділяють магістральні вулиці та дороги загальноміського, районного та місцевого значення [15]. Виділення опорної мережі – загальноприйнятий підхід до забезпечення функціональної класифікації міських вулиць, тобто залежно від їх цільового призначення. Зазначені підходи дозволять визначити реальну опорну мережу і проводити по ній оцінку рівня обслуговування з метою подальшого його підвищення.

Пропонується наступний алгоритм формування опорної вулично-дорожньої мережі міста (рис. 2.1).

В якості вихідних даних для алгоритму використовується перелік міських вулиць з мінімальним набором показників – інтенсивність руху по смугах і дані про розподіл кореспонденцій. Вибір цих показників обумовлений тим, що інтенсивність руху і розподіл кореспонденцій по ВДМ дозволяють зробити загальний висновок про характеристику стану дорожнього руху, напрямку і кількості транспортних зв'язків, тобто отримати дані, що описують транспортний потік всередині міста. Для отримання достовірної інформації про стан і характеристику транспортного потоку потрібно провести натурні дослідження.

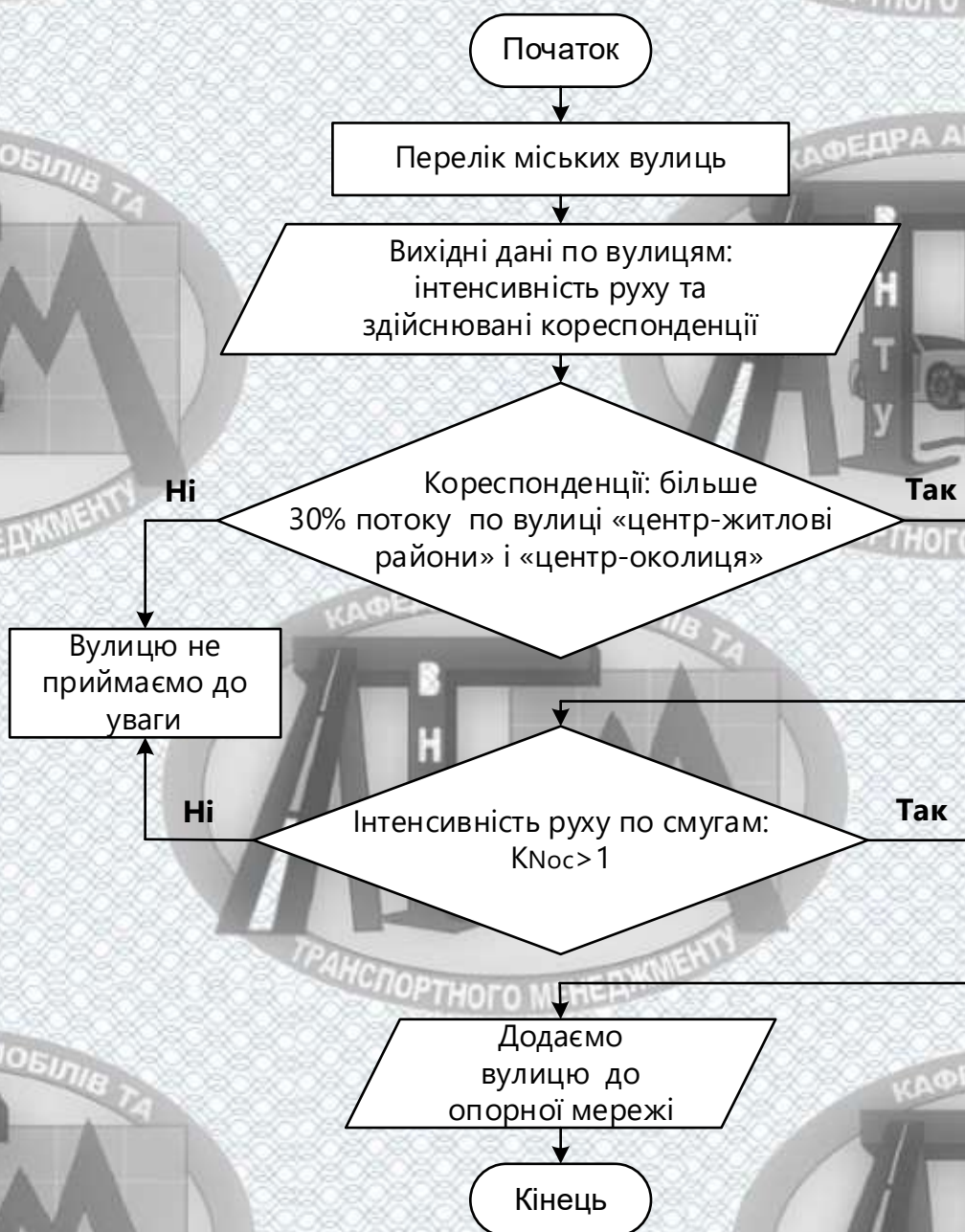


Рисунок 2.1 – Алгоритм формування опорної вулично-дорожньої мережі

На першому етапі враховуються здійснювані по міській вулиці кореспонденції [6]. При проведенні обстеження транспортних кореспонденцій доцільно всю територію міста розділити на умовні транспортні райони (УТР). Кількість умовних транспортних районів визначається на основі формули:

$$\Omega = \frac{Q \cdot x_1}{20 \cdot x_2}, \quad (2.1)$$

де  $Q$  – чисельність населення міста, тис. чол.;

$x_1$  - коефіцієнт, що характеризує щільність населення (табл. 2.1);

$x_2$  – коефіцієнт, що характеризує щільність магістральної ВДМ (табл. 2.2).

Таблиця 2.1 – Залежність коефіцієнта  $x_1$  від щільності населення [28]

Щільність населення, тис. чол. /км <sup>2</sup>	Значення				
	Менше 2	2-4	4-6	6-8	Більше 8
$x_1$	1,0	0,95	0,90	0,80	0,70

Таблиця 2.2 – Залежність коефіцієнта  $x_2$  від щільності магістральної ВДМ [28]

Щільність магістральної ВДМ, тис. чол. /км <sup>2</sup>	Значення				
	Менше 0,4	0,4-1,4	1,4-2,3	2,3-4,2	Більше 4,2
$x_2$	1,0	1,2	2,0	4,0	12,0

На підставі проведеного обстеження готуються графічні матеріали, що виконуються на підоснові міста, розділеної на умовні транспортні райони:

- схеми основних маршрутів транспортних потоків. На схемі наносять маршрути, що реалізують кореспонденції. Інтенсивність руху по маршрутах проставляють у вигляді значень в натуральних і наведених транспортних одиницях з відповідним номером маршруту;

- картограму інтенсивності руху по ВДМ. На схемі в масштабі наносять значення інтенсивності руху, що отримуються складанням інтенсивності руху всіх маршрутів, що проходять по даному елементу ВДМ;

- картограму швидкостей сполучень за елементами ВДМ. На схемі в масштабі вказують значення швидкостей сполучення легкових і вантажних автомобілів.

Для того щоб продовжити вибір, потрібно, щоб частка потоку розглянутої міської вулиці, що здійснює кореспонденції «центр-околиця» і «центр-житлові райони», становила понад 30% всього потоку, що проходить по вулиці, тобто відповідати класифікаційним зв'язкам магістралей загальноміського значення [15].

Міська вулиця, яка не підходить під зазначені параметри виключається з подальшого вибору.

На етапі оцінки частки транспортних кореспонденцій доцільно використовувати макромодель розглянутого міста, наприклад, побудовану в середовищі PTV Visum. Програмний комплекс Visum є транспортно-інформаційною системою, що включає в себе більше 1000 функцій.

Основні можливості Visum:

- представлення результатів транспортного аналізу і планування на рівні регіону;
- моделювання існуючих і прогнозованих транспортних потоків в регіоні з можливістю деталізації до внутрішньоміського рівня і агрегування до національного рівня;
- інтеграція аналізу громадського транспорту, індивідуального транспорту, а також транспортного попиту;
- включення в модель всієї мережі автомобільних доріг і мережі маршрутів громадського транспорту;
- аналіз і оцінка потоків всіх можливих видів транспорту;
- підготовка транспортних прогнозів на основі сценаріїв «що буде, якщо ...».

На другому етапі перевіряється інтенсивність руху по смугах. Інтенсивність руху – це число транспортних засобів, що проїжджають через перетин дороги за одиницю часу.

Формула розрахунку приведеної інтенсивності руху (в залежності від типу транспортного засобу) [13]:

$$N_{np} = \sum_{i=1}^n N_i \cdot K_{npi}, \quad (2.2)$$

де  $N_i$  – інтенсивність руху автомобілів даного типу;  
 $K_{npi}$  – коефіцієнти приведення для даної групи автомобілів;  
 $n$  – кількість типів автомобілів.

Інтенсивність транспортного потоку також можна розрахувати, з використанням процентного співвідношення транспортних засобів в потоці. В цьому випадку приведена інтенсивність руху [28]:

$$N_{npi} = \frac{\sum_{i=1}^n N_i \cdot P_i \cdot K_{npi}}{100}, \quad (2.3)$$

де  $P_i$  – відсоткова частка транспортних засобів  $i$ -го типу в потоці.

Для перевірки міської вулиці на включення до складу опорної вулично-дорожньої мережі пропонується вводити коефіцієнт  $K_{N_{oc}}$ , що враховує вплив інтенсивності руху транспортного потоку. Потрібно, щоб значення зазначеного коефіцієнта було більше або дорівнювало середньозваженій інтенсивності (з урахуванням поправочного коефіцієнта  $k$ ), яка спостерігається по всій вулично-дорожньої мережі розглянутого міста [12]

$$K_{N_{oc}} = \frac{N_i}{k \cdot N_{cp}}, \quad (2.4)$$

де  $N_i$  – інтенсивність руху на ділянках розглядуваного маршруту, авт./добу;  
 $k$  – поправочний коефіцієнт, значення якого виходить в результаті аналізу функціонування ВДМ міста (1,2-1,5);  
 $N_{cp}$  – середньозважена інтенсивність руху, авт./добу.

Якщо розглянута міська вулиця підходить за всіма критеріями, її включають до переліку міських магістралей, що становлять опорну мережу міста. Після того,

як опорна мережа сформована, слід провести обстеження ефективності функціонування дорожнього руху не окремо по кожній міській вулиці, а по всій мережі. На підставі розрахунків будується графік пропускної здатності дорожньої мережі. На ділянках міських вулиць, де відбувається обмеження середньої швидкості руху, необхідно приводити заходи щодо підвищення швидкості сполучення, а, отже, приводити показник рівня обслуговування дорожнього руху на них до значень, зазначеним у таблицях 1.3-1.5 для різних категорій міських вулиць.

## **2.2 Класифікації типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху**

Аналіз умов руху на відповідність призначеного рівня обслуговування дозволяє визначати ділянки на опорній вулично-дорожній мережі, що обмежують середню швидкість руху, а, отже, знижують рівень обслуговування. На таких ділянках доцільно проводити заходи щодо підвищення рівня обслуговування до необхідного.

Заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху умовно можна розділити на три групи: розвиток транспортної інфраструктури; організація дорожнього руху; управління рухом (рис. 2.2).

Заходи щодо розвитку транспортної інфраструктури (рис. 2.2) включають в себе [27]:

1. Будівництво нових об'єктів транспортної інфраструктури:
  - нових ділянок вулиць різних категорій;
  - нових штучних споруд на ВДМ (транспортні розв'язки, шляхопроводи, тунелі, мости, позавуличні пішохідні переходи);

**Класифікація заходів з підвищення рівня обслуговування  
дорожнього руху**

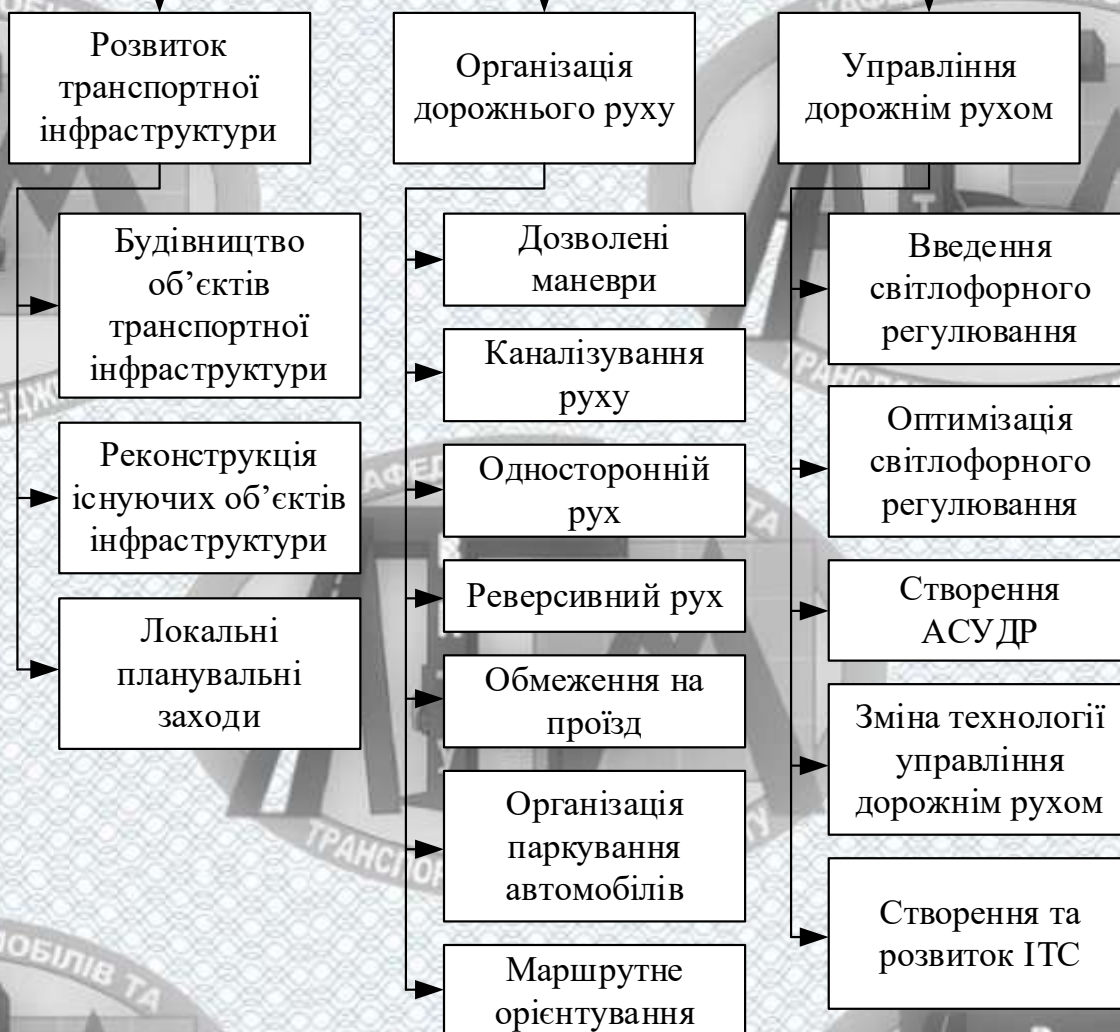


Рисунок 2.2 – Класифікація заходів з підвищення рівня обслуговування  
дорожнього руху

**2. Реконструкція існуючих об'єктів інфраструктури:**

- суттєва зміна геометричних параметрів елементів ВДМ (збільшення кількості смуг руху, зміна конфігурації перехресть тощо);
- будівництво штучних споруд на існуючій ВДМ (транспортні розв'язки, шляхопроводи, тунелі, мости, позавуличні пішохідні переходи).

**3. Локальні планувальні заходи:**

- облаштування розширень на підходах до перехресть і на перехрестях;



– облаштування напрямних островців для поділу смуг руху для потоків різного спрямування;

- облаштування напрямних островців для фізичного поділу потоків;
- облаштування «кишень» для зупинок громадського транспорту;
- облаштування розширень проїжджої частини для паркування автомобілів;
- облаштування спеціальних місцевих проїздів для лівоповоротних потоків;
- облаштування місць для розвороту до пішохідних переходів та перехресть з виділенням спеціальної смуги.

Заходи з організації дорожнього руху включають в себе:

1. Зміна дозволених маневрів (напрямоків руху) на перехрестях:

- заборона повороту наліво;
- заборона повороту направо;
- заборона розвороту.

2. Каналізування руху:

- поділ смуг руху за напрямками руху;
- поділ смуг руху за видом учасників руху (виділення смуги для міського пасажирського транспорту, заборона руху вантажного транспорту по лівих смугах тощо);

- поділ смуг зі швидкісним режимом руху.

3. Організація одностороннього руху.

4. Організація реверсивного руху.

5. Введення обмежень на проїзд різних типів транспортних засобів (на всю проїжджу частину або на окремі смуги руху):

- вантажного транспорту різної вантажопідйомності (повної маси);
- легкового та вантажного транспорту.

6. Зміна організації паркування транспортних засобів:

- зміна способу паркування транспортних засобів;
- обмеження паркування транспортних засобів (тимчасові, просторові);
- заборона паркування транспортних засобів;

– заборона зупинки транспортних засобів.

7. Маршрутне орієнтування.

Заходи з управління рухом включають в себе:

1. Введення світлофорного регулювання.

2. Оптимізація роботи світлофорних постів за рахунок зміни пофазного роз'їзду і циклів регулювання.

3. Створення автоматизованих систем управління дорожнім рухом (АСУДР).

4. Зміна технології управління:

– впровадження ситуаційного управління;

– впровадження адаптивного управління;

– перехід від локального до мережевого управління.

5. Створення і розвиток інтелектуальних транспортних систем (ІТС).

### **2.3 Фактори і обмеження щодо вибору типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху**

Вибір заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху повинен проводитися з урахуванням основних факторів і обмежень, які умовно можна розділити на 10 груп (рис. 2.3):

- просторові (територіальні);
- інтенсивності руху різних учасників;
- зміна інтенсивності руху;
- попит на виконання поворотних маневрів різного напрямку;
- існуюча організація руху на даній ділянці;
- існуючі способи управління рухом на перехрестях;
- організація зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту;
- організація паркування транспортних засобів;
- економічні;
- тимчасові - терміни реалізації пропонованих заходів.

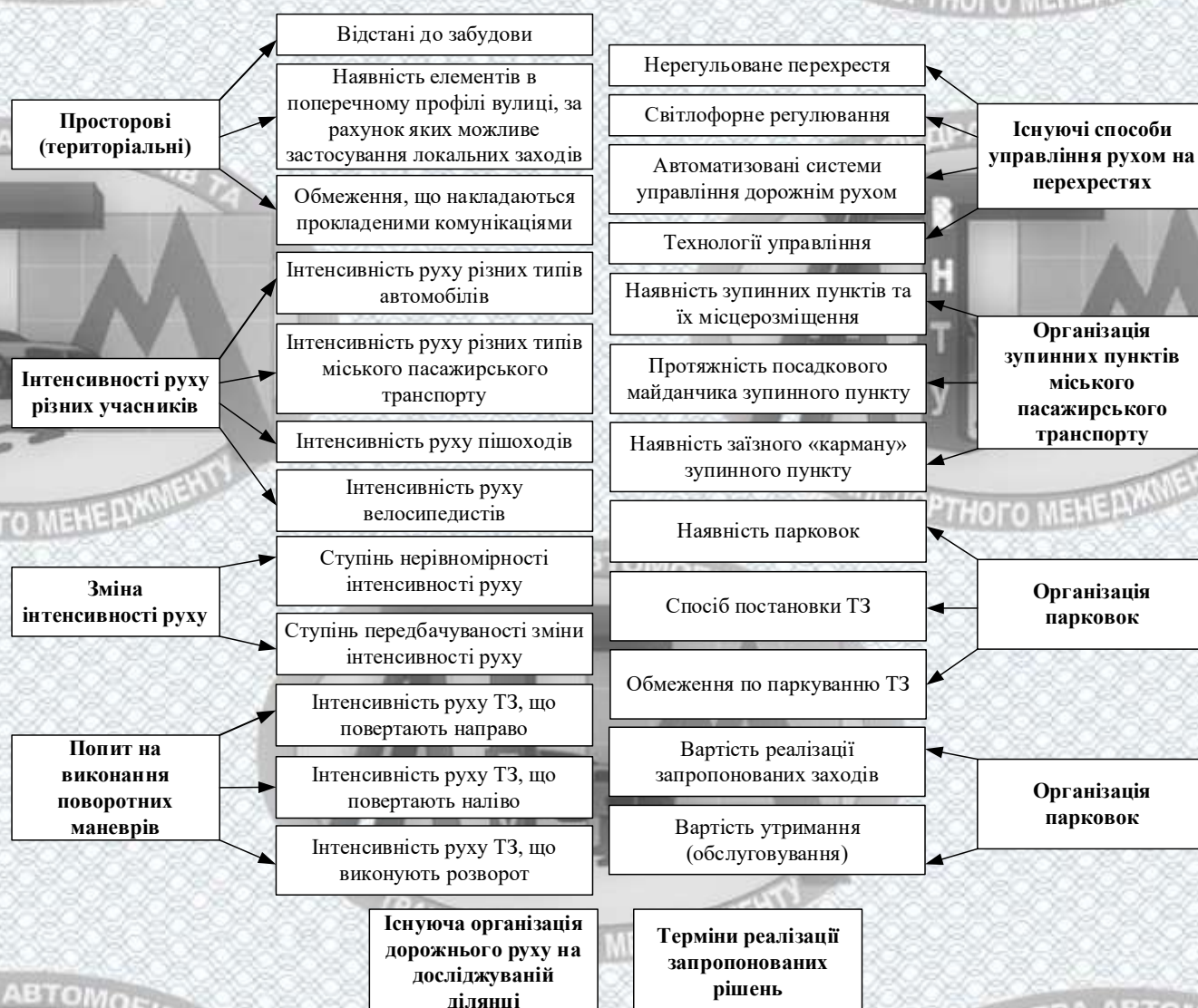


Рисунок 2.3 - Основні фактори і обмеження щодо вибору типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху

1. Просторові (територіальні) обмеження - фізична можливість внесення змін в існуючі планувальні рішення елементів ВДМ. До таких факторів належать:

- відстані до забудови (в червоних лініях);
- наявність елементів в поперечному профілі вулиці, за рахунок яких можливе застосування локальних заходів;
- обмеження, що накладаються розміщенням інженерних комунікацій.

2. Інтенсивності руху різних учасників:

- інтенсивність руху різних типів автомобілів;

- інтенсивність руху різних видів маршрутного транспорту загального користування;

- інтенсивність руху пішоходів;

- інтенсивність руху велосипедистів.

3. Зміна інтенсивності руху:

- ступінь нерівномірності інтенсивності руху;

- ступінь передбачуваності змін інтенсивності руху.

4. Попит на виконання поворотних маневрів різного напрямку:

- інтенсивність руху транспортних засобів, що повертають направо;

- інтенсивність руху транспортних засобів, що повертають наліво;

- інтенсивність руху транспортних засобів, що виконують розворот.

5. Існуюча організація руху на даній ділянці вулиці.

6. Існуючі способи управління рухом на перехрестях розглянутої ділянки вулиці:

- нерегульоване перехрестя;

- світлофорне регулювання;

- автоматизована система управління дорожнім рухом;

- технології управління.

7. Організація зупинних пунктів міського маршрутизованого транспорту:

- наявність зупинних пунктів і їх місце розташування;

- протяжність посадкового майданчика зупинного пункту;

- наявність заїзної «кишені» на зупинному пункті.

8. Організація паркування транспортних засобів:

- наявність парковки;

- спосіб постановки транспортних засобів;

- обмеження з паркування транспортних засобів.

9. Економічні:

- вартість реалізації запропонованих заходів;

- вартість утримання (обслуговування).

10. Терміни реалізації запропонованих заходів.

Терміни реалізації пропонованих заходів накладаються на вибір заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху, обмеження дозволяють транспортним інженерам вибирати заходи з урахуванням існуючої чи перспективної ситуації на вулично-дорожній мережі.

## Висновки до розділу 2

1. Запропоновано алгоритм формування опорної вулично-дорожньої мережі міста. Основними критеріями цього алгоритму виступають здійснювані по ВДМ кореспонденції та інтенсивність руху.

2. На сформованій, за допомогою алгоритму, опорній мережі слід провести обстеження ефективності функціонування дорожнього руху не окремо по кожній міській вулиці, а по всій мережі. Для ділянок, що обмежують швидкість руху, доцільно підготувати заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.

3. Заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху умовно можна розділити на три групи: розвиток транспортної інфраструктури; організація дорожнього руху; управління рухом.

4. Запропонований алгоритм визначення опорної вулично-дорожньої мережі та класифікація заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху і обмеження по їх вибору складають основу методики підвищення рівня обслуговування дорожнього руху у містах.

## РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В УМОВАХ МІСТА ВІННИЦІ

### 3.1 Аналіз функціонування вулично-дорожньої мережі м. Вінниця

Вінниця – місто в центральній частині України, адміністративний центр Вінницької області і Вінницького району з населенням понад 370 тис. жителів (дані на 2019 рік), що дає можливість віднести Вінницю до великих міст України.

Магістральна вулична мережа міста за своєю схемою близька до радіально-кільцевої. На сьогодні магістральна мережа міста потребує удосконалення. Найбільші транспортні потоки концентруються на центральному мостовому переході. Крім того, через центральний міст пролягає основний транспортний зв'язок міста: Хмельницьке шосе - вул. Соборна - вул. Брацлавська - Немирівське шосе. Від основного зв'язку відгалужуються напружені магістралі: вулиці Пирогова, Князів Коріатовичів, Данила Нечая, Київська, які забезпечують транспортні зв'язки віддалених районів з центральною частиною міста.

Основу структури вуличної мережі міста складають магістральні вулиці загальноміського і районного значення. До магістралей загальноміського значення відносяться наступні вулиці:

- Хмельницьке шосе - забезпечує зв'язок західних районів з центром міста і є продовженням міжнародної автомобільної дороги "М-12 Стрий -Тернопіль - Кіровоград - Знам'янка. На всьому протязі має 4 смуги руху;

- Соборна - просп. Коцюбинського – є продовженням Хмельницького шосе і забезпечує зв'язок центральних районів міста із залізничним вокзалом. Ширина проїжджої частини - 4 смуги;

- Пирогова забезпечує зв'язок південно-західних районів з центром міста, має вихід на Гніванське та Сабарівське шосе. Проїжджа частина - 4-6 смуг;

- Магістратська – зв'язок центральних районів з виходом на Хмельницьке шосе. Проїжджа частина - 2-4 смуги;

– Чорновола – перемичка між вулицями Київська та Першотравнева.  
Проїжджа частина - 4 смуги;

– Київська – є продовженням міжнародної автомобільної дороги М-21 Житомир - Могилів-Подільський. Забезпечує зв'язок північних районів з центром міста. Проїжджа частина 4-6 смуг;

– Брацлавська - Лебединського є продовженням вул. Київської і має вихід на Немирівське шосе. Проїжджа частина - 2-4 смуги;

– Немирівське шосе — забезпечує зв'язок східних районів з центром міста і є продовженням міжнародної автомобільної дороги М-12 Стрий - Тернопіль - Кіровоград - Знам'янка. Проїжджа частина 4-6 смуг.

Окрім магістралей загальноміського значення в місті розвинена мережа районних магістралей, яка включає такі основні вулиці: Сергія Зулінського, Академіка Янгеля, Максима Шимко, Чехова, Ватутіна, Данила Нечая, Князів Коріатовичей, Келецька, Андрія Первозванного, 600-річчя, проспект Юності та інші.

З метою вивчення параметрів транспортних потоків в м. Вінниці проведено обстеження інтенсивності руху транспорту на основних перехрестях та виконане оцінювання дорожніх умов за пропускнуою здатністю.

Пропускна здатність нестала за довжиною дороги. Максимальне її значення характерне для сприятливих умов руху транспортних засобів, мінімальне спостерігається на складних ділянках доріг із недосконалими параметрами плану і профілю, за наявності в потоці різнотипних автомобілів, за складних погодних умов (ожеледь, снігопад, туман тощо).

Максимальна пропускна здатність автомобільних доріг залежно від числа смуг проїзду така (легкових авт./год.) [28]:

Двосмугові дороги	2000 в обох напрямках
Трисмугові дороги	4000 в обох напрямках
Автомобільні магістралі:	
Чотири смугові	2000 по одній смузі
Шести смугові	2200 по одній смузі

Коефіцієнти зведення інтенсивності руху різних транспортних засобів до легкового автомобіля беруть за даними таблиці 3.1. Для проміжних значень вантажопідйомності транспортних засобів коефіцієнт зведення визначають інтерполяцією.

Таблиця 3.1 - Зведені коефіцієнти інтенсивності руху [28]

Тип транспортного засобу	Коефіцієнт	Тип транспортного засобу	Коефіцієнт
Мотоцикл без коляски, мопед	0,5	Автопотяг вантажопідйомністю, т	
Мотоцикл з коляскою	0,75	≤12	3,5
Легковий автомобіль	1,0	12-20	4,0
Вантажний автомобіль вантажопідйомністю, т		20-30	5,0
≤2	1,5	>30	6,0
2-6	2,0	Колісний трактор з причепом вантажопідйомністю, т	
6-8	2,5	≤10	2,5
8-14	3,0	> 10	3,5
> 14	3,5	Автобус *	3,0
		Автобус зчеплений (здвоєний)	5,0

\*Примітка: Для мікроавтобусів та автобусів малої місткості коефіцієнти інтенсивності руху приймаються як для відповідних вантажних транспортних засобів.

Вплив дорожніх умов, складу транспортного потоку та погодних умов призводить до зниження пропускної здатності дороги. Відповідно до цього



пропускна здатність дороги  $A$  в конкретних дорожньо-транспортних умовах визначатиметься формулою:

$$A = \beta A_{\max} \quad (3.1)$$

де  $\beta$  – підсумковий коефіцієнт зниження пропускної здатності ( $\beta = \beta_1, \beta_2, \beta_3, \dots, \beta_{15}$ ) – часткові коефіцієнти пропускної здатності [28];

$A_{\max}$  – максимальна пропускна здатність дороги, авт./год.

Інтенсивність і склад руху є основним показником, що впливає на такі важливі параметри автомобільної дороги, як ширина проїзної частини, конструкція дорожнього одягу, конструкція дорожніх розв'язок тощо. Вона характеризує рівень завантаження дороги і рівень зручності руху і є визначальним показником для призначення класності або так званої категорії дороги.

Для встановлення форми поліпшення дорожніх умов проводять облік інтенсивності руху з подальшим її прогнозуванням на розрахунковий період.

Найпростіший спосіб обліку інтенсивності руху, який досить поширений в дорожніх організаціях, – візуальний.

Інтенсивність визначають для кожного напрямку руху з розподілом на групи: легкові автомобілі, вантажні автомобілі, автобуси, автомобілі з причепами. Дані обліку записують у спеціальну відомість.

Для інтенсивності руху понад 250 авт./год. облік здійснюють два обліковці. Вважають, що достовірні результати підрахунку інтенсивності руху можна отримати за 3-годинний період обліку.

Зведення інтенсивності руху різних транспортних засобів до легкового автомобіля виконують за формулою:

$$N = \sum N_i \cdot k_i \quad (3.2)$$

де  $N_i$  – кількість транспортних засобів даного типу;

$k_i$  – зведений коефіцієнт інтенсивності руху для транспортних засобів даного типу (табл. 3.1).

За результатами проведених обстежень одержані розміри руху транспорту у вузлах з урахуванням структури потоків. За цими даними побудована картограма існуючої інтенсивності руху транспорту в приведених одиницях за годину для всієї магістральної вуличної мережі міста.

Нижче в таблиці 3.2, за результатами обстежень, наведені показники навантаження і пропускної спроможності деяких магістралей міста.

Аналіз наведених показників дозволяє зробити висновок, що на сьогодні магістральна мережа міста перевантажена транспортом, пропускна спроможність вичерпана практично для усіх магістральних вулиць. Це свідчить про те, що магістральна мережа міста потребує подальшого розвитку (будівництва нових вулиць) і реконструкції в цілому.

Протяжність магістральних вулиць і доріг становить 126,7 км, в тому числі магістралей загальноміського значення - 39,0 км. Щільність магістральної мережі становить 2,1 км/км<sup>2</sup>.

На даний час у місті Вінниці функціонують 3 мостові переходи через річку Південний Буг:

– по вул. Оводова – з'єднує центральну частину міста від вул. Оводова та вул. Князів Коріатовичей в районі Старого міста, служить для пропуску автомобільного транспорту та пішохідного руху. Повна довжина мосту становить 154,26 м, ширина проїзної частини та тротуарів  $9 + 2 \times 1,8$  м. Ширина проїзної частини мостової споруди не забезпечує сучасних потреб міста і потребує збільшення шляхом реконструкції мосту;

– по вул. Соборній (центральної) – з'єднує центральну частину міста від вул. Соборна та просп. Коцюбинського, служить для пропуску автомобільного транспорту та пішохідного руху.

– по вул. Чорновола – служить для пропуску автомобільного транспорту та пішохідного руху. Повна довжина мосту становить 195 м, ширина проїзної частини та тротуарів  $13,6 + 2 \times 1,75$  м.

Таблиця 3.2 - Показники транспортного навантаження ВДМ м. Вінниця

Ділянки вуличної мережі міста	Кількість смуг руху в двох напрямках	Загальна максимальна інтенсивність руху в приведених одиницях за годину в одному напрямку	Пропускна спроможність ділянки вулиці в одному напрямку в приведених одиницях за годину	Коефіцієнт навантаження ділянки вулиці (використання пропускнуої спроможності)
1	2	3	4	5
<i>вул. Немирівське шосе:</i>				
- від виходу з міста до вул. Чехова	6	1150	2400	0,48
- від вул. Чехова до вул. М. Шимко	4	1780	1600	1,11
<i>вул. Лебединського</i>	4	2600	1400	1,86
<i>вул. Брацлавська:</i>				
- від вул. Привокзальна до вул. Данила Нечая	4	1550	1400	1,11
<i>вул. Ватутіна</i> від вул. Чехова до виходу з міста	4	850	1000	0,85
<i>вул. Бучми</i> від вул. Чехова до вул. Привокзальна	2	100	450	0,22
<i>вул. Чехова:</i>				
- від Немирівського шосе до вул. Ватутіна	3	1200	750	1,60
- від Немирівського шосе до вул. Чумацька	2	700	500	1,40
<i>вул. Чумацька</i> від вул. Чехова до вул. Бучми	2	210	450	0,47
<i>вул. М. Шимко</i> від вул. Ватутіна до вул. Лебединського	4	950	1000	0,95
<i>вул. Привокзальна:</i>				
- від вул. Лебединського до вул. Кутузова	2	475	500	0,95
- від вул. Лебединського до пл. Привокзальна	4	1260	1000	1,26
<i>вул. Батозька:</i>				
- від пл. Привокзальної до вул. Стрілецька	3	885	750	1,18
- від вул. Стрілецька до вул. Гонти	3	690	750	0,92
<i>вул. Липовецька</i>	2	550	500	1,10
<i>вул. С. Зулінського:</i>				
- від виходу з міста до вул. Липовецька	4	325	1000	0,33
- від вул. Липовецька до вул. Київська	3	690	750	0,92
<i>вул. Лесі Українки</i>	3	1000	750	1,33
<i>вул. Максимовича</i>	2	835	500	1,67

Продовження табл. 3.2

1	2	3	4	5
<i>вул. Київська:</i>				
- від виходу з міста до вул. Тарногородського	6	1000	2100	0,48
- від вул. Тарногородського до вул. Гонти	4	1050	1330	0,79
- від вул. Гонти до вул. Академіка Янгеля	4	1460	1200	1,22
- від вул. Академіка Янгеля до пл. Героїв Чорнобиля	4	1400	1200	1,17
<i>вул. Стрілецька</i>				
<i>вул. Академіка Янгеля</i>	4	650	1000	0,65
<i>вул. 50-річчя Перемоги</i>	4	1000	1000	1,00
<i>просп. Коцюбинського:</i>				
- від пл. Героїв Чорнобиля до вул. 50-річчя Перемоги	6	1335	1700	0,79
- від вул. 50-річчя Перемоги до пл. Привокзальна	4	1435	1150	1,25
<i>вул. Данила Нечая:</i>				
- від вул. Брацлавська до вул. Московська	4	1030	950	1,08
- від вул. Московська до вул. Молодогвардійська	2	1060	500	2,12
<i>вул. Московська</i>				
<i>вул. 8-го Березня:</i>	2	410	450	0,91
- від вул. Московська до пл. С. Наливайка	2	410	450	0,91
- від пл. С. Наливайка до майдану Незалежності	3	1360	750	1,81
<i>вул. Князів Коріатовичів:</i>				
- від вул. Соборна до вул. Оводова	2	900	500	1,80
- від вул. Оводова до вул. Пирогова	2	1550	500	3,10
<i>вул. Соборна:</i>				
- від пл. Героїв Чорнобиля до вул. Магістратська	4	1425	1150	1,24
- від вул. Магістратська до вул. Театральна	4	1120	1100	1,02
<i>вул. Чорновола</i>				
<i>вул. Магістратська:</i>	4	2130	1400	1,52
- від вул. Соборна до вул. Театральна	2	1150	500	2,30
- від вул. Театральна до вул. Л. Українки	4	2100	1400	1,50
- від вул. Л. Українки до Хмельницького шосе	4	1170	1400	0,84
<i>вул. Театральна</i>				
<i>вул. Хмельницьке шосе:</i>	3	935	750	1,25
- від пл. Гагаріна до вул. 40-річчя Перемоги	2	1870	800	2,34
- від вул. 40-річчя Перемоги до вул. 600-річчя	4	1600	1550	1,03
- від вул. 600-річчя до просп. Юності	4	1550	1550	1,00
- від просп. Юності до Барського шосе	4	1400	1550	0,90
- від Барського шосе до виходу з міста	4	1100	1600	0,69
<i>вул. Пирогова:</i>				
- від пл. Гагаріна до вул. Келецька	4	1940	1330	1,46
- від вул. Келецька до вул. 30-річчя Перемоги	4	1420	1200	1,18
- від вул. 30-річчя Перемоги до Сабарівського шосе	4	1175	1330	0,88
- від Сабарівського шосе до Гніваньського шосе	4	780	950	0,82
- від Гніваньського шосе до просп. Юності	2	320	500	0,64
- від просп. Юності до с. Пирогово	2	146	500	0,29

Продовження табл. 3.2

	2	3	4	7	8
<i>вул. Келецька:</i>					
- від вул. Пирогова до вул. 600-річчя		4	1335	1200	1,11
- від вул. 600-річчя до просп. Юності		4	1055	1200	0,88
- від просп. Юності до вул. Миколи Ващука		4	800	900	0,89
<i>вул. 600-річчя:</i>					
- від Хмельницького шосе до вул. Келецька		4	820	950	0,86
- від вул. Келецька до вул. Андрія Первозванного		3	460	750	0,61
<i>просп. Юності:</i>					
- від Хмельницького шосе до вул. Келецька		4	840	1000	0,84
- від вул. Келецька до вул. Андрія Первозванного		4	815	1000	0,82
<i>вул. Барське шосе</i>					
		4	620	800	0,78
<i>вул. В. Порики:</i>					
- від вул. Стельмаха до просп. Юності		2	283	500	0,57
- від просп. Юності до вул. 600-річчя		2	247	500	0,49
<i>вул. Андрія Первозванного:</i>					
- від вул. Миколи Ващука до вул. 600-річчя		2	319	500	0,64
- від вул. 600-річчя до вул. Пирогова		2	414	500	0,83
<i>Гніваньське шосе</i>					
		4	431	1200	0,36
<i>Сабарівське шосе</i>					
		2	465	500	0,93

Таким чином, магістральна вулична мережа міста Вінниці знаходиться в незадовільному технічному стані, а саме:

- недостатня кількість мостових переходів через річку Південний Буг для пропуску автомобільного транспорту;
- не відповідність технічних параметрів ряду магістральних вулиць (габарит проїзної частини, тротуару тощо) існуючому навантаженню від транспортних потоків;
- незадовільний технічний стан дорожнього покриття проїзної частини;
- відсутність альтернативних шляхів об'їзду центральної частини міста;
- відсутність належного обладнання на деяких вулицях та перехрестях вулиць (дорожніх знаків, розмітки на проїзній частині та інших засобів організації дорожнього руху).

### 3.2 Виділення опорної вулично-дорожньої мережі

Для виділення опорної вулично-дорожньої мережі м. Вінниця було досліджено розподіл транспортного потоку міста за основними кореспонденціями.

У табл. 3.3, як приклад, наведені дані розподілу транспортного потоку по кореспонденціям для деяких великих магістралей м. Вінниця.

Таблиця 3.3 – Розподіл транспортного потоку по кореспонденціям, %

Магістраль	«центр-околиця»	«центр-житлові райони»	сумарно прямий напрямок	«окраїна - центр»	«житлові райони-центр»	сумарно зворотній напрямок
Немирівське шосе	14,5	5,7	20,2	17,2	5,9	23,1
Хмельницьке шосе	20,4	38	58,4	20,5	38,9	59,4
вул. Київська	14,4	57,6	72,1	8,4	55,8	64,2
вул. Пирогова	6,9	21,1	28	5,8	25,7	31,5
вул. Московська	6,8	37,9	44,7	7,3	40,6	47,9

Наведені дані показують, що частка кореспонденцій на розглянутих магістралях м. Вінниця значно перевищує значення, вказане в алгоритмі визначення опорної вулично-дорожньої мережі (пункт 2.1), або близько до нього. Перевірка основного каркасу ВДМ міста за вказаним алгоритмом дозволила виділити опорну вулично-дорожню мережу (рис. 3.1).

Для перевірки відповідності фактичного рівня обслуговування дорожнього руху бажаному, була створена картограма середніх швидкостей руху транспортного потоку по вулично-дорожньої мережі (рис. 3.2).

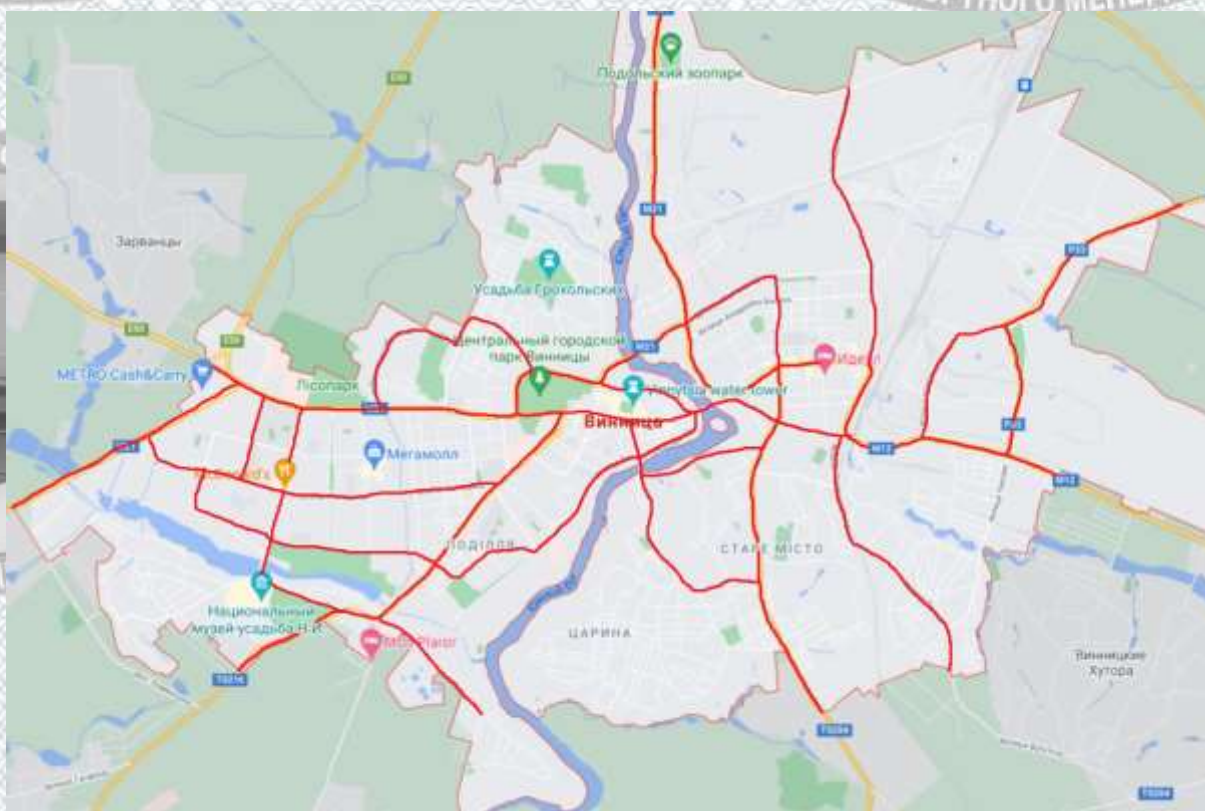


Рисунок 3.1 – Опорна вулично-дорожня мережа м. Вінниця

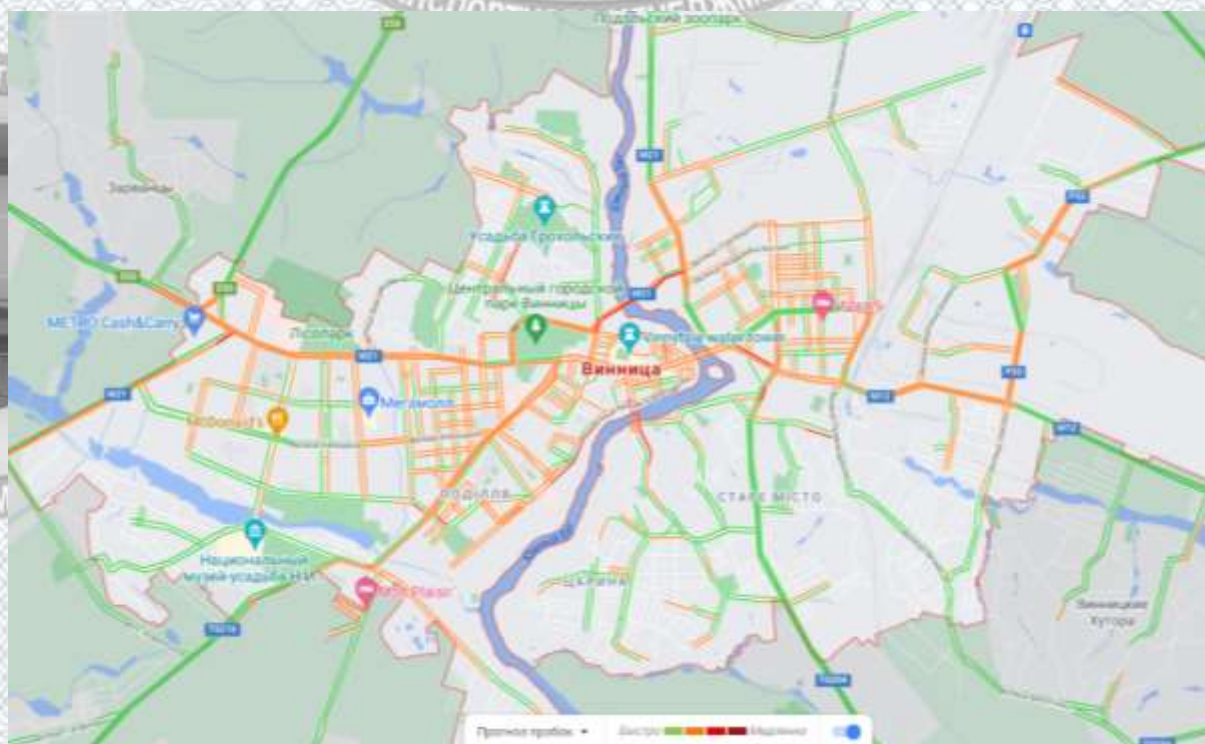


Рисунок 3.2 – Картограма швидкостей м. Вінниця

Таблиця 3.4 – Значення рівнів обслуговування на магістральних вулицях

Рівень обслуговування дорожнього руху	Середня швидкість руху транспортних засобів, км/год
A	60-50
B	50-40
C	40-30
D	30-24
E	24-18
F	менше 18

Згідно наведеній таблиці рівень обслуговування дорожнього руху на магістральних вулицях загальноміського значення регульованого руху (визначається виходячи з значень середньої швидкості руху.

Як видно з картограми, на одній і тій же магістральній вулиці рівень обслуговування дорожнього руху може варіювати в межах від рівня А - найвище значення рівня обслуговування, до рівня F - найгірше значення.

За отриманими значеннями умов руху транспортного потоку був проведений аналіз ділянок опорної вулично-дорожньої мережі, які найбільш обмежують середню швидкість руху транспортного потоку, а отже, знижують рівень обслуговування дорожнього руху.

ВДМ м. Вінниця має розвинену систему доріг переважно меридіанного зв'язку. Коли попит на пересування збільшується – рівень завантаження на основній ВДМ досягає 100%. Аналіз умов руху транспорту показав, що найбільш завантаженими ділянками ВДМ є перетини основних магістралей, а також об'єкти зі світлофорним регулюванням розташовані на перетині основних вулиць і доріг загальноміського значення в період пікових навантажень. У пікові періоди пропускна здатність даних перетинів перевищує 100%, що сприяє великому числу транспортних заторів.



На даний момент світлофорні об'єкти м. Вінниця у проблемних точках не забезпечують оптимальні умови руху транспорту з урахуванням поточного транспортного попиту. Дані об'єкти потребують як в оптимізації світлофорного регулювання за рахунок зміни тривалості фаз і циклу регулювання, так і в оптимізації пофазного руху і зміни геометричних параметрів перехрестя з організації додаткових смуг руху.

Найбільш вираженими проблемними вулицями є:

- 1) Хмельницьке шосе;
- 2) вул. Пирогова;
- 3) вул. Князів Коріатовичів;
- 4) вул. Магістратська;
- 5) Немирівське шосе;
- 6) вул. Замостянська;
- 7) вул. 600-річчя;
- 8) вул. Київська;
- 9) вул. Брацлавська;
- 10) просп. Коцюбинського.

Найбільш вираженими проблемними перехрестями є:

- 1) вул. Пирогова – вул. Зодчих;
- 2) вул. Князів Коріатовичей – вул. Оводова;
- 3) вул. Келецька – вул. Пирогова – вул. Скалецького;
- 4) вул. Київська – вул. Чорновола;
- 5) вул. Брацлавська - вул. Данила Нечая;
- 6) просп. Коцюбинського – вул. Привокзальна;
- 7) Немирівське шосе – вул. Чехова;
- 8) вул. Київська – вул. Гонти;
- 9) Хмельницьке шосе – вул. Максимовича;
- 10) Хмельницьке шосе – вул. 600-річчя;

На даних перетинах перетинах систематично відзначаються транспортні заторові ситуації як в ранкові (рис. 4.3), так і вечірні пікові періоди (рис. 4.4), а

довжина черги може досягати до півкілометра і більше. Основними проблемами даних перетинів є - вичерпана пропускна здатність, не оптимізована схема пофазного руху в циклі регулювання, не оптимізований цикл світлофорного регулювання.

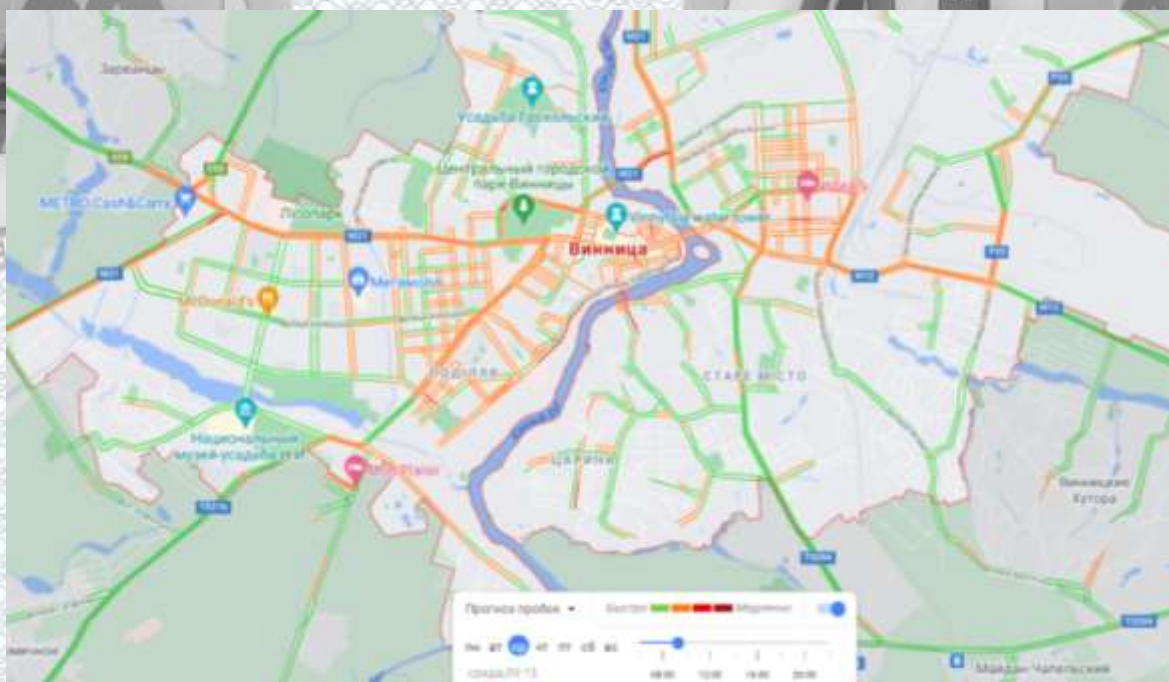


Рисунок 3.3 – Найбільш завантажені ділянки у ранішню «годину пік»

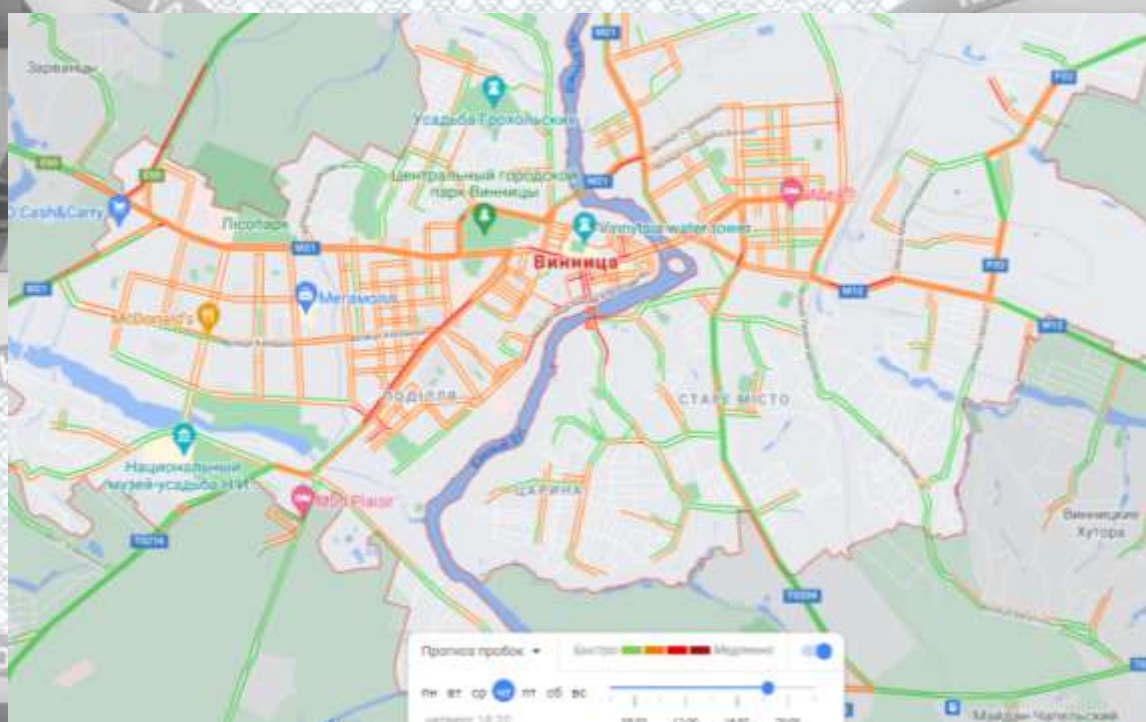


Рисунок 3.4 – Найбільш завантажені ділянки у вечірню «годину пік»

Вулично-дорожня мережа м. Вінниця в даний час працює нераціонально, що підтверджується високим рівнем завантаження вулиць рухом, а також показниками безпеки дорожнього руху. Основна причина перевантаження полягає в масовому зростанні кількості особистого транспорту.

Динаміка величини транспортного потоку і середнього числа автомобілів, які припадають на 1000 жителів дозволяє нам говорити про підвищення рівня завантаження вулично-дорожньої мережі міста та прилеглих до нього магістралей. Розвиток економіки і транспорту незалежно від наявності кризових явищ супроводжується збільшенням обсягів транспортної роботи. При цьому вимоги до якості організації транспортного обслуговування не перестають бути менш важливими.

### **Висновки до розділу 3**

1. Аналіз вулично-дорожньої мережі міста Вінниці показав, що вона знаходиться в незадовільному технічному стані, а саме:

- недостатня кількість мостових переходів через річку Південний Буг для пропуску автомобільного транспорту;
- не відповідність технічних параметрів ряду магістральних вулиць (габарити проїзної частини, тротуару тощо) існуючому навантаженню від транспортних потоків;
- незадовільний технічний стан дорожнього покриття проїзної частини;
- відсутність альтернативних шляхів об'їзду центральної частини міста;
- відсутність належного обладнання на деяких вулицях та перехрестях вулиць (дорожніх знаків, розмітки на проїзній частині та інших засобів організації дорожнього руху).

2. За допомогою аналізу умов руху транспортного потоку було визначено ділянки опорної вулично-дорожньої мережі м. Вінниця, які найбільш обмежують середню швидкість руху транспортного потоку, а отже, знижують рівень обслуговування дорожнього руху.

## РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЇ ДОРОЖНЬОГО РУХУ В МІСЬКИХ УМОВАХ

### 4.1 Формування комплексів заходів з урахуванням фактичних обмежень щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху

Для вирішення, виявлених в розділі 3, проблем були розроблені комплекси заходів, що включають в себе застосування локальних планувальних заходів та заходів щодо зміни організації та управління дорожнім рухом.

Локальні заходи діляться на заходи реконструктивно-планувального, інженерно-будівельного та організаційно-технічного характеру. Застосування комплексу заходів в кожному конкретному випадку дає найбільший ефект, забезпечуючи підвищення пропускної здатності найбільш завантажених транспортних вузлів і ділянок ВДМ, збільшуючи середню швидкість руху транспортного потоку, суттєво підвищуючи безпеку руху [3, 8, 26].

У даній кваліфікаційній роботі не розглядаються заходи з будівництва елементів ВДМ, оскільки робота присвячена підвищенню рівня обслуговування дорожнього руху на існуючій ВДМ. Тому для розгляду взяті локальні планувальні заходи, заходи щодо підвищення ефективності організації дорожнього руху та управління ним.

Перш за все, перевіряється наявність території для застосування локальних заходів. Якщо території досить, вибираються локальні заходи, з урахуванням обраних локальних заходів змінюється організація дорожнього руху і вдосконалюється управління рухом. Якщо територія для застосування локальних заходів відсутня – удосконалюється організація і управління дорожнім рухом.

Розглянемо зазначені рекомендації на прикладі проблем, характерних для вулично-дорожньої мережі великих міст:

– зниження пропускної здатності через невідповідність попиту на виконання лівого повороту для здійснення маневру;

- зниження пропускної здатності через невідповідність попиту на виконання правого повороту для здійснення маневру;
- зниження пропускної здатності через невідповідність попиту на виконання розвороту для здійснення маневру;
- зниження пропускної здатності, викликане рухом маршрутного пасажирського транспорту загального користування;
- зниження пропускної здатності, викликане наявністю припаркованих автомобілів;
- зниження пропускної здатності, викликане інтенсивним рухом пішохідних потоків.

Рекомендації щодо вирішення проблеми зниження пропускної здатності через великий попит на виконання ліво / право поворотного маневру, наведені в табл. 4.1.

Таблиця 4.1 – Комплекс заходів, спрямованих на вирішення проблеми зниження пропускної здатності через великий попит на виконання ліво / право поворотного маневру

Чи є можливість організації правого / лівого повороту за рахунок скорочення розділової смуги / тротуару?					
Так			Ні		
Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом	Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом
1	2	3	4	5	6
Організація розширення за рахунок розділової смуги (лівий поворот) / тротуару (правий поворот)	Поворот з однієї смуги	Виділення дод секції для здійснення повороту	Не застосовуються	Аналіз можливості здійснення лівого / правого повороту з двох смуг	Виділення дод секції для здійснення повороту
		Відсікання зустрічного потоку			Відсікання зустрічного потоку
	Поворот з двох смуг	Виділення дод секції для здійснення повороту			Відсікання зустрічного потоку
		Відсікання зустрічного потоку			

Продовження таблиці 4.1

1	2	3	4	5	6
Віднесений за перехрестя лівий поворот за рахунок організації розриву в розділювальній смузі	Каналізування руху	Коригування режиму роботи світлофорного об'єкта	Не застосовуються	Заборона лівого / правого повороту	Коригування режиму роботи світлофорного об'єкта
Організація розвороту до перехрестя за рахунок розриву в розділювальній смузі	Каналізування руху	Коригування режиму роботи світлофорного об'єкта			

Рекомендації щодо вирішення проблеми зниження пропускної здатності, викликані рухом маршрутного пасажирського транспорту загального користування (МПТЗГ) наведені в табл. 4.2.

Таблиця 4.2 – Комплекс заходів, спрямованих на вирішення проблеми зниження пропускної здатності, викликані рухом маршрутного пасажирського транспорту загального користування

Чи є можливість організації зупинкового пункту МПТЗГ за рахунок зменшення тротуару?					
Так			Ні		
Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом	Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом
Організація заїзної кишені для зупинки пункту МПТЗГ	Організація виділеної смуги для руху МПТЗГ	Коригування режиму роботи світлофорного об'єкта із застосуванням адаптивного управління для пріоритетного пропуску МПТЗГ	Не застосовуються	Організація виділеної смуги для руху МПТЗГ	Коригування режиму роботи світлофорного об'єкта із застосуванням адаптивного управління для пріоритетного пропуску МПТЗГ

Проблема зниження пропускної здатності, викликана наявністю припаркованих автомобілів. Рекомендації щодо вирішення даної проблеми наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Комплекс заходів, спрямованих на вирішення проблеми зниження пропускної здатності, викликаної наявністю припаркованих автомобілів

Чи є можливість організації паркувальних місць за рахунок зменшення тротуару?					
Так			Ні		
Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом	Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом
Влаштування «кишені» для організації паркувальних місць паралельно транспортному потоку	Введення зони платного паркування	Зміна з урахуванням прийнятих заходів	Не застосовуються	Введення зони платного паркування	Зміна з урахуванням прийнятих заходів
Влаштування «кишені» для організації паркувальних місць «ялинкою»	Введення зони платного паркування	Зміна з урахуванням прийнятих заходів	Не застосовуються	Заборона зупинки ТЗ. Введення зони платного паркування	Зміна з урахуванням прийнятих заходів

Проблема зниження пропускної здатності, викликана інтенсивним рухом пішохідних потоків. Рекомендації щодо вирішення даної проблеми наведені в табл. 4.4.

Таблиця 4.4 – Комплекс заходів, спрямованих на вирішення проблеми зниження пропускної здатності, викликаній інтенсивним рухом пішохідних потоків

Висока інтенсивність руху пішохідних і транспортних потоків. Є можливість поділу потоків в просторі?					
Так			Ні		
Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом	Локальні заходи	Організація дорожнього руху	Управління рухом
Будівництво підземного / надземного пішохідного переходу	Зміна з урахуванням прийнятих заходів	Зміна з урахуванням прийнятих заходів	Не застосовуються	Облаштування пішохідного переходу: встановлення загороджень, які перешкоджають переходу пішоходу в недозволеному місці, організація острівців безпеки	Оптимізація режиму роботи світлофорного об'єкту

Найбільший ефект дає комплексне застосування зазначених заходів. Вибір комплексу заходів залежить від існуючих умов, перерахованих вище факторів і обмежень.

Реалізація грамотно розроблених локальних заходів дозволяє вирішувати проблеми, які супроводжують постійний розвиток міст, в зв'язку з ростом чисельності населення і збільшенням рівня автомобілізації. Актуальними залишаються питання підвищення пропускної спроможності, безпеки і зручності всіх учасників дорожнього руху.

При неможливості забезпечення заданого рівня обслуговування дорожнього руху зазначеним комплексом заходів необхідний перехід до реконструктивних заходів елементів ВДМ.

Найбільш ефективним інструментом при виборі, розробці та оцінці ефективності локальних заходів на ВДМ виступає імітаційне моделювання. Вироблення заходів необхідно проводити для кожного перегону і перехрестя розглядуваного маршруту (ділянки вулиці, комплексу вулиць). Сучасні програмні



продукти, що використовуються в діяльності транспортних інженерів, дозволяють за отриманими в ході обстежень даними про умови дорожнього руху, виявляти можливі резерви підвищення пропускної спроможності, визначати проектні рішення і заходи по їх реалізації, а головне перевіряти ефективність запропонованих заходів ще до того, як вони будуть застосовані на реальних об'єктах.

Крім наведеного переліку локальних заходів, в зарубіжній практиці широко застосовують такі заходи з підвищення пропускної здатності, як обмеження місць і часу під паркування, введення зон і ділянок доріг в межах міста для платного користування, реверсивний рух, пріоритетний рух міського пасажирського транспорту тощо [27].

Дані заходи спрямовані на усунення найбільш завантажених і аварійних частин дорожньої мережі, що в свою чергу позитивно відбивається на обсягах транспортного обслуговування населення та бізнесу, підвищує надійність, безпеку і якість перевезень людей і вантажів.

#### **4.2 Розробка алгоритму з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах**

Методика підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах включає в себе кілька самостійних етапів. На першому етапі проводиться перевірка міських вулиць на можливість включення їх в опорну вулично-дорожню мережу. Після того, як опорна мережа сформована, рекомендується провести обстеження ефективності функціонування дорожнього руху не окремо по кожній міській вулиці, а по всій опорній мережі, використовуючи алгоритм, показаний на рис. 4.1.

Перш за все, перелік міських вулиць, що входять в опорну мережу, перевіряється на відповідність призначеного рівня обслуговування. Якщо рівень обслуговування відповідає бажаному, для кожної категорії міської вулиці, –

міська мережа функціонує оптимально і не вимагає додаткових коригувань, або проведення заходів з реорганізації дорожнього руху.

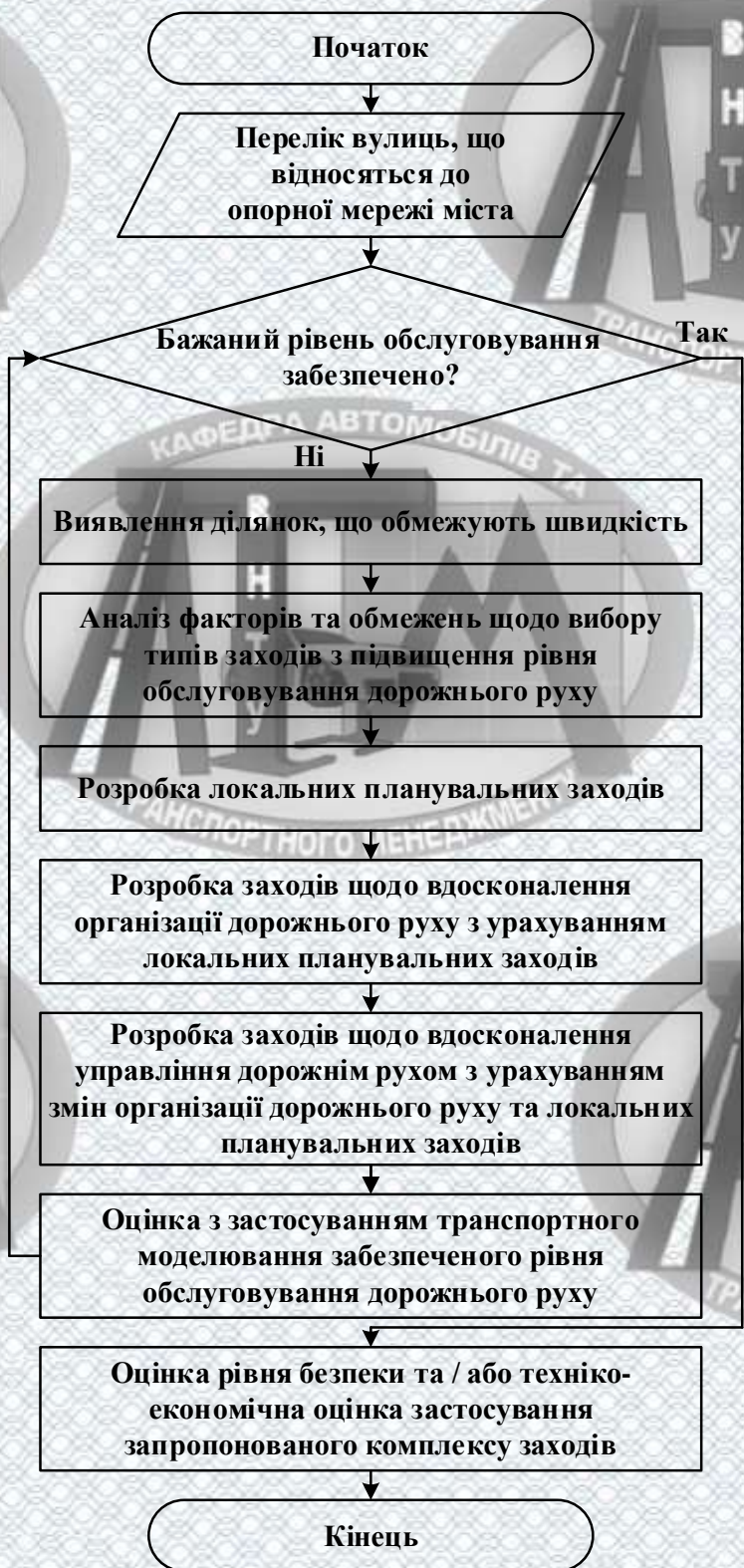


Рисунок 4.1 – Алгоритм з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах

Значення рівня обслуговування, що не відповідають бажаним, свідчать про необхідність виявлення ділянок, що обмежують швидкість руху на даній мережі.

Після виявлення ділянок, що обмежують швидкість руху, доцільно підготувати рекомендації щодо підвищення рівня обслуговування. Вироблення заходів відбувається послідовно. Перш за все аналізуються фактори і обмеження щодо вибору типів заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.

Наступним кроком є розробка локальних планувальних заходів з урахуванням можливості їх застосування на даній території і з урахуванням інших обмежень.

З урахуванням обраних локальних планувальних заходів відбувається розробка заходів щодо вдосконалення організації дорожнього руху.

Вибір заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху завершується розробкою заходів щодо вдосконалення управління рухом з урахуванням розроблених локальних заходів і змін в організації дорожнього руху. Реорганізація дорожнього руху – це складний процес, який є багатокритеріальним завданням прийняття рішень. Ціна помилки прийняття неправильних рішень при впровадженні заходів щодо реорганізації дорожнього руху в реальне життя економічно дуже висока (високі витрати на будівництво транспортних споруд, кліматичні та екологічні умови).

Запропоновані заходи повинні послужити основою для підвищення рівня обслуговування дорожнього руху опорної вулично-дорожньої мережі та підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах в цілому. Для цього проводиться оцінка рівня обслуговування дорожнього руху з застосуванням транспортного моделювання. Транспортне моделювання є найбільш точним на сьогоднішній день інструментом оцінки рішень з розвитку транспортної системи та вдосконалення ОДР, що дозволяє відпрацювати ті чи інші заходи з реорганізації дорожнього руху на імітаційній моделі. Інструмент моделювання висуває підвищені вимоги до якості вихідних даних, допускає відносно широкий набір альтернатив у виборі технології моделювання, надає

значну кількість параметрів, що настроюються і коефіцієнтів, а також показників якості функціонування.

Імітаційне моделювання – це поширений різновид аналогового моделювання, реалізованого за допомогою набору математичних засобів, спеціальних комп'ютерних програм-симуляторів, що дозволяють створювати в пам'яті комп'ютера процеси-аналоги, за допомогою яких можна провести цілеспрямоване дослідження структури і функцій дійсної системи в режимі її «імітації», здійснити оптимізацію деяких її параметрів.

Імітаційна модель повинна відображати логіку і закономірності поведінки модельованого об'єкта в часі і просторі. Імітаційна модель створюється:

- для управління складними процесами, щоб визначити їх характерні особливості;
- у випадках, коли натурне моделювання небажане або неможливе.

Імітаційне моделювання є важливим фактором в системах підтримки прийняття рішень, оскільки дозволяє досліджувати велику кількість альтернатив (варіантів рішень), програвати різні сценарії при будь-яких вхідних даних. Головна перевага імітаційного моделювання полягає в тому, що дослідник для перевірки нових стратегій і прийняття рішень при вивченні можливих ситуацій завжди може отримати відповідь на питання, як поведе себе система при зміні вхідних умов. Імітаційна модель дозволяє прогнозувати у випадках, коли мова йде про проектованій системі або досліджуються процеси розвитку (тобто коли реальної системи ще не існує). В імітаційній моделі може бути забезпечений різний, в тому числі і високий, рівень деталізації модельованих процесів.

Загальна методологія побудови та роботи з транспортними моделями:

- попередній аналіз і вибір спеціального програмного забезпечення для моделювання;
- збір і підготовка вихідних даних для побудови моделі;
- введення отриманих даних в модель;
- верифікація моделі;
- калібрування та валідація моделі;

- виконання експериментів, інтерпретація та аналіз результатів;
- прогнозування і побудова моделі перспективної ситуації (при необхідності);
- формування звітних матеріалів і супровід моделі, актуалізація даних (при необхідності).

Експеримент з впровадження методики підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах проводиться з використання програмного продукту на двох рівнях: макромодельовання (*PTV Visum*) і мікромодельовання (*PTV Vissim*), а також в якості інструменту для розробки та оптимізації режимів регулювання світлофорних об'єктів можна застосувати програмний продукт *LISA+*.

Програмне забезпечення «*LISA+*» є інструментом для розробки та оптимізації режимів регулювання світлофорних об'єктів, розрахунку параметрів безпеки регулювання, розробки координованого управління (графоаналітичний метод), а також розробки алгоритмів адаптивного управління з подальшою можливістю оцінки характеристик руху транспорту по засобам наявної інтеграції *LISA+* з транспортно-імітаційною моделлю *PTV Vissim* [34]. Разом з цим, програмний продукт *LISA+* має можливість вивантаження даних за розробленим режимом регулювання і параметрам безпеки для ряду дорожніх контролерів, таких як *SIEMENS*, *SWARCO*, *CROSS* та ін.

Якщо бажаний рівень обслуговування дорожнього руху досягнутий, приймається запропонований комплекс заходів і проводиться техніко-економічна оцінка його застосування.

Якщо бажаний рівень обслуговування дорожнього руху не забезпечений, повторюється цикл вироблення комплексу заходів. За умови неможливості забезпечити призначений рівень обслуговування дорожнього руху за рахунок комплексу заходів, що включає локальні планувальні заходи, заходів щодо вдосконалення організації дорожнього руху та управління ним, робиться висновок про необхідність реконструкції елементів ВДМ.

Підвищення рівня обслуговування дорожнього руху до необхідних значень повинно проводитися з обов'язковою оцінкою рівня безпеки дорожнього руху на завершальному етапі.

В даний час існують різні кількісні методи оцінки безпеки дорожнього руху, що використовуються в зарубіжній і вітчизняній практиці:

1. Методи, що включають в себе обробку інформації в частині статистичного обліку ДТП, де оцінка проводиться з використанням даних про фактичну аварійність.

2. Методи прогнозування можливої кількості ДТП, з використанням статистичних залежностей між кількістю ДТП і різними факторами, які характеризують умови дорожнього руху на конкретній ділянці ВДМ.

3. Методи, що базуються на вивченні режиму і характеристик руху на ділянці ВДМ.

4. Метод конфліктних ситуацій.

Вищенаведені показники використовуються для оцінки поточного стану безпеки дорожнього руху на ділянці ВДМ. Однак для цілей підвищення рівня обслуговування дорожнього руху потрібна кількісна оцінка безпеки руху проектних рішень, в рамках якої потрібно застосовувати імовірнісні методи прогнозування можливої кількості ДТП.

#### **Висновки до розділу 4**

1. Найбільший ефект з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах дає комплексне застосування заходів. При неможливості забезпечення бажаного рівня обслуговування дорожнього руху комплексом заходів, що включає в себе розробку локальних планувальних заходів, заходів щодо вдосконалення організації дорожнього руху та управління ним, необхідний перехід до реконструктивних заходів елементів ВДМ.

2. Запропонована методика підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах дозволяє:

- визначати опорну мережу міста і найбільш завантажені ділянки вулично-дорожньої мережі;

- підвищити пропускну здатність найбільш завантажених транспортних вузлів шляхом їх реконструкції для рівномірного перерозподілу транспорту по всіх ділянках магістралей регульованого руху, що входять в опорну мережу з подальшим включенням даних магістралей в систему АСКДР;

- застосовувати планувальні рішення, заходи з організації та управління дорожнім рухом, що забезпечують максимальну пропускну здатність перетинів вулиць.

3. Підвищення рівня обслуговування дорожнього руху до необхідних значень повинно проводитися з обов'язковою оцінкою рівня безпеки дорожнього руху на завершальному етапі.

## РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

В магістерській кваліфікаційній роботі «Підвищення ефективності організації дорожнього руху шляхом поліпшення показників рівня обслуговування в умовах міста Вінниці» виконувалося дослідження режимів та особливостей руху транспортних потоків міста Вінниці. При виконанні даних досліджень можуть виникати небезпечні та шкідливі виробничі фактори, які негативно впливають на стан здоров'я дослідника, тому нижче розглядаються потенційні небезпеки для дослідника при зборі інформації щодо показників вулично-дорожньої мережі міста.

### 5.1 Аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника

1. Наїзд на людей при русі їх через проїжджу частину поза межами пішохідних переходів підвищує загальну небезпеку руху на перехресті та збільшує вірогідність виникнення ДТП.

2. Рух будь-якого транспортного потоку є джерелом негативного впливу на оточення, який проявляється в забрудненні атмосфери вихлопними газами автомобілів.

3. Значна кількість транспорту стає небезпечним джерелом шуму, що негативно позначається на самопочутті людини, особливо при тривалому впливі.

4. При недостатньому освітленні площі пішохідних переходів можливе зниження безпеки руху в наслідок погіршення умов видимості для учасників руху, як для пішоходів, яким в умовах недостатнього освітлення важче вибрати безпечні траєкторії руху, так і для водіїв автомобілів, які в таких умовах можуть не бачити пішоходів, дорожніх споруд, тощо.

5. Під час проведення реєстрації показників ВДМ дослідник(и) знаходиться на відкритому повітрі та піддаються впливу температур в різні пори року, що



може призводити до порушення теплового режиму – зневоднення або теплового удару влітку та переохолодження взимку.

## 5.2 Наїзд на пішохода: обов'язки водія та пішохода

Згідно з [15], 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.

Дорожньо-транспортна пригода – подія, що сталася під час руху транспортного засобу, внаслідок якої загинули або поранені люди чи завдані матеріальні збитки. Одним із видів є «наїзд на пішохода».

Наїзд на пішохода – подія, за якої: автотransпортний засіб наїхав на людину; пішохід нашттовхнувся на машину, що рухається; людина отримала пошкодження від вантажу, що перевозиться транспортним засобом.

Винуватцями даного виду дорожньо-транспортної пригоди можуть бути як пішоходи, так і водії.

До ДТП з вини водія потрібно віднести наїзд на пішохода:

- на переході;
- під час руху заднім ходом;
- на тротуарі;
- у дворі;
- з порушенням правил руху, порядку перестроювання транспорту, перевищенням швидкості руху.

До ДТП з вини пішохода слід віднести наступні події:

- транспорт збив пішохода, який переходив проїжджу частину поза пішохідним переходом, якщо є розділювальна смуга, а також в місцях, де встановлено огороження;
- водій скоїв наїзд на пішохода, який тривалий час стояв на проїжджій частині, при цьому зупинка пішохода не пов'язана із забезпеченням безпеки руху;

– пішохід рухався по проїжджій частині, коли можна було йти по тротуару або пішохідній доріжці.

Водій як учасник дорожнього руху повинен:

– мати при собі та на вимогу поліцейського пред'являти для перевірки посвідчення водія, реєстраційний документ на транспортний засіб, а у випадках, передбачених законодавством, - страховий поліс (сертифікат) про укладення договору обов'язкового страхування цивільно-правової відповідальності власників наземних транспортних засобів;

– виконувати розпорядження поліцейського, що даються в межах їх компетенції;

– вживати всіх можливих заходів до забезпечення безпечних умов для пересування найбільш уразливих учасників дорожнього руху ;

– не допускати випадків керування транспортним засобом у стані алкогольного, наркотичного чи іншого сп'яніння або під впливом лікарських препаратів, що знижують їх увагу та швидкість реакції;

– перевірити перед вирушенням у дорогу технічний стан транспортного засобу та стежити за ним у дорозі;

– надавати переважне право руху пішоходу, який знаходиться на пішохідній доріжці (зебрі). У цьому разі водій зобов'язаний надати можливість пішоходу безпечно перейти дорогу, вулицю.

Пішохід як учасник дорожнього руху повинен:

– рухатися по тротуарах, пішохідних або велосипедних доріжках, узбіччях, а в разі їх відсутності - по краю проїзної частини автомобільної дороги чи вулиці;

– перетинати проїзну частину автомобільної дороги, вулиці по пішохідних переходах, а в разі їх відсутності - на перехрестях по лінії тротуарів і узбіччя;

– керуватися сигналами регулювальника та світлофора в місцях, де дорожній рух регулюється;

– не затримуватися і не зупинятися без необхідності на проїзній частині автомобільної дороги, вулиці і залізничному переїзді;

- не переходити проїзну частину автомобільних доріг, вулиць, залізничних переїздів безпосередньо перед транспортними засобами, що наближаються, поза пішохідними переходами при наявності роздільної смуги, а також у місцях, де встановлені пішохідні чи дорожні огороження;
- стримуватися від переходу проїзної частини при наближенні транспортного засобу з включеними проблісковим маячком та спеціальним звуковим сигналом;
- не виходити на проїзну частину із-за нерухомого транспортного засобу або іншої перешкоди, що обмежує видимість, не переконавшись у відсутності транспортних засобів, що наближаються.
- у темну пору доби та в умовах недостатньої видимості пішоходи, які рухаються проїзною частиною чи узбіччям, повинні використовувати світлоповертальні елементи (стрічку, наклейку, жилет тощо) або бути в одязі, який має світлоповертальні елементи, для своєчасного їх виявлення іншими учасниками дорожнього руху.

### **5.3 Забруднення повітря вихлопними газами автомобілів**

При роботі двигунів внутрішнього згорання в процесі окислення вуглеводневого палива киснем повітря утворюються нетоксичні (водяний пар, вуглекислий газ) й токсичні речовини [23]. Токсичні - продукти неповного згорання (окисли вуглецю) або побічних реакцій, які проходять при високих температурах (окисли азоту). Деякі токсичні речовини містяться у паливі, при роботі двигуна відбувається викид з відпрацьованими газами (тетраетілсвинець). Утворення токсичних речовин залежить від способів утворення суміші й умов згорання паливоповітряної суміші. Відповідно, бензинові двигуни й дизельні мають відмінності в утворенні токсичних речовин. Згадані компоненти згорання палива (див. табл. 5.1) забруднюють атмосферу над дорогою й негативно впливають на людей.

Таблиця 5.1 – Токсичні речовини, які виділяються при згоранні палива в ДВЗ [11]

Токсичні речовини	Кількість токсичних речовин при згоранні 1 кг палива в двигуні			
	бензиновому		дизельному	
	г	%	г	%
Окисли вуглецю	215	73,8	25	25,5
Окисли азоту	55	18,1	38	38,8
Вуглеводні	20	6,6	8	8,2
Окисли сірки	2,0	0,7	21	21,4
Альдегіди	1	0,3	1	1,0
Сажа	1,5	0,5	5	5,1
Усього	304,5	100	98	100

Рівень забруднення атмосферного повітря над дорогою окислом вуглецю  $X$  ( $\text{мг}/\text{м}^3$ ) розраховується за формулою [11]:

$$C=(M * H)/(B * K1 * Vp), \quad (5.1)$$

де  $M$ - коефіцієнт, який характеризує стабільність вітрового режиму на автомагістралі, залежить від висоти і щільності захисних обладнань – зелених насаджень, екранів тощо ( $M=0,6-1,0$ );

$H$  – інтенсивність виділення речовини,  $\text{мг}/\text{с}$ ;

$B$  – ширина автомагістралі в світлі – між лініями зелених насаджень, екранами тощо;

$K1$  – кратність зміни повітря на автомагістралі за 1 годину при швидкості вітрового потоку  $V_B=1 \text{ м}/\text{с}$

$$K1=3600 * n * \sin f / \beta, \quad (5.2)$$

де  $n$  – ажурність (продувальність) при магістральній території ( $0 < n < 1$ );

$f$  – кут між віссю автомагістралі й напрямком вітрового потоку ( $0 < f < 90$ ).

Ажурність улаштування або зелених насаджень, враховує її вплив на умови провітрювання автомагістралі, розраховується за формулою:

$$n = r_1 * r_2; \quad (5.3)$$

де  $r_1$  і  $r_2$  - коефіцієнти, які враховують відповідно висоту ( $r_1 = 0,5 \dots 0,6$ ) та композицію зелених насаджень,  $r_2$  – визначається за таблицею 5.2.

Таблиця 5.2 - Значення  $r_2$  при різних способах розміщення насаджень [11]

Коефіцієнт ажурності, $n$	Знамення $r_2$ при композиції озеленіння		
	Листяні посадки	Окремі дерева	Групова посадка
0	0,51	-	0,35
20	0,65	0,61	0,50
40	0,78	0,76	0,65
60	0,97	0,91	0,80

Відносна протяжність зелених насаджень (ажурність) розраховується за формулою:

$$n = 1 - \sum (f_k * F); \quad (5.4)$$

де  $f_k$  – площа зайнята листям, кроною та стовбурами дерев;

$F$  – загальна фронтальна площа проекції зелених насаджень на даній ділянці.

При груповому розташуванні зелених насаджень і ажурності, яка перевищує 60%, розрахунковий коефіцієнт  $r_2$  приймають рівним одиниці.

Розрахункова швидкість вітру  $V_p$  може бути розрахована за формулою Ф. Л. Серебровського

$$V_p = V_0 * K_{пер} * t_1 * t_2 * K_{поп}, \quad (5.5)$$

де  $V_0$  – швидкість вітру на метеостанції, м/с;

$K_{пер}$  – коефіцієнт перерахунку висоти вітрового потоку ( $K_{пер} = 0,7 \dots 0,8$ );

$t_1, t_2$  – коефіцієнти трансформації, враховуючі відповідно рельєф місцевості й характер озеленіння.

#### 5.4 Транспортний шум

Одним з негативних наслідків автомобілізації є транспортний шум, який не менш небезпечний, ніж забруднення повітря та води [28]. Шумом називають небажаний звук, який заважає людині. Рівень звукового тиску  $L_p$  (дБ):

$$L_p = 10 \lg (P / P_0), \quad (5.6)$$

де  $P$  – інтенсивність діючого звука (шуму), Вт/м<sup>2</sup>;

$P_0$  – інтенсивність звука, яка відповідає порогу чутності при частоті звука 1000Гц (дорівнює 10 Вт/м<sup>2</sup>).

З формули можна побачити, що при збільшенні інтенсивності звука у 10 разів, рівень звука зростає на 10 Дб. Для оцінки непостійного у часі шуму визначають величину еквівалентного рівня звука:

$$L_{екв} = 10 \lg (1/T) \cdot t_1 \cdot L_1, \quad (5.7)$$

де  $T$  – період часу вимірювання звука, с;

$t_1$  - інтервал часу, на протязі якого рівень звука знаходиться в заданих межах, с;

$L_1$  - середній рівень звука класу і, дБА.

Транспортний шум збільшується практично пропорційно швидкості й інтенсивності руху, при цьому при руху на підйом важких транспортних засобів рівень шуму збільшується інтенсивніше, ніж у легкових автомобілів, шумність транспортного потоку (в дБА) на відстані 7 м від крайнього ряду автомобілів при інтенсивності руху від 10 до 3000 авт/год:

$$L = 46 + 11,8 \cdot \lg N + D, \quad (5.8)$$

де  $N$  – інтенсивність руху автомобілів;

$D$  - сума поправок, які враховують відхилення даних умов від прийнятих середньостатистичних.

Поправка розраховується за формулою:

$$D = D_n + D_v + D_i + D_{тр}, \quad (5.9)$$

де  $D_n$ - вплив зміни частки громадського та важкого вантажного транспорту в загальній потоці: приймають +1дБА на кожні 10% відхилення від стандартної частки у 60%;

$D_v$ - поправка в 1дБА на кожні 2% поздовжнього ухилу дороги або вулиці;

$D_{тр}$ - облік наявності трамвая на осі вулиці (+3дБА).

Якщо відстань від джерела звуку більш, ніж 200-300м, тоді враховують поглинання шуму в повітрі; при більшому віддаленні ним можливо знехтувати, приймають до уваги лише зниження шуму екрануючими засобами. Для транспортних одиниць, які йдуть у безперервному потоці, розповсюдження шуму у повітряному середовищі на рівній місцевості приймають (в дБА):

$$L_1 = L - 20 \lg(1/7), \quad (5.10)$$

де  $l$  – відстань від осі руху транспортного потоку.

Найбільш припустимий рівень звуку на території лікарень, санаторіїв – 35дБА, території, безпосередньо прилеглий до житлових забудов – 45дБА.

### 5.5 Оцінка рівня транспортного шуму та заходи щодо його зниження

Для розробки шумозахисних заходів на ділянці дороги в населеному пункті необхідно визначити рівень шуму. Рівень транспортного шуму оцінюється за формулою [28]:

$$L_p = L_{trп} + L_{тяж} + L_{диз} + L_{ск} + L_{ук} + L_{пок} + L_{рп} + L_{к} + L_{зас}, \quad (5.11)$$

де  $L_p$  - еквівалентний рівень звуку в розрахунковій точці на відстані 7,5м від осі найближчої смуги руху автомобільної дороги, дБА, для умов відсутності розділяючої смуги, на висоті 1,2м над рівнем проїзної частини прямолінійної горизонтальної ділянки дороги з покриттям з мілкозернистого асфальтобетону, в радіусі 50м забудови та інших відображуючих перешкод, розповсюдження шуму над землею;

$L_{тяж}$  – поправка, яка враховує зміну кількості вантажних автомобілей з карбюраторними двигунами в транспортному потоці у порівнянні з розрахунковим;

$L_{диз}$  – те ж саме, з дизельними двигунами;

$L_{ск}$  – поправка на зміну середньої швидкості руху у порівнянні з розрахунковою;

$L_{ук}$  – поправка на поздовжній ухил;

$L_{пок}$  – те ж саме, на шорсткість дорожнього покриття;

$L_{рп}$  – те ж саме, на ширину розділяючої смуги на проїжджій частині;

$L_{к}$  – те ж саме, на зниження розрахункового рівня звуку поверхневим покровом;

$L_{зас}$  – поправка, яка враховує вплив прилягаючої до автомобільної дороги забудови.



Розрахунковий еквівалентний рівень звуку транспортного потоку  $L_{\text{трп}}$  визначають за формулою:

$$L_{\text{трп}} = 50 + 8,81 \cdot \lg N, \quad (5.12)$$

де  $N$  – інтенсивність руху, авт/год, при  $N=3000$  авт/год;

$$L_{\text{трп}} = 50 + 8,81 \lg 3000 = 80,6 \text{ дБА.}$$

Поправку  $L_{\text{тяж}}$  розраховують у залежності від кількості вантажних автомобілів в потоці (для кількості вантажних автомобілів та автобусів – 65%;  $L_{\text{тяж}} + 2 \text{ дБА}$ ).

Поправка  $L_{\text{диз}}$  для кількості автомобілів з дизельним двигуном складає 5%, дорівнює  $+1 \text{ дБА}$ .

Поправка  $L_{\text{ук}}$  для зміни швидкості руху автомобілів на  $7 \text{ км/год}$  дорівнює:  $1 \text{ дБА}$ .

Поправка на поздовжній ухил  $L_{\text{ск}}$  є при поздовжньому ухилі, який перевищує 20% (20-40%).

При поздовжньому ухилі до 20% поправку на поздовжній ухил визначають за графіком у залежності від кількості легкових автомобілів у потоці.

При числі автомобілів 30%  $L_{\text{ук}} = +1,5 \text{ дБА}$ .

Поправка на шорсткість дорожнього покриття  $L_{\text{пок}}$  залежить від числа легкових автомобілів, яке складає 30%, дорівнює  $L_{\text{пок}} = +0,5 \text{ дБА}$  (якщо дорожнє покриття пройшло поверхневу обробку).

Збільшення розділяючої смуги призводить до зниження еквівалентного рівня звуку незалежно від характеристик транспортного потоку та дорожніх умов.

Заходи для зниження рівня транспортного шуму на ділянці дороги представляють собою насадження захисних зелених насаджень та віддалення житлової забудови від джерела шуму.

На автомобільних дорогах необхідно передбачати наступні смуги зелених насаджень:

- шириною 8м - між основною проїзною частиною та місцевим проїздом з двохрядною посадкою гостролистого клена;
- шириною 3м - між проїздом та тротуаром з однорядною посадкою кінського каштана;
- шириною 30м - між червоними лініями дороги, що проектується та житловою забудовою з восьмирядною посадкою листяних дерев (гостролистого клена, широколистяної липи, бальзамічного тополя) у шахматному порядку, насаджень кущів з дворядною живою загородою та підліском з білого дерну, сибірського бояришника, татарського клена.

### **Висновки до розділу 5**

В даному розділі було виконано аналіз потенційних небезпек при роботі дослідника по дослідженню транспортних потоків в умовах міста. Розраховано еквівалентний рівень звуку транспортного потоку. Описано необхідні організаційно-технічні рішення з уникнення даних небезпек та гарантування безпечної роботи.

## ВИСНОВКИ

Аналіз проблем руху транспорту у великих містах в умовах насичених транспортних потоків показав, що необхідне вироблення заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.

Запропоновано алгоритм формування опорної вулично-дорожньої мережі міста. Основними критеріями цього алгоритму виступають здійснювані по ВДМ кореспонденції та інтенсивність руху.

На сформованій, за допомогою алгоритму, опорній мережі слід провести обстеження ефективності функціонування дорожнього руху не окремо по кожній міській вулиці, а по всій мережі. Для ділянок, що обмежують швидкість руху, доцільно підготувати заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху.

Заходи щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху умовно можна розділити на три групи: розвиток транспортної інфраструктури; організація дорожнього руху; управління рухом.

Запропонований алгоритм визначення опорної вулично-дорожньої мережі та класифікація заходів щодо підвищення рівня обслуговування дорожнього руху і обмеження по їх вибору складають основу методики підвищення рівня обслуговування дорожнього руху у містах.

Аналіз вулично-дорожньої мережі міста Вінниці показав, що вона знаходиться в незадовільному технічному стані, а саме:

- недостатня кількість мостових переходів через річку Південний Буг для пропуску автомобільного транспорту;
- не відповідність технічних параметрів ряду магістральних вулиць (габарити проїзної частини, тротуару тощо) існуючому навантаженню від транспортних потоків;
- незадовільний технічний стан дорожнього покриття проїзної частини;
- відсутність альтернативних шляхів об'їзду центральної частини міста;
- відсутність належного обладнання на деяких вулицях та перехрестях

вулиць (дорожніх знаків, розмітки на проїзній частині та інших засобів організації дорожнього руху).

За допомогою аналізу умов руху транспортного потоку було визначено ділянки опорної вулично-дорожньої мережі м. Вінниця, які найбільш обмежують середню швидкість руху транспортного потоку, а отже, знижують рівень обслуговування дорожнього руху.

Найбільший ефект з підвищення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах дає комплексне застосування заходів. При неможливості забезпечення бажаного рівня обслуговування дорожнього руху комплексом заходів, що включає в себе розробку локальних планувальних заходів, заходів щодо вдосконалення організації дорожнього руху та управління ним, необхідний перехід до реконструктивних заходів елементів ВДМ.

Запропонована методика підвищення рівня обслуговування дорожнього руху в міських умовах дозволяє:

- визначати опорну мережу міста і найбільш завантажені ділянки вулично-дорожньої мережі;
- підвищити пропускну здатність найбільш завантажених транспортних вузлів шляхом їх реконструкції для рівномірного перерозподілу транспорту по всіх ділянках магістралей регульованого руху, що входять в опорну мережу з подальшим включенням даних магістралей в систему АСКДР;
- застосовувати планувальні рішення, заходи з організації та управління дорожнім рухом, що забезпечують максимальну пропускну здатність перетинів вулиць.

Розроблено заходи щодо охорони праці при виконанні дослідницьких робіт.

Всі завдання, поставлені в магістерській кваліфікаційній роботі, виконані.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Абрамова Л. С., Наглюк І. С., Птиця Г. Г. «Аналіз методів визначення складу транспортного потоку», *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*, № 17, с. 35–41, 2012.
2. Абрамова Л. С. Напрямки розвитку сучасного управління дорожнім рухом / Л. С. Абрамова // Матер. III Міжнар. наук.-практ. конф. «Проблеми підвищення рівня безпеки, комфорту та культури дорожнього руху». – Харків : ХНАДУ, 2013. – С. 33–35.
3. Абрамова Л. С. Обоснование выбора показателей эффективности контурного управления дорожным движением / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев // *Східноєвропейський журнал передових технологій*. – 2010. – № 4/3 (46). – С. 58–61.
4. Абрамова Л. С. Формализация задачи управления транспортными потоками на улично-дорожной сети крупных городов / Л. С. Абрамова, Н. С. Чернобаев, В. В. Ширин // *Прикладная радиоэлектроника*. – 2009. – Т. 8. – № 2. – С. 188–192.
5. Андронов, Р. В. «Расчет экономических потерь пользователей улично-дорожной сети на регулируемых пересечениях для обоснования мероприятий по реконструкции и улучшению организации движения», *Научно-технический вестник Поволжья*, № 4, с. 38-40, 2014.
6. Ахмадинуров М. М. Обзор методов моделирования транспортной сети / М. М. Ахмадинуров // *Транспорт Урала: научно-технический журнал*. – Екатеринбург : УрГУПС, 2009. – № 3 (22). – С. 39–44.
7. Боровицька Л.О., Круць А.В. «Проблеми та сучасний стан транспортної системи України», *Регіональна економіка / Економічні науки* (Publishing house Education and Science). Режим доступу: [http://www.rusnauka.com/16\\_ADEN\\_2010/Economics/68206.doc.htm](http://www.rusnauka.com/16_ADEN_2010/Economics/68206.doc.htm)
8. Боярский С. Н. Повышение эффективности функционирования пересечений автомобильных дорог с высоким значением коэффициента загрузки

движением : дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01 «Транспортные и транспортно-технологические системы страны, ее регионов и городов, организация производства на транспорте» / Сергей Николаевич Боярский. – Екатеринбург, 2014. – 117 с.

9. Васильева, Н. В. «К вопросу обеспечения равномерности и безопасности движения автомобильного транспорта в городской среде», Вестник гражданских инженеров, № 4(51), с. 128–132, 2015.

10. Васильева, Н. В. «Обеспечение равномерности и безопасности движения автомобильного транспорта в городских условиях», Актуальные проблемы безопасности дорожного движения. Сборник докладов» СПбГАСУ, с. 99-103, 2015.

11. В. М. Першаков, А. О. Белятинський, О. В. Степанчук, Р. В. Кротов. Дослідження транспортних потоків в аспекті заторових станів дорожнього руху: Монографія. - К. : НАУ, 2015. – 177 с.

12. Введения в математическое моделирование транспортных потоков : учеб. пособ. / [С. Л. Кленов, Е. А. Нурминский, Я. А. Холодов и др.] ; под ред. А. В. Гасникова. – М. : МФТИ, 2010. – 362 с.

13. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

14. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 р. №2344-III// Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2001, N 22, ст.105.

15. Закон України «Про дорожній рух» Документ 3353-ХІІ, чинний, поточна редакція – Редакція від 17.03.2021, підстава - 1231-ІХ. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3353-12#Text>

16. Капитонов В. Т., Хилажев, Е. Б. Управление транспортными потоками в городах / В.Т. Капитонов,. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.

17. Кашканов В. А., Каспрук В.О. «Напрямки підвищення рівня обслуговування дорожнього руху», Матеріали VIII-ої міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Проблеми і перспективи розвитку автомобільного транспорту», 14-15 квітня 2021 року: збірник наукових праць

[Електронний ресурс] / Міністерство освіти і науки України, Вінницький національний технічний університет [та інш.]. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – 269 с.

Режим доступу: <http://atmconf.vntu.edu.ua/materialy2021.pdf>

18. Кашканов В. А., Каспрук В.О. Покращення ефективності організації дорожнього руху в міських умовах. НТКП ВНТУ. *Науково-технічна конференція факультету машинобудування та транспорту (2021)* : Електронне наукове видання матеріалів конференції. – Вінниця: ВНТУ, 2021. – Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fmt/all-fmt-2021/paper/view/11908/9962>

19. Київ, Одеса, Харків і Дніпро потрапили в рейтинг городів з найбільш великими пробками в світі. Режим доступу: <https://www.epravda.com.ua/rus/news/2021/01/13/669937/>

20. Методичні вказівки до виконання магістерської кваліфікаційної роботи зі спеціальності 8.07010601 – Автомобілі та автомобільне господарство / Уклад. В. В. Біліченко, А. А. Кашканов, В. П. Кужель. – Вінниця : ВНТУ, 2013. – 65 с.

21. Методические рекомендации по разработке и реализации мероприятий по организации дорожного движения. Использование программных продуктов математического моделирования транспортных потоков при оценке эффективности проектных решений в сфере организации дорожного движения [Электронный ресурс]. Режим доступа: <https://standartgost.ru/g/pkey-14293734705>

22. Мохова Ю.Л., «Значення транспортної галузі в системі національної економіки України», *Менеджер*, ДонДУУ, № 1 (69), с. 88-96, 2015 р.

23. Наказ 09.07.2012 № 964 Про затвердження Правил охорони праці на автомобільному транспорті. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1299-12#Text>

24. Наказ від 08.04.2014 № 248 Про затвердження Державних санітарних норм та правил Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу - [Електронний ресурс] - Режим доступу: [http://online.budstandart.com.ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14.\\_nakazy\\_ta\\_rozpor\\_183575/248+58074-detail.html](http://online.budstandart.com.ua/catalog/topiccatalogua/labor-protection/14._nakazy_ta_rozpor_183575/248+58074-detail.html)

25. Проект Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року. Режим доступу: <https://mtu.gov.ua/projects/133/>

26. Солодкий, А. И. Проектирование экономически эффективной улично-дорожной сети городов / А.И. Солодкий // Вестник. Зодчий. 21 век. – 2013. – С. 78-81.

27. Фоменко Г.Р. «Транспортна інфраструктура і проблеми міст», *Проблеми розвитку міського середовища*. Вип. 2 (16), с. 177-185, 2016.

28. Форнальчик Є. Ю. Управління дорожнім рухом на регульованих перехрестях у містах : монографія / Є. Ю. Форнальчик, І. А. Могила, В. Е. Трушевський, В. В. Гілевич ; за заг. ред Є. Ю. Форнальчика. – Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2018. – 236 с.

29. Babit R., Charma V., Duggal A. «Level of service concept in urban roads», *International Journal of Engineering Science Invention Research & Development*; Vol. III, Issue I, pp. 44-48, 2016.

30. Capacity and Level of Service of Finnish Signalized Intersections / Finnra Reports 25/2002. - 164 p.

31. Chen K. C., Larry S. T. «Determination of Level of Service (LOS) on Different Roads in Kuching Area (A Case study)», *UNIMAS E-Journal of Civil Engineering*, Vol 1: issue 1, 2009.

32. Chvanov V., Zhivopistsev I. «Levels of service and road traffic accident rate», *Advances in Transportation Studies an international Journal Section*, Vol. 3, 2004.

33. Solodkiy A. I., Chernikh N.V. «Improving the level of traffic service on the road network of cities», *Materials Science and Engineering, International Scientific and Technical Conference INTERSTROYMEH*, 2019.

34. VISSIM. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://vision-traffic.ptvgroup.com/en-us/products/ptv-vissim/>





ДОДАТКИ

