

Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту



**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**  
на тему:

**«Вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці  
організацією пріоритетного руху автобусів»**



Виконав: студент 2-го курсу, групи 1ТТ-20м  
спеціальності 275 – Транспортні технології  
(за видами), спеціалізація 275.03 –  
Транспортні технології (на автомобільному  
транспорті)

Шкрабалюк В.В.

Керівник: к.т.н., доцент каф. АТМ

Крещенецький В.Л.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Опонент: \_\_\_\_\_

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри АТМ

к.т.н., доц. Цимбал С.В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 р.



Вінниця ВНТУ – 2021 рік



Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування та транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту

Рівень вищої освіти II-й (магістерський)  
Галузь знань – 27 – Транспорт  
Спеціальність 275 – Транспортні технології (за видами)  
Спеціалізація 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)  
Освітньо-професійна програма – Транспортні технології на автомобільному транспорті

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
завідувач кафедри АТМ  
к.т.н., доцент Цимбал С.В.

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 року

**ЗАВДАННЯ**  
НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Шкрабалюку Володимиру Васильовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів  
керівник роботи Крещенецький Володимир Леонідович, к.т.н., доцент,  
затверджені наказом ВНТУ від «24» вересня 2021 року № 277.
- Строк подання студентом роботи: 08.12.2021 р.
- Вихідні дані до роботи: Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автобуси міста; об'єкт дослідження – реальний дорожній рух на перегонах вулиць та регульованих перехрестях ВДМ міста; похибка прогнозування досліджуваних показників не більше – 10%.
- Зміст текстової частини:
  - 1 Аналіз методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста і шляхи вдосконалення роботи маршрутних автобусів на ній.
  - 2 Визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
  - 3 Розробка методів забезпечення на регульованих перехрестях просторово-часового пріоритету.
  - 4 Експериментальні дослідження щодо впровадження спеціальних смуг для маршрутних автобусів та їх практична реалізація.
  - 4 Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.
- Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):



- 1-2 Тема, мета та завдання дослідження.
- 3 Наукова новизна та практичне значення одержаних результатів.
- 4 Класифікація існуючих методів забезпечення пріоритету автобусам на регульованих перехрестях.
- 5 Система «Швидкі автобусні перехрестя».
- 6 Критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
- 7 Трансформація системи «ДУ-ТП» після впровадження спеціальних смуг.
- 8 Алгоритм впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
- 9 Типи спеціальних смуг у зоні перехрестя.
- 10 Блок-схема алгоритму моделювання одного підходу до ізольованого перехрестя.
- 11 Послідовність створення транспортної моделі міста.
- 12 Блок-схема алгоритму моделювання попиту на транспорті.
- 14 Впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць у реальних умовах.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розв'язання основної задачі	Крещенецький В.Л., 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 « 27 » вересня 2021 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вивчення об'єкту та предмету дослідження	27.09-04.10.2021	
2	Аналіз відомих рішень, постановка задач	27.09-04.10.2021	
3	Обґрунтування методів досліджень	27.09-04.10.2021	
4	Розв'язання поставлених задач	05.10-15.11.2021	
5	Формування висновків по роботі, наукової новизни, практичної цінності результатів	16.11-30.11.2021	
6	Виконання розділу «Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях»	08.11-21.11.2021	
7	Виконання розділу «Економічна частина»	08.11-21.11.2021	
8	Нормоконтроль МКР	01.12-08.12.2021	
9	Попередній захист МКР	09.12-10.12.2021	
10	Рецензування МКР	13.12-17.12.2021	
11	Захист МКР	20.12-24.12.2021	

Студент

(підпис)

Шкрабальок В.В.

Керівник роботи

(підпис)

Крещенецький В.Л.





## АНОТАЦІЯ

УДК 656.073

Шкрабальюк В.В. Вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 275 – транспортні технології, освітня програма – транспортні технології на автомобільному транспорті. Вінниця: ВНТУ, 2021. 112 с.

На укр.мові. Бібліогр.: 59 назв; рис. :32; табл.14.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено шляхи вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів.

Робота складається з п'яти частин :

1. Аналіз методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста та шляхи вдосконалення на ній роботи маршрутних автобусів.
2. Визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
3. Розроблення методу забезпечення просторово-часового пріоритету на регульованих перехрестях.
4. Експериментальні дослідження щодо впровадження спеціальних смуг для маршрутних автобусів та їх практична реалізація.
5. Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Головною метою цієї кваліфікаційної роботи є вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста для маршрутних автобусів шляхом визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробка методу, що забезпечує їм просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях.



## SUMMARY

UDC 656.073

Shkrabalyuk V.V. Improving the passenger route network of Vinnytsia by organizing priority bus traffic. Master's degree in specialty 275 - transport technology, educational program - transport technology in road transport.

Vinnytsia: VNTU, 2021. 112 p.

In Ukrainian. Bibliogr. : 59 titles; Fig. Stk. : 32; table 14.

In the master's qualification work the ways of improvement of the passenger route network of the city of Vinnytsia by the organization of priority movement of buses are developed.

The work consists of five parts:

1. The analysis methods of priority traffic on the road network of the city and ways to improve on it of buses.
2. Identification and substantiation criteria introduction of special lanes for racing the streets.
3. Develop a method to ensure the space-time priority on regulated intersections.
4. Experimental study on the introduction of special lanes for buses and their practical implementation.
5. Health and safety in emergency situations.

The main goal of qualifying work is to improve the methods of priority traffic on the road network for city buses and justification by defining criteria for the introduction of special lanes on streets and race to develop a method that provides them with the space-time priority on regulated intersections.





## ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА І ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ НА НІЙ .....	10
1.1 Визначення функцій спеціальних смуг та їх видів .....	10
1.2 Визначення існуючих методів забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях .....	16
1.3 Особливості запровадження на вулично-дорожній мережі міста системи швидких автобусних перевезень.....	27
Висновки до розділу 1 .....	31
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ НА ПЕРЕГОНАХ ВУЛИЦЬ.....	31
2.1 Визначення існуючих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць .....	31
2.2 Визначення та обґрунтування мінімального обсягу пасажиропотоку для впровадження спеціальних смуг .....	35
2.3 Визначення стану транспортних потоків на непріоритетних смугах .....	39
Висновки до розділу 2.....	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ПРІОРИТЕТУ .....	43
3.1 Обґрунтування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» та визначення його типів .....	43
3.2 Визначення геометричних параметрів спеціальної смуги, що впроваджується у зоні перехрестя.....	48



3.3	Визначення межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя».....	59
	Висновки до розділу 3.....	71
	<b>РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ ДЛЯ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ .....</b>	<b>72</b>
4.1	Розробка транспортної моделі міста.....	72
4.2	Дослідження ефективності запропонованих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць у реальних умовах	81
	Висновки до розділу 4.....	89
	<b>РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....</b>	<b>90</b>
5.1	Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта .....	90
5.2	Технічне рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	91
5.3	Пожежна безпека.....	95
5.4	Безпека у надзвичайних ситуаціях.....	96
	ВИСНОВКИ.....	99
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	101
	ДОДАТКИ.....	107





## ВСТУП

Внаслідок політичних і соціально-економічних змін впродовж двох останніх десятиліть у країнах східної Європи, в тому числі і в Україні, істотно змінились транспортні потреби населення та їх суть. Це насамперед проявилось у швидкому зростанні кількості індивідуальних транспортних засобів у великих і значних містах, що, своєю чергою, породило низку транспортних проблем, зокрема таких як перевантаження вулиць дорожнім рухом, збільшення витрат часу на поїздки та кількості вимушених зупинок, зростання аварійних ситуацій і дорожньо- транспортних подій, виникнення заторів, хімічного та шумового забруднення довкілля тощо.

Аналізуючи ситуацію, яка склалася останнім часом, можна стверджувати, що зростання кількості транспортних засобів (ТЗ) на території України буде продовжуватись попри зменшення чисельності населення. Для продовження ефективного функціонування індивідуальних транспортних засобів у містах необхідно, щоб не існувало диспропорції між їхньою кількістю та вулично-дорожньою мережею (ВДМ). У містах ВДМ зазвичай відстають від розвитку самого рухомого складу і через це функціонують у постійно перевантаженому стані, ознакою чого є регулярні затори. З огляду на це, зниження завантаження ВДМ рухом є сьогодні однією з найгостріших проблем для міст України і стала найактуальнішою як у транспортній, так і в соціально-економічній сферах.

Проблему такого характеру вирішують шляхом раціонального використання вулично-дорожніх мереж або ж їхньої реконструкції, що реалізується впровадженням автоматизованих систем керування дорожнім рухом (АСКДР) та інших технічних засобів організації дорожнього руху (ОДР). Але не завжди в умовах міста можливо ефективно реалізувати ці підходи. Перший через те, що не завжди дає очікувані результати, оскільки кардинально не змінює проблему, а лише оптимізує її, другий – через значні капіталовкладення, затрати часу та функціональні характеристики вулично-ї мережі.

Тому останнім часом, зокрема у країнах східної Європи, значно поширив-



ся третій підхід, що полягає в ефективній організації міського пасажирського громадського транспорту, і це в результаті дозволяє скоротити обсяги користування приватними автомобілями, що є переважною часткою серед існуючих транспортних потоків, таким чином знижується завантаження вулично-дорожніх мереж.

Як показує досвід багатьох міст Європи та інших континентів, в яких проблема прогресу автомобілізації виникла набагато раніше, вливання коштів у будівництво нових доріг і вулиць та їх розширення призвело до ще більших переважань вуличних мереж, заторів та втрат часу на переміщення. Збільшення кількості автомобілів одночасно посилює або навіть загострює багато інших проблем, зокрема організацію паркування ТЗ, зростання кількості аварійних ситуацій і дорожньо-транспортних подій, забруднення довкілля тощо. Ці проблеми, зокрема забруднення довкілля, зумовлюють переїзд мешканців міст, на їх околиці, що веде до розширення меж міста, збільшення відстані і тривалості поїздок, а також їх кількості. В результаті населення перетворюється з суспільства мультимодального (у якому споживачі мають безліч альтернатив для здійснення поїздок або переміщень) на залежне від індивідуальних транспортних засобів. Як наслідок, такі міста перебувають у замкнутому колі, де збільшення кількості доріг призводить до збільшення кількості ТЗ.

Незважаючи на очевидність усіх цих проблем у недалекому майбутньому багато міст країн, що розвиваються повторюють або впритул підходять до тих самих помилок. У той же час є випадки, коли міста «перестрибують» або «пропускають» еру домінування індивідуальних ТЗ, а відповідно і її наслідки. Такий розвиток міст був досягнутий завдяки підвищенню якості роботи громадського транспорту та створення умов для немоторизованих видів транспорту. Його реалізація потребує набагато менших фінансових ресурсів, які, як правило, є обмеженими у містах, що розвиваються.

Сьогодні в українських містах, серед наявих видів громадського міського транспорту, є велика потреба розвитку виду саме маршрутних міських автобусів, оскільки вони є найбільш поширеними, основними видами пасажирського



маршрутного транспорту для населення міст.

Заради підвищення якості транспортного обслуговування та перевезення пасажирів даним видом транспорту в межах ВДМ необхідно покращувати його конкурентоспроможність через надання переваги у русі відносно інших учасників руху. Дана перевага може реалізуватись застосуванням методів забезпечення пріоритетності руху. Насамперед до них відносять забезпечення пріоритету на перехрестях та впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць. Виокремлення спеціальних смуг на перегонах вулиць дорожньої мережі залежить від багатьох чинників, але умови їхнього запровадження на сьогоднішній день визначаються загальними та не досить точними рекомендаціями, тоді як фактично відсутні чіткі й адекватні критерії визначення самої доцільності запровадження спеціальних смуг.

Забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях є одним із основних завдань при організації пріоритетного руху автобусів на ВДМ міста, оскільки найбільші їхні затримки виникають саме на них. До переліку умов, у яких складно забезпечити пріоритетний проїзд, особливо просторово-часовий, відносяться регульовані перехрестя, підходи яких в одному напрямку мають не більше двох смуг руху.

Наразі в містах України впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць для автобусів та застосування методів, що забезпечують їм пріоритет на регульованих перехрестях, перебувають на початковому етапі. Отже, є потреба у їхньому вивченні, дослідженні та вдосконаленні для поширення їхнього застосування.

Зазначене вище і визначає загалом **актуальність теми** дисертаційної роботи та дозволяє сформулювати тему роботи.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Дану роботу виконано у відповідності до Транспортної стратегії України до 2020 року (схвалена розпорядженням КМУ від 20.10.2010 р. № 2174-р).

**Мета і завдання дослідження.** Метою даної роботи є вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху на міській вулично-дорожній мережі



для маршрутних автобусів методом визначення і обґрунтування критеріїв запровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг та розробка методу, який забезпечить для них на регульованих перехрестях просторово-часовий пріоритет.

Заради досягнення мети у даній роботі визначені наступні основні завдання дослідження:

1. Проведення аналізу для маршрутних автобусів на ВДМ методів забезпечення пріоритетного руху.
2. Визначення і обґрунтування критеріїв запровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг.
3. Розробка методу, що забезпечить на регульованих перехрестях просторово-часовий пріоритет, встановлення межі області ефективного його застосування та дослідження особливостей його функціонування на реальному міському перехресті.
4. Визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до координованого та ізольованого регульованого перехрестя за допомогою імітаційної моделі максимальної довжини черги транспортних засобів.
5. Розробка транспортної моделі міста та з її допомогою оцінка доцільності впровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг за визначеними критеріями.

**Об'єктом дослідження** є реальний дорожній рух на перегонах вулиць та регульованих перехрестях ВДМ міста.

**Предметом дослідження** є покращення методів забезпечення для маршрутних автобусів пріоритетного руху на перегонах вулиць та регульованих перехрестях ВДМ міста.

**Методи дослідження.** Методи математичної статистики і випадкових процесів, теорії ймовірності, імітаційного моделювання та мова програмування Objective-C використані для визначення на основі значення максимальної довжини черги транспортних засобів оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до координованого та ізольованого регульованого перехрестя.



### **Наукова новизна отриманих результатів:**

- було обґрунтовано, що мінімальний обсяг пасажиропотоку є основним показником критерію запровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, для визначення якого запропонована емпірична формула, яка враховує на перегонах особливості дорожньо-транспортних умов;
- був розроблений метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», його запровадження дасть змогу зменшити на регульованих перехрестях затримки автобусів, особливо, якщо підходи до них в одному напрямку мають не більше двох смуг руху;
- подальший розвиток отримав підхід стосовно створення імітаційної моделі для визначення на підході до ізольованого регульованого перехрестя максимальної довжини черги транспортних засобів, що відрізняється від існуючих використанням для розподілу часових інтервалів між транспортними засобами, які надходять до перехрестя, закону Гіпер-Ерланга, і це дає можливість підвищити адекватність результатів створеної моделі;
- вперше було отримано аналітичний опис процесу формування черги на регульованому перехресті, суміжному в напрямку координації, а також запропоновано алгоритм розрахунку за допомогою імітаційного моделювання їхніх максимальних значень.

**Практичне значення отриманих результатів.** Була розроблена методика для застосування на перегонах вулиць спеціальних смуг, що включає запропоновані критерії запровадження, за допомогою яких об'єктивно можна оцінити доцільність їхнього функціонування. Для визначення максимальної довжини черги транспортних засобів на підході до координованого та ізольованого перехрестя були розроблені імітаційні моделі, що дають змогу використовувати їх як для визначення оптимальної довжини на підході до перехрестя спеціальної смуги, так і для поточного аналізу за показником максимальної довжини черги роботи регульованих перехресть.

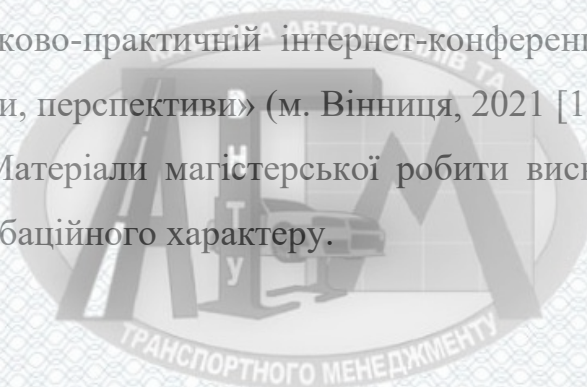
**Особистий внесок здобувача.** Дана кваліфікаційна робота є цілком самостійним науковим дослідженням. Потрібний особистий внесок здобувача



підтверджено виступами на багатьох університетських конференціях.

**Апробація результатів роботи на наукових конференціях.** Основні положення магістерської роботи доповідалися і обговорювалися на Всеукраїнській науково-практичній інтернет-конференції «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи» (м. Вінниця, 2021 [18] р.)

**Публікації.** Матеріали магістерської роботи висвітлені у 1 опублікованій науковій праці апробаційного характеру.





## РОЗДІЛ 1

# АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА І ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ РОБОТИ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ НА НІЙ

### 1.1 Визначення функцій спеціальних смуг та їх видів

Для переважної більшості міст України громадський транспорту (ГТ) є однією з основних галузей життєзабезпечення. Від його роботи залежить господарський і соціальний стан у місті, а також він визначає ритм функціонування сфери виробництва і послуг [11]. Ефективність функціонування наземного ГТ міста залежить, з одного боку, від якості організації та експлуатації їх автотранспортними підприємствами, а з іншого – від раціональної організації дорожнього руху на ділянках вулично-дорожньої мережі (ВДМ), через які проходять ці маршрути.

Ці два напрямки є на сьогодні достатньо опрацьовані у технічній літературі, зокрема проблемі раціональної організації дорожнього руху в містах присвячені праці багатьох зарубіжних і вітчизняних дослідників: Врубеля Ю.А., Гаврилова Е.В., Гаврилова А.А., Дрю Д., Дзюби О.П., Єресова В.І., Іносе Х., Кременця Ю.А., Клінковштейна Г.І., Левашева А.Г., Лобашова О.О., Лобанова Є.М., Печерського М.П., Пржибила П., Поліщука В.П., Сільянова В.В., Світека М., Хомяка Я.В., Хамади Т., Четверухіна Б.М., Шештокаса В.В., Шелкова Ю.Д., Scnabel W. й інших.

Важливо зазначити, що об'єктом досліджень згаданих учених здебільшого були транспортні потоки (ТП), з яких лише не відокремлювалися маршрутні ТЗ, хоча режим руху останніх, як відомо, відрізняється від руху легкових автомобілів. Цим і пояснюється те, що вдосконаленню існуючих методів щодо забезпечення пріоритетного руху на ВДМ міста та розробці нових – приділялося зовсім незначна увага.

Одним із основних методів забезпечення пріоритетного руху ТЗ на ВДМ



міста є впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць. Суть цього методу полягає у виділенні або відокремленні однієї чи декількох смуг руху, що з одного боку надає перевагу деяким видам ТЗ порівняно із іншими учасниками дорожнього руху, а з другого – формує однорідніші ТП на елементах ВДМ, що, своєю чергою, призводить до оптимізації швидкісних режимів. Крім того на водія ТЗ, який здійснює рух на спеціальній смузі, діє значно менше емоційне навантаження ніж у загальному потоці.

Проведений аналіз функцій спеціальних смуг у різних джерелах [1, 6, 13, 15-17, 20, 33-35, 42] дав змогу встановити, що залежно від мети транспортних завдань та умов руху на ВМД, вони можуть застосовуватись для таких видів транспорту:

- наземний громадський транспорт (автобус, тролейбус, трамвай);
- спецавтомобілі;
- автомобілі вантажного транспорту;
- немоторизований транспорт (велосипедисти та пішохідний рух);
- спеціальні автобуси та автомобілі таксі.

Доцільно розглянути застосування спеціальних смуг для цих видів транспорту ширше і детальніше.

1) *Спеціальні смуги для ГТ.* Впровадження спеціальних смуг для наземного ГТ, широко застосовуються з метою забезпечення пріоритетних умов руху та зниження затримок, що виникають під час руху, особливо на вулицях з високою інтенсивністю [6, 16, 20, 34]. Скорочення затримок безпосередньо пов'язане з підвищенням його роботи, оскільки призводить до звільнення парку рухомого складу при заданій величині пасажиропотоку і зменшенні кількості обслуговуючого персоналу. Оптимізація тривалості руху – це основна пріоритетна умова, яка, своєю чергою, створює передумови для збільшення кількості пасажирів, які будуть використовувати ГТ замість легкових автомобілів. Крім оптимізації тривалості руху, впровадження спеціальних смуг формує гомогенність потоків на непріоритетних смугах, покращує умови посадки-висадки пасажирів та робить ГТ привабливим і комфортним.



Значна увага, яка сьогодні приділяється до створення пріоритетних умов руху для ГТ, пояснюється тим, що він утворює менше викидів на пасажиро-кілометр порівняно з користувачами індивідуальних ТЗ, тобто ГТ має ряд переваг, які коротко можна сформулювати трьома «Е» – економія, енергія та екологія.

Зазвичай спеціальні смуги для ГТ займають крайні праві смуги руху вулиці та є особливо ефективними за непарної кількості смуг на проїзній частині. Як правило, при впровадженні спеціальних смуг вибір їх видів здійснюється за такими характеристиками [34]:

а) за відношенням до інших учасників руху:

- для руху в попутному напрямку;
- для руху у протилежному напрямку;
- для руху пріоритетних ТЗ в один ряд;
- для руху пріоритетних ТЗ у декілька рядів;

б) за часом:

- постійні;
- тимчасові;
- реверсивні;

в) за способом впровадження:

- виділені лініями, позначені буквами, кольором;
- відокремлені острівками, бар'єрами, піднятою проїзною частиною;

г) за місцем розташування у плані вулиці чи дороги:

- вправо або вліво від проїзної частини;
- в середині проїзної частини;
- на відокремленому полотні;

д) за способом приєднання до вулично-дорожньої мережі:

- спеціальні вулиці;
- спеціальні смуги на вулицях та дорогах;
- спеціальні смуги тільки на перегонах вулиць;

е) за швидкісними режимами:



- швидкісний режим встановлений правилами дорожнього руху;
- рекомендований швидкісний режим; є) за способом використання:
- для руху окремих видів наземного ГТ (наприклад, тільки для трамваїв або тільки для автобусів);
- для змішаного руху (наприклад, автобусів і тролейбусів);
- для руху ГТ та пішоходів або велосипедистів;
- для руху автомобілів, що повертають праворуч.

2) *Спеціальні смуги для спецавтомобілів.* Характерною особливістю роботи спецавтомобілів (ТЗ медичних, пожежних та аварійних служб тощо) є виконання невідкладних службових завдань, від тривалості яких, у багатьох випадках може залежати людське життя. Тому ця обставина вимагає максимально швидкого сполучення між двома точками на ВДМ та руху без зупинок. Зважаючи на те, що не завжди можливо забезпечити безперешкодний проїзд на елементах ВДМ, у країнах Європи та країнах інших континентів поширеним явищем є впровадження спеціальних смуг для спецавтомобілів [17, 20, 26, 37]. Крім того, спеціальні смуги для спецтранспорту є обов'язковими на таких спорудах, як шляхопроводи, естакади, тунелі, оскільки при перевантаженні їх ТП, характеристики цих споруд унеможливають швидкий та безперешкодний проїзд спецавтомобілів до визначеного місця.

3) *Спеціальні смуги для вантажного транспорту.* У міському середовищі організація вантажного транспорту зводиться до таких заходів [35]:

- направлення транзитних вантажних ТЗ на спеціально розроблені для них маршрути;
- обмеження доступу вантажних ТЗ у визначені зони міської території на певні магістралі або їх ділянки;
- обмеження використання усієї ширини проїзної частини вулиці вантажними ТЗ;
- проектування та будівництво спеціальних доріг для руху вантажного транспорту.

Наведені заходи можна узагальнити тим, що організація руху вантажних



ТЗ базується на введенні обмежень аж до повної їх заборони. Застосування таких заходів пояснюється тим, що чим вища частка вантажних автомобілів у потоці, тим більше небезпечні є вулиці, характеризуються високим рівнем шуму та низьким рівнем зручності руху. Збільшення кількості вантажних ТЗ у потоці з 10 до 90 % викликає зниження пропускну здатності з 23 до 35 % [15, 35]. Однак при забороні руху вантажним ТЗ на будь-якій вулиці чи дорозі або її ділянці повинен бути забезпечений певною мірою рівноцінний альтернативний рух на інших вулицях. Тому повну заборону вантажного руху у місті можна вводити тільки для транзитних вантажних ТЗ, оскільки місцевий вантажний рух, як правило, має необхідність в обслуговуванні підприємств, торгових точок і населення.

На ВДМ міста можна виділити вулиці і дороги, на яких ТЗ вантажного транспорту домінують у потоці (промислові зони, комунально-складські території та зони зовнішнього транспорту міста тощо). Зрозуміло, що найефективнішим заходом для покращення їх транспортного обслуговування та зменшення кількості і тяжкості конфліктних ситуацій між ТЗ різних видів, є, звичайно, ізоляція інших учасників дорожнього руху (індивідуальний, громадський та немоторизований транспорт). Однак для цього потрібні кардинальні зміни у функціональних елементах транспортної системи міста, або перенесення пунктів генерації і тяжіння з цих територій.

Для покращення організації руху в таких умовах (коли вантажні ТЗ переважають у потоці або при неможливості повного їх обмеження) пропонується впроваджувати спеціальні смуги для вантажних ТЗ [35, 42]. Надання вантажним ТЗ пріоритету у русі на окремих смугах дає змогу підвищити пропускну здатність елементів ВДМ, впорядкувати ТЗ різні за якісним складом, зменшити кількість обгонів, що тим самим підвищує безпеку і комфорт руху в потоках загалом. Такі дії слід застосовувати на вулицях і дорогах за наявності трьох і більше смуг руху в одному напрямку.

4) *Спеціальні смуги для немоторизованого транспорту.* До немоторизованого транспорту, як відзначено, відносять пішохідні потоки та велосипед-



ний транспорт. Спеціальні смуги для пішохідних потоків виділяються тимчасово на проїзній частині вулиці вздовж тротуарів у випадках, коли необхідно забезпечити нормальні умови руху при паралельному направленні пішоходів по відношенню до напрямку руху транспортних засобів після завершення масових заходів або при масовому односторонньому колонному русі людей. Таке організаційне рішення дозволяє зменшити тривалість руху пішоходів, а найголовніше – підвищити їх безпеку переміщення.

Спеціальні смуги для велосипедного транспорту застосовуються у випадках вираженого одностороннього масового руху велосипедистів до місць призначень у певні періоди доби [42]. Також велосипедні потоки можуть функціонувати на спеціальних смугах у поєднанні з ГТ.

5) *Спеціальні смуги для спеціальних автобусів та автомобілів таксі.* Названі учасники транспортного процесу виконують пасажирські перевезення, але відрізняються від ГТ організацією своєї роботи, оскільки володіють невідзначеністю з позиції переміщення між двома пунктами у місті. Це дає підставу відокремити їх в окрему групу.

Автомобілі таксі, які мають дещо вищий рівень пасажирського обслуговування, користуються правом руху на спеціальних смугах в окремих випадках. Приводом цього є потреби швидкого сполучення з вузлами зовнішнього транспорту у місті (аеропорт, залізничний вокзал, автовокзал, порт тощо) [42]. Така організація руху знижує витрати часу на транспортне сполучення та підвищує комфорт пасажирських перевезень.

Проведений аналіз свідчить про те, що область доцільного застосування методу, який ґрунтується на впровадженні спеціальних смуг, має значно ширші межі і дає змогу вирішувати різноманітні транспортні завдання.

Від впровадження спеціальних смуг на елементах ВДМ для будь-яких з вищезгаданих видів транспорту значення деяких показників якості організації дорожнього руху будуть характеризуватися такими змінами: табл. 1.1.



Таблиця 1.1 – Тенденції щодо зміни деяких показників ОДР від впровадження спеціальних смуг на ВДМ

Показники якості дорожнього руху	Умови руху	
	на спеціальних смугах	на неперіоритетних смугах
інтенсивність руху	збільшення	зменшення
швидкість сполучення	збільшення	—
регулярність руху	збільшення	—
гомогенність потоку	збільшення	збільшення
кількість ДТП	зменшення	зменшення
безпека дорожнього руху	підвищення	підвищення

## 1.2 Визначення існуючих методів забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях

Одним із основних завдань організації пріоритетного руху маршрутних автобусів (МА) на ВДМ міста є його забезпечення на регульованих перехрестях, тому що найбільші їхні затримки виникають саме на них [18, 25] (інколи вони становлять 50 % від сумарної затримки автобуса на маршруті). Сьогодні як науковими дослідниками, так і спеціалістами практичної діяльності вважається, що для забезпечення пріоритетного руху на регульованих перехрестях існує багато методів та способів, які через тісний взаємозв'язок і взаємодоповнюваність, яка є між ними, складно поєднати в незаперечну та чітку класифікацію. Аналіз цих методів у різних джерелах [1, 13, 16, 26-27, 31, 34-35, 42, 47, 53] дозволив визначити їх класифікацію (рис. 1.1), що охоплює два типи регульованих перехресть за видом керування на них: такі, що об'єднані системою координованого керування (координовані перехрестя) та ізольовані перехрестя. Для ізольованих перехресть наявні методи поділяють на три групи: такі, що забезпечують пріоритет у часі, пріоритет у просторі та просторово-часовий пріоритет. Методи, які забезпечують пріоритет на координованих перехрестях, поділяють на дві групи – часовий і просторово-часовий пріоритет.



Такий поділ на групи певним чином є умовним, оскільки реалізація методів, які забезпечують просторовий пріоритет, не може не позначатись на зміні параметрів керування світлофорною сигналізацією на даному перехресті, що являється його часовим аспектом функціонування. До прикладу, обмеження для непріоритетних потоків поворотів на перехресті одночасно дозволяє або збільшити тривалість дозволеного сигналу у напрямку руху МА, або зменшити тривалість циклу, що є заходами, які забезпечують пріоритет у часі. Однак для визначення переваг і недоліків в існуючих методах, доцільно вдаватися до їх узагальнень та класифікації, хоча дещо умовної.

*Пріоритет на ізольованих перехрестях.* Методи, що забезпечують пріоритет у просторі на ізольованому перехресті можна поділити на два види. Методи першого виду базуються на обмеженні деяких поворотів для не пріоритетних ТП, другого – на використанні спеціальних смуг та організації поворотів. Обмеження поворотів може здійснюватися до пересічення, заміною на розворот (відносять від перетину на перегін вулиці) і повною заборонаю маневрів (зазвичай ліворуч або праворуч). Це дає змогу скоротити кількість фаз світлофорного регулювання і тим самим або збільшити тривалість дозволеного сигналу у напрямку руху МА, або зменшити тривалості циклу.





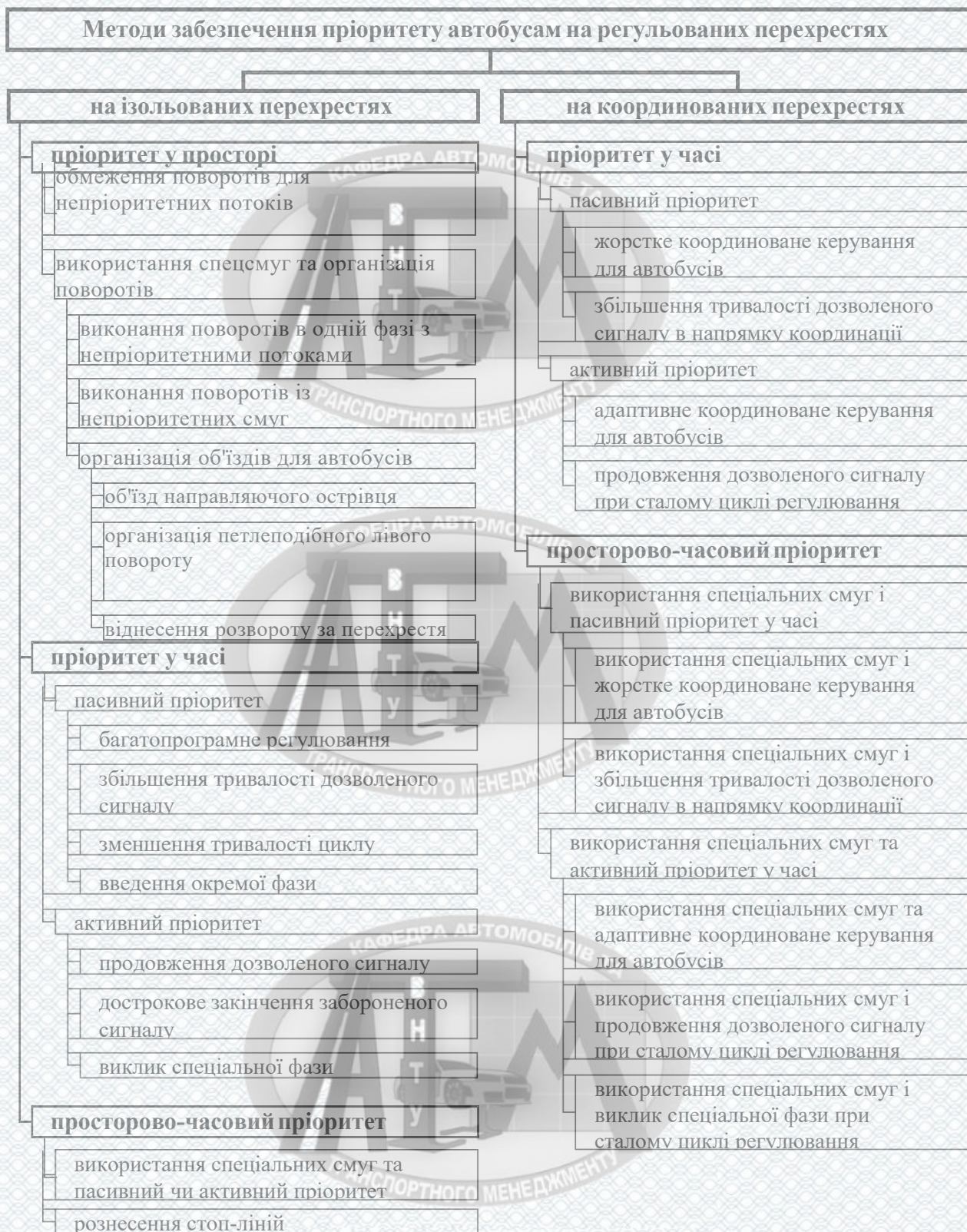


Рисунок 1.1 – Класифікація існуючих методів забезпечення пріоритету автобусам на регульованих перехрестях



Методи другого виду застосовують тоді, коли впровадженні спеціальні смуги на перегонах не перериваються на перехрестях [13, 35, 42]. При цьому залежно від умов на останніх, для організації поворотів існує ряд рішень, зокрема виконання поворотних маневрів зі спеціальної смуги в одній фазі з неперіоритетними ТП і зі смуг для неперіоритетних ТП, а також організація об'їздів для МА (об'їзд направляючого острівця, організація петлеподібного лівоповоротного маневру і віднесення розвороту за перехрестя).

Рішення про виконання маневрів МА зі спеціальної смуги в одній фазі з неперіоритетними ТП є ефективне, коли їх роз'їзд, а також рух пішоходів здійснюється при оптимальній кількості фаз та з мінімальною кількістю конфліктних точок. Однак не завжди умови на перехресті дозволяють забезпечити повну сегрегацію і безконфліктне функціонування між цими учасниками руху без збільшення тривалості циклу (через введення додаткових фаз регулювання). Тому таке рішення, зазвичай, застосовується для руху прямо в одному напрямку, або у поєднанні з тим, при якому окремі маневри МА виконуються з неперіоритетних смуг, в'їзд на які здійснюється після виходу зі спеціальних смуг при наближенні до перетину.

Виконання маневрів зі смуг для неперіоритетних ТП є, очевидно, найпростішим рішенням з точки зору його впровадження (не потребує навіть змін у параметрах керування світлофорної сигналізації). Доцільність застосування визначає інтенсивність правоповоротних неперіоритетних ТП (до 200 авт./год). Ускладнюється реалізація такого рішення, зокрема лівоповоротного (правоповоротного) маневру, коли спеціальна смуга займає крайню праву (ліву) смугу на проїзній частині. Щоб здійснити відповідний маневр, МА необхідно перетнути усі неперіоритетні смуги до перехрестя, і після нього, якщо спеціальна смуга займає попереднє положення. Завдання ще більше ускладнюється при роботі автобусів великого та особливо великого класу (більше 12 м) в насичених умовах руху.

Тому як перше рішення, а особливо друге – є заходами початкових етапів



щодо забезпечення пріоритету на перехрестях. Основною їх перевагою є лише те, що вони не вимагають значних змін у режимі керування та переплануванні перехрестя [42].

Організація маневрів через здійснення об'їзду направляючого острівця, організація петлеподібного лівоповоротного маневру, а також віднесення розвороту за перехрестя застосовують у тих умовах, в яких існують труднощі щодо забезпечення повороту ліворуч для МА, або при економічній недоцільності виділення для них спеціальної фази у режимі світлофорного регулювання.

Недоліками застосування так званих «об'їздів» для МА є збільшення маневрів у зоні перехрестя (у випадку направляючого острівця і петлеподібного маневру), рух з низькими швидкостями на об'їзних ділянках, збільшення перепробігу (зокрема у випадку віднесеного розвороту), а також їх застосування потребує значної площі у зоні перехрестя чи розвороту, що не завжди можливо на існуючій вуличній мережі.

Забезпечення пріоритету в часі може приймати одну із двох форм – пасивну, за якої використовуються жорсткі алгоритми керування світлофорної сигналізації, та активну, що проявляється через адаптивні алгоритми керування [26, 42-44, 47].

Пасивний пріоритет реалізується або через багатопрограмне світлофорне керування [16, 31, 35], або через корекцію циклу: збільшення тривалості дозволеного сигналу; зменшення тривалості циклу; введення окремої фази [21, 26, 42].

Багатопрограмне жорстке керування застосовують з метою адаптації параметрів керування світлофорної сигналізації до коливань добової інтенсивності руху. Це дозволяє зменшити затримки для усіх ТП, хоча їх рівень не є оптимальним [4, 15, 23]. Також очевидно, що таке керування не забезпечує перевагу у русі МА по відношенню до інших учасників руху, а тому є початковим етапом на шляху забезпечення пріоритету на перехрестях.

Збільшення тривалості дозволеного сигналу в напрямку руху МА застосовують тоді, коли на конфліктуючих напрямках їх рух відсутній. Такі дії при-



водять до збільшення пропускну́ї здатності цього напрямку, ймовірності проїзду на дозволений сигнал світлофора і швидкості усіх ТЗ. Основним недоліком цього способу є неефективний режим керування для конфліктуючих напрямків.

Зменшення тривалості циклу застосовують тоді, коли умови на перехресті дають можливість заборонити деякі маневри для неперіоритетних ТП. Це дозволяє зменшити кількість фаз, що приводить до зменшення неефективної частини циклу (кількості і сумарної тривалості додаткових тактів). Завдяки цьому зменшується тривалість затримок як для неперіоритетних потоків, так і для тих, яким у такий спосіб надають пріоритет. Цей спосіб ще часто застосовують у поєднанні з попереднім [42]: здійснюють заборону деяких маневрів для неперіоритетних ТП і збільшують тривалість дозволеного сигналу у напрямку руху МА на зменшену величину.

Введення окремої фази для МА при жорсткому режимі керування на перехресті переважно залежить від їх інтенсивності у певному напрямку (також від типу конфліктних точок та геометрії перехрестя). Чітких критеріїв щодо граничних її значень наразі не встановлено. Зазвичай приймають за аналогією з введенням додаткової секції (120 авт./год) [14, 17], однак у випадку забезпечення пріоритету для автобусів ці значення є набагато меншими.

Зрозуміло, що недоліком введення додаткової фази є збільшення сумарної тривалості додаткових тактів, тому завжди вважається небажаною з точки зору оптимальності керування на перехресті.

Усі методи активного пріоритету реалізуються за допомогою детектування МА на під'їзді до перехрестя, після чого відбуваються відповідні модифікації режимів роботи світлофорної сигналізації. Це забезпечує їм проїзд перехрестя без зупинок або з мінімальними затримками, тобто абсолютний та умовний пріоритет [26, 31, 35, 42]. Умовний пріоритет можуть ієрархічно розділяти на різні рівні його забезпечення (наприклад, високий, середній і малий) [34]. Забезпечення абсолютного чи умовного пріоритету або його відсутність залежить від багатьох критеріїв. З огляду на це, абсолютний пріоритет можуть надавати усім видам наземного ГТ лише у певному напрямку, тільки автобусам, автобу-



сам з найбільшою перевізною здатністю, тільки тим автобусам, що запізнюються порівняно з часом прибуття за розкладом, але не надається тим, які прибувають раніше [47-48]. Також абсолютний і умовний пріоритети можуть змінюватися залежно від характеру прибуття МА до перехрестя – при одночасному прибутті двох автобусів один за одним, абсолютний пріоритет забезпечується лише першому [10].

Детектування одиниць пріоритетного транспорту може здійснюватися у контактний та безконтактний спосіб. Безконтактний – можливий як з використанням локальних систем, які базуються на радіозв'язку, так і центральних систем, що використовують GPS (точність виявлення до 10–20 м).

Контактний пріоритет проїзду здебільшого використовують тролейбуси і трамваї, безконтактний – автобуси. Хоча через істотні недоліки контактного способу [26], усе частіше віддають перевагу безконтактному способу, який базується на GPS для усіх згаданих транспортних засобів [21].

Найпоширенішим серед адаптивних алгоритмів, що забезпечують пріоритет, є алгоритм продовження дозволеного сигналу [43-44]. Цей алгоритм реалізується в момент появи МА на підході до перехрестя у період завершення дії дозволеного сигналу. Унаслідок цього, його тривалість продовжується на визначений період часу і цим самим забезпечує проїзд перехрестя без затримок. За аналогією реалізації цей алгоритм ще називають алгоритмом «пошуку часового розриву у потоці» у напрямку руху МА [31, 35].

Для забезпечення пріоритету в момент прибуття МА до перехрестя у період дії забороненого сигналу, використовується алгоритм дострокового завершення забороненого сигналу [26, 42]. Особливо утруднюється реалізація цього алгоритму при наявності пішохідного руху у фазі, яку необхідно достроково завершити.

Недоліки цих алгоритмів найчастіше проявляються при значній інтенсивності непріоритетних ТП на підходах до перехрестя, оскільки виникають труднощі з ідентифікацією МА, особливо у випадку контактного способу детектування, внаслідок чого пріоритетність на перехресті порушується.



Найефективнішим алгоритмом, з позиції забезпечення абсолютного пріоритету, вважається алгоритм виклику спеціальної фази, поява якої можлива в будь-який момент циклу регулювання [13, 17, 26]. Для того, щоб при реалізації цього алгоритму на перехресті забезпечувалось ефективне керування світлофорною сигналізацією застосовуються технології «компенсації» [26]: після того як автобус отримав пріоритетний проїзд за допомогою спеціальної фази витрати часу непріоритетних ТП компенсуються шляхом продовження дозволеного сигналу в їх напрямках на довший період.

Недоліком цього алгоритму є те, що при значній інтенсивності прибуття МА до перехрестя забезпечення абсолютного пріоритету утворює «скачкоподібний» режим керування для непріоритетних ТП, від чого зростає величина їх затримок. Мало того, конфліктуючі напрямки можуть перебувати в умовах майже постійної дії забороненого сигналу. У зв'язку з цим, у [42] зазначено, що інтервал руху між автобусами повинен бути не менше, ніж 2,5 хв., хоча забезпечувати умовний пріоритет усе ж можливо [3]. Також абсолютний пріоритет для одних автобусів може створювати проблеми для інших.

Вищезгадані три адаптивні алгоритми, як правило, застосовуються у тих умовах, коли детектування автобусів відбувається на невеликій відстані від перехрестя (до 200 м). З іншої боку, у випадках лінійної, радіальної структури автобусного маршруту застосовують технології, при яких виявлення місцезнаходження автобуса здійснюється на значній відстані від перехрестя (наприклад, 3 хв. від перехрестя). В результаті цього виконується поступова адаптація параметрів керування світлофорною сигналізацією для того, щоб ввімкнути дозволений сигнал у момент прибуття автобуса до перехрестя. Перевагою є менш раптовий вплив на світлофорне регулювання, що підвищує ефективність роботи перехрестя. Але у значній мірі залежить від точності прогнозу перебування автобуса в дорозі, що складніше реалізувати, коли автобус знаходиться далеко від перехрестя.

При значній інтенсивності прибуття МА до перехрестя зазвичай застосовують методи третьої групи, що забезпечують просторово-часовий пріоритет.



Їх можна поділити на два види. Методи першого виду використовують спеціальні смуги та алгоритми пасивного або активного пріоритету. До методів другого виду віднесено метод рознесення стоп-ліній для непріоритетних ТП та автобусів, який ще називають автобусні «шлюзи» [41, 53].

Переваги методів першого виду, зокрема використання спеціальних смуг та алгоритмів активного пріоритету, є очевидні: автобуси завжди мають вільний доступ до перехрестя (залежить лише від інтенсивності їх прибуття) і пропускаються через його площу в безконфліктний спосіб.

У таких умовах абсолютний пріоритет за безконфліктного пропуску автобусів з непріоритетними ТП в одній фазі може досягаться за допомогою алгоритму продовження дозволеного сигналу та дострокового завершення забороненого, а при конфліктному – за допомогою алгоритму виклику спеціальної фази. При використанні алгоритмів пасивного пріоритету можна забезпечити лише умовний пріоритет (проїзд перехрестя з мінімальними затримками), а ефективність роботи перехрестя підвищується тоді, коли МА пропускаються в одній фазі з непріоритетними ТП.

Якщо спеціальна смуга займає крайню ліву смугу на проїзній частині, то це ускладнює організацію правоповоротних маневрів і, навпаки, якщо виділена крайня права смуга, ускладнюється організація лівоповоротних маневрів, проте з використанням спеціальних фаз це можливо [42].

Суть методу рознесення стоп-ліній полягає у розміщенні двох стоп-ліній, одну з яких розміщують, безпосередньо біля перехрестя, а додаткову – на деякій відстані від перехрестя. Додаткова стоп-лінія вказує місце зупинки непріоритетних ТЗ. Їхній в'їзд у «шлюз» (простір між двома стоп-лініями) регулюється додатковим світлофором, який встановлюють перед додатковою стоп-лінією. В момент дії забороненого сигналу на додатковому світлофорі для МА, що використовують спеціальну смугу, відкривається доступ до шлюзу. До того ж вони можуть легко здійснювати поворотні маневри не залежно від розміщення спеціальної смуги на проїзній частині (крайня ліва або права смуга). Коли починає діяти дозволений сигнал, автобуси перші проїжджають перехрестя у ви-



значеному напрямку.

Цей метод доцільно застосовувати на перехрестях, у зоні яких відсутні зупинні пункти і є ефективним тільки при двофазному керуванні [42].

Недоліком цього методу є ускладнення схеми організації руху на перехресті, і як наслідок, додаткові труднощі з організацією пішохідних потоків через перехрестя, а також збільшення витрат на впровадження і експлуатацію додаткових технічних засобів (додаткових світлофорів). Одночасно зростає величина затримок для неперіоритетних ТП при збільшенні частоти руху МА.

Основним недоліком методів, що забезпечують просторово-часовий пріоритет полягає у тому, що їх реалізація зменшує кількість смуг на підході до перехрестя для неперіоритетного транспорту. Це може призводити до зростання кількості автомобілів у черзі біля перехрестя та зниження пропускної здатності як перетину, так і вулиці загалом.

1) *Пріоритет на координованих перехрестях.* Як вже зазначалося, усі методи, що забезпечують пріоритет на координованих перехрестях поділено на дві основні групи: методи, що забезпечують пріоритет у часті; методи просторово-часового пріоритету. Своєю чергою, залежно від наявності зупинних пунктів на ділянці координації, усі методи обох груп також можна умовно поділити на дві групи. До першої групи належать методи, які використовуються або тільки при наявності зупинних пунктів, або тільки при їх відсутності. До другої ж групи відносяться методи, які можуть використовуватися як при наявності зупинок, так і при їх відсутності.

Якщо зупинні пункти відсутні на ділянці координації, то пріоритет у часі можна забезпечити за допомогою жорсткого або адаптивного координованого керування для МА. З використанням цих же алгоритмів і при наявності спеціальних смуг забезпечується просторово-часовий пріоритет. Як при жорсткому, так і при адаптивному координованому керуванні, швидкість координації намагаються узгоджувати для обох учасників руху (автобусів та неперіоритетних ТП).

За наявності зупинних пунктів на ділянці координації стає складно точно



спрогнозувати прибуття автобусів до наступного перехрестя в попутному напрямку після здійснення ними зупинки. Тому застосовують методи, що забезпечують їм умовний пріоритет. У таких умовах пріоритет у часті можливо забезпечити за допомогою збільшення тривалості дозволеного сигналу в напрямку координації [35].

За допомогою адаптивного алгоритму продовження дозволеного сигналу, що виконується в умовах сталого циклу регулювання, можливо забезпечити пріоритет у часі як при наявності зупинок на ділянці координації, так і при їх відсутності. А при використанні спеціальних смуг – просторово-часовий пріоритет.

Недолік цього методу полягає у тому, що збільшення дозволеного сигналу завжди тягне за собою зменшення дозволеного сигналу на ту ж величину на конфліктних напрямках. Як наслідок, це зумовлює збільшення затримок непріоритетних ТП на цих напрямках, тому він є ефективним за незначної інтенсивності МА.

Для забезпечення просторово-часового пріоритету при різних умовах на ділянці координації (наявності або відсутності зупинок) інколи ще використовують метод, що базується на використанні спеціальних смуг та виклику спеціальної фази, яка виконується у сталому циклі регулювання [41, 54].

Недоліком усіх розглянутих методів є те, що ускладнюється їх реалізація за потреби забезпечити пріоритет з усіх можливих напрямків на перехресті, зокрема абсолютний пріоритет.

Проведений аналіз методів забезпечення пріоритету дає змогу зробити висновок, що методи просторового і часового пріоритетності добре функціонують за незначної інтенсивності непріоритетних та пріоритетних потоків. Використання просторово-часових методів може забезпечити пріоритетні умови руху та за збільшення інтенсивності, особливо МА. Найкращих результатів, з точки зору забезпечення абсолютного пріоритету, можна досягти за допомогою методу, що ґрунтується на використанні спеціальних смуг та виклику спеціальної фази.



Але з іншої сторони, буде неправильно один з методів, у якому одночасно найменше недоліків або найбільше переваг, прийняти в якості оптимального для усіх досліджуваних перехресть, тому що на кожному з них наявні різні дорожньо-транспортні умови, які потребують окремого підходу. З цієї причини, для досягнення найкращого результату з позиції забезпечення пріоритету на перехрестях, доцільно впроваджувати поєднання кількох методів з різних груп, причому для МА слід забезпечувати пріоритетні умови руху як у просторі, так і у часі. Мало того, при застосуванні будь-якого із методів або симбіозу кількох методів, необхідно слідувати до мінімізації затримок для пріоритетних і непріоритетних ТП та максимізації показників безпеки руху [24, 28].

Важливо зазначити, що впровадження методів, які забезпечують просторово-часовий пріоритет є особливо складним завданням на перехрестях, підходи яких мають в одному напрямку не більше двох смуг руху.

Тому для таких умов є потреба розробити метод, який забезпечуватиме просторово-часовий пріоритет на перехрестях, адже це дуже важливо для вуличної мережі міста з наявною щільною забудовою.

### 1.3 Особливості запровадження на вулично-дорожній мережі міста системи швидких автобусних перевезень

Одним з найпрогресивніших способів підвищення якості пасажироперевезень автобусами та вдосконалення їх роботи на ВДМ міста є впровадження системи «швидких автобусних перевезень» (*Bus rapid transit*), яка сьогодні поширена у країнах Європи і Південної Америки [42]. Термін «швидкі перевезення» не означає швидкість автобуса, а вказує на швидкість транспортного обслуговування. У транспортному обслуговуванні одночасне використання багатьох матеріальних об'єктів для таких перевезень дало підставу називати системою швидкі автобусні перевезення. Система ШАП – «швидкі автобусні перевезення» – поєднує такі елементи: технічні засоби, які забезпечують пріоритет руху на перехрестях, спеціальні смуги, зупинні пункти, рухомий склад (автобуси со-



бливо великої і великої місткості).

Системи «ШАП», як зазначено у [50, 51], визначається за такими сімома ознаками: 1) відокремлені або виділені спеціальні автобусні смуги; 2) інтегрована мережа маршрутів; 3) зупиночні пункти; 4) використання інтелектуальних транспортних систем, особливо на регульованих перехрестях; 5) автобуси особливо великої місткості з низькою посадкою; 6) оплата за проїзд 7) обслуговування (інтервал руху та регулярність).

Перевізна здатність автобусів та їхня швидкість, а також зупиночні пункти є основними складниками, які відрізняють систему ШАП від традиційних автобусних перевезень. Ця система, особливо в сфері обслуговуванні пасажирів, має набагато більше спільних рис з рейковим пасажирським транспортом. До системи ШАП узято найкращі елементи з метро і рейкового транспорту (швидкісний трамвай). Насамперед це стосується зупинних пунктів, які здебільшого створюються у закритому приміщенні, за прикладом метро, на яких посадка та висадка пасажирів відбувається з платформи, а оплата проїзду здійснюється перед посадкою в автобус.

Фактично система ШАП така ж зручна і ефективна, як швидкісний трамвай, але її реалізація та якісна експлуатація потребує значно менших коштів. Впровадження такої системи зазвичай вартує у 4–20 разів дешевше, аніж міський швидкісний трамвай, та у 10–100 разів менше, ніж метро [42], хоча за перевізною здатністю близька до них (рис.1.2).



Рисунок 1.2 – Перевізні здатність різних видів ГТ



Крім цього її можна впровадити за досить короткий строк (1–3 роки після розробки проекту). Порівняння різних видів ГТ з огляду на вартість та тривалість їхнього запровадження показано на рис. 1.3 [59].

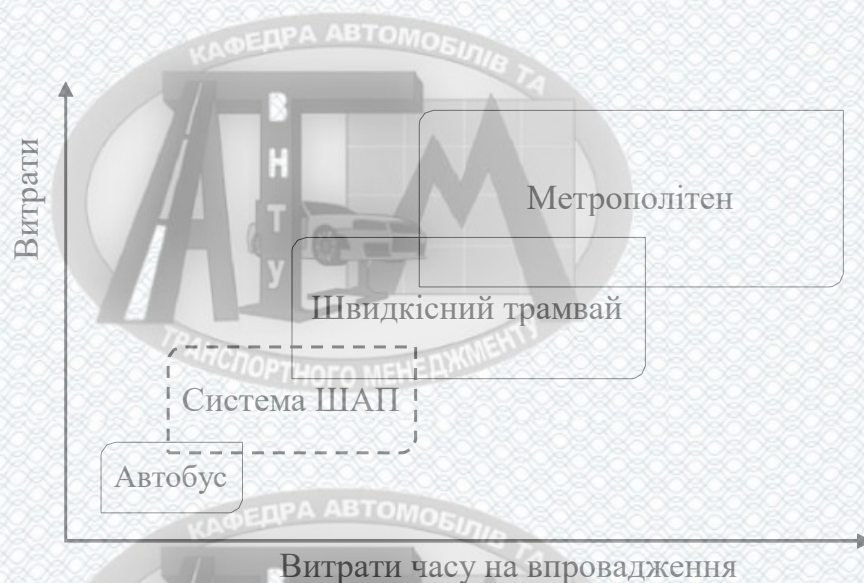


Рисунок 1.3 – Порівняння видів ГТ за вартістю і тривалістю впровадження

Системи ШАП є двох типів – «закрита» та «відкрита». Закрита система ШАП характеризується наступними властивостями: відокремлені автобусні вулиці або автобусні смуги уздовж основної частини маршруту; наявність зупиночних пунктів «за типом метро» – у закритому приміщенні; розташування не біля тротуару, а просто посередині вулиці спеціальних смуг; забезпечення перед посадкою в автобус здійснення плати за проїзд; забезпечення абсолютного пріоритету на перехрестях; наявність узгодженої єдиної мережі маршрутів системи ШАП.

На сьогодні одним з кращих прикладів функціонування повної системи ШАП є система TransMilenio у місті Боготі (Колумбія) [42, 45, 46]. Вона охоплює 84 км вулиць та 344 зупинок закритого типу «метро». В перевезеннях задіяно більше 840 автобусів з низькою посадкою особливо великої місткості, що обслуговують близько 1,5 млн. пас./добу, а в одному напрямку максимальна перевізна здатність складає 45 тис. пасажирів на годину. Перелік міст світу, у яких функціонують системи ШАП та їх основні характеристики наведено у



таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Функціонування системи швидких автобусних перевезень та її показники у містах різних світових країн

Континент	Країна	Місто	Експлуатаційна швидкість, км/год	Перевізна здатність,
Європа	Великобританія	Единбург	17,0	14000
	Нідерланди	Амстердам	21,0	8500
	Німеччина	Ессен	23,0	18000
Азія	Індонезія	Джакарта	17,0	3200
Північна Америка	Канада	Оттава	22,0	20000
	США	Пітсбург	19,0	8000
	Мексика	Мехіко	19,0	8000
		Леон	18,0	3000
Південна Америка і Карибський регіон	Бразилія	Сан-Паулу	18,0	20000
		Курітіба	19,0	13000
	Колумбія	Перейра	20,0	6900
		Богота	26,0	45000
	Чилі	Сантьяго	18,0	22000
	Еквадор	Кіто	14,5	9000
Гуаякіль		22,0	5000	

Невід’ємним елементом системи ШАП, як вже було зазначено, є відокремлені або виділені спеціальні смуги для автобусів уздовж маршрутів їхнього руху. З урахуванням цього, можна дійти висновку, що наявні спеціальні автобусні смуги на ВДМ є основою для створення системи ШАП та її розвитку.





## Висновки до розділу 1

1. Проведений аналіз показує, що підвищення якості транспортного обслуговування маршрутних автобусів на ВДМ міста досягається шляхом впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та застосування методів, які забезпечують пріоритет на регульованих перехрестях. Усі ці заходи поєднують одним терміном – методи забезпечення пріоритетного руху.

2. Було встановлено, що функції спеціальних дорожніх смуг мають широке використання та запроваджуються для наземного ГТ (автобусів, тролейбусів, трамваїв), спецавтомобілів, вантажних ТЗ, велосипедистів та пішохідних потоків. Наразі найбільше спеціальні смуги впроваджуються для автобусів. Однак поширення їх впровадження на ВДМ гальмується відсутністю адекватних і чітких критеріїв.

3. Визначено, що методи, які забезпечують просторово-часовий пріоритет на перехрестях, є ефективними і при значних значеннях інтенсивності руху (особливо автобусів), а також вони найкраще забезпечують абсолютний пріоритет. Перехрестя, підходи до яких мають в одному напрямку не більше двох смуг руху, відносяться до умов, в яких складно реалізувати просторово-часові методи.

4. Встановлено, що комплексне застосування кількох різних методів забезпечення на усій довжині автобусного маршруту пріоритетності руху реалізується запровадженням системи ШАП – «швидких автобусних перевезень», що значно відрізняється від звичайних автобусних перевезень швидкістю обслуговування, перевізною здатністю (може досягати 45000 пас./год), а також використанням закритих зупинних пунктів («за типом метро»). Впровадження спеціальних смуг на перегонах і забезпечення пріоритету на регульованих перехрестях є основою для створення системи ШАП, що і визначає завдання, які вирішуються у дисертаційній роботі.



## РОЗДІЛ 2

### ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБГРУНТУВАННЯ КРИТЕРІЇВ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ НА ПЕРЕГОНАХ ВУЛИЦЬ

2.1 Визначення існуючих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць

Загалом впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць можливо двома шляхами:

- постійним резервуванням однієї і більше існуючих смуг або усієї проїзної частини;
- реконструкцією вулиці чи дороги, з метою виділення або відокремлення спеціальних смуг.

В умовах постійного дефіциту інвестицій на реконструкцію міських вуличних мереж, 2-й підхід використовується дуже рідко. Його також не завжди можливо застосувати через складні транспортно-планувальні характеристики вулично-дорожньої мережі сучасних міст.

Значно частіше використовується перший підхід, однак сьогодні умови його запровадження визначаються загальними і недостатньо точними рекомендаціями, тобто відсутні адекватні та чіткі критерії для його впровадження. Наприклад, в [1] зазначається, що прийняття рішення про впровадження спеціальних смуг визначають за результатами проведених натурних експериментів, до числа яких входить визначення кількості всіх перевезених автобусами пасажирів за одиницю часу до та після запровадження пріоритетних умов.

Ефективність даного критерію виправдана в разі застосування його для певної частини маршруту або ж всього маршруту. Саме тому він не підходить для однорідних ділянок маршруту (перегонів вулиць). Крім того, неефективність цього рішення проявляється через великі затрати на проведення натурних досліджень та нездатність водіїв швидко адаптуватись до змін організації руху за подібних експериментів.



У [42] зазначається, що визначальним чинником при впровадженні спеціальних смуг на перегонах вулиць є мінімальна величина пасажиропотоку, яка становить 2000 пас./год. Однак у цих рекомендаціях немає аналітичного обґрунтування стосовно оптимальності даного значення, до того ж, даний критерій зовсім ніяким чином не враховує особливостей дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць ВДМ.

У [56], крім пасажиропотоку, в якості критерію використовують також такі показники як кількість смуг руху в одному напрямку, мінімальна інтенсивність руху автобусів та тип розташування спеціальної смуги у плані проїзної частини вулиці (тал. 2.1).

Таблиця 2.1 – Критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, що використовуються у Південній Кореї [56]

Тип розташування спеціальної смуги	Мінімальна інтенсивність автобусів, од./год	Мінімальний пасажиропотік, пас./год	Кількість смуг в одному напрямку
Крайня права смуга у попутному напрямку	60	1800	3
	100	3000	3–4
	150	4500	3–4
Крайня ліва смуга у попутному напрямку	150	4500	3–4
Крайня смуга у проти-лежному напрямку	100	3000	3
	150	4500	4

Такі ж критеріальні показники, за виключенням кількості смуг руху, використовуються при впровадженні спеціальних смуг у США [49]. Однак їх значення мають певні відмінності (табл. 2.2). Водночас використовується і верхнє обмеження на інтенсивність руху автобусів, яке становить 200 од./год.

У Великобританії [49] доцільність про впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць визначається за двома показниками: мінімальною інтенсивністю руху автобусів, що становить 50 од./год, та мінімальною величиною пасажиропотоку – 2000 пас./год.



Таблиця 2.2 – Критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, що використовуються у США [49]

Тип розташування спеціальної смуги	Мін. інтенсивність автобусів, од./год	Мін. пасажиропотік, пас./год
Крайня права смуга у попутному напрямку	30–40	1200–1600
Крайня смуга у протилежному напрямку	40–60	1600–2400
Крайня ліва смуга у попутному напрямку	60–90	2400–3600

Наразі в Україні для впровадження спеціальних смуг використовуються критерії, що запропоновані у роботах [13, 17, 27, 35], за якими їх введення на перегонах вулиць рекомендується розглядати за наявності таких умов:

- інтенсивність маршрутних автобусів не менше 40 од./год, хоча у [13, 27] це обмеження становить – 50 од./год;
- інтенсивність неперіоритетних ТЗ з розрахунку на одну смугу руху не менше 400 авт./год;
- на вказаному перегоні вулиці наявні не менше 3-х смуг руху в одному напрямку;
- пропускна здатність перегону вулиці після виділення спеціальних смуг буде достатньою для пропуску інших ТЗ.

Основним недоліком критеріїв, що запропоновані в більшості з розглянутих джерел є використання показника інтенсивності руху автобусів. Цей показник виступає у ролі аргументу, що дає підставу на впровадження спеціальних смуг і продуктивність їх використання. Однак він є непридатний до використання для різних типів автобусів, які сьогодні функціонують на міському пасажирському транспорті. У табл. 2.3 наведено типи автобусів (найпоширеніші в містах України) із значеннями стандартних перевізних здатностей згідно з мінімальною рекомендованою інтенсивністю руху автобусів на спеціальній смузі (40 автобусів/год).



Таблиця 2.3 – Перевізна здатність різних типів маршрутних автобусів

Тип автобуса		Загальна місткість автобуса, пас.	Перевізна здатність (при 40 автоб./год), пас./год
Клас автобуса	Марка		
Особливо малий	Еталон – БА3-2215	18	720
	Богдан – А-06921 (Е-2)	35	1400
Малий	Еталон – БА3 А079.14	40	1600
	Богдан – А-09201 (Е-1)	45	1800
Середній	Богдан – А-1443 (Е-1)	80	3200
Великий	ЛАЗ – А152D0 – (10 м)	88	3560
Особливо великий	ЛАЗ – А183D1 – (12 м)	105	4000
	ЛАЗ – А191F0 – (13 м)	120	4400
	Богдан – А-231 (Е-2)	160	6400
	ЛАЗ – А292 D1 (18,8 м)	186	7280

З табл. 2.3 видно, що використання цього показника як критерію може істотно зменшувати потенційну область застосування спеціальних смуг на перегонах вулиць (різниця у перевізній здатності становить більше 6 тис. пас./год). Тому при впровадженні спеціальних смуг необхідно використовувати не інтенсивність руху автобусів, а обсяги пасажиропотоку на них. А вже з пасажиропотоку визначати мінімальну інтенсивність автобусів різного типу.

На основі цього та за результатами проведеного аналізу можна сформулювати три принципові умови, за наявності яких впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць буде виправданим і називатимуться критерії впровадження:

- 1) критерій I: не менше 3-х смуг руху в одному напрямку ( $m \geq 3$ );
- 2) критерій II: мінімальний обсяг пасажиропотоку;
- 3) критерій III: стан ТП на неперіоритетних смугах після впровадження спеціальних.

Умова  $m \geq 3$  (критерій I) є обов'язковою, оскільки за меншого значення



режим і умови руху на  $k$ -й неперіоритетній смузі визначатимуть динамічні габарити ТЗ і мета дій його водія, що рухається попереду самостійно утвореної групи автомобілів. Хоча, як зазначається у [42], на практиці існують випадки, де для неперіоритетного потоку залишають одну смугу для руху з правом виїзду на спеціальну смугу при несприятливих обставинах. Однак таке рішення є прийнятним лише для невеликих за довжиною ділянок вулиць (не більше 200 м), а ефективність його функціонування залежить багато в чому від культури та поведінки водіїв конкретної країни. Отже, враховуючи цей факт для критерію І, приймаємо умову  $m \geq 3$ .

Зважаючи на це, кількість смуг руху в одному напрямку є першим і визначальним критерієм впровадження спеціальних смуг на перегонах. Критерій ІІ – визначає саму доцільність введення спеціальних смуг, а критерій ІІІ – визначає ефективність їх функціонування на ВДМ міста.

Розбіжність між мінімальними значеннями пасажиропотоку, що пропонуються у вищенаведених джерелах становить 3300 пас./год. З цих причин виникає необхідність у дослідженні цього показника і встановленні мінімальних обсягів пасажиропотоків при різних дорожньо-транспортних умовах на перегонах вулиць, за якими впровадження спеціальних смуг буде доцільним і виправданим.

## 2.2 Визначення та обґрунтування мінімального обсягу пасажиропотоку для впровадження спеціальних смуг

Для визначення мінімального обсягу пасажиропотоку необхідно розглянути умови, у яких вже функціонують спеціальні смуги, а здійснювати їхню оцінку слід за допомогою відомої системи – «Дорожні умови – Транспортні потоки» («ДУ – ТП») [6, 22, 38]. Аналізуючи внутрішню організацію та функції цієї системи було виявлено, що процес взаємодії підсистеми «Транспортні потоки» з результатом функціонування системи (перевезення пасажирів чи вантажів) можна позначити поняттям «обслуговування». З огляду на те, що підсис-



тема «ДУ» визначає режим руху та поведінку транспортних потоків, то описання її взаємодії з перевезеннями – продукцією системи – доцільно виконувати також з позначенням «обслуговування». Тоді можемо зробити припущення, що дорожні умови (вулиці, дороги, окремі ділянки доріг або вулиць) – надають *обслуговування* пасажиріам, а отже кожна смуга проїзної частині дороги або вулиці *обслуговує* визначену кількість пасажирів. Ознакою правильності цього припущення є застосування показника «Перевізна спроможність дороги» (т/год або пас./год), який дуже широко використовують для визначення транспортно-експлуатаційного стану вулиці чи дороги [30].

Після впровадження спеціальних смуг, у системі «ДУ – ТП» виявиться певна варіативна властивість – тобто у її структурі ній відбудеться низка змін, що в підсумку перетворить її на іншу систему [7, 9]. Отже, у підсистемі «ДУ» знову можна виділити дві підсистеми з пріоритетними і непріоритетними дорожніми умовами, тобто пріоритетні ( *тп* ) і непріоритетні ( *тн* ) смуги руху. Точно такі ж зміни відбудуться й у підсистемі «ТП», де з'являться непріоритетні ( *Мн* ) і пріоритетні ( *Мп* ) потоки. Подібні перетворення в системі «ДУ – ТП» обумовлені обмеженнями, визначеними впровадженням спеціальних смуг у вуличне середовище (потік *Мп* не може для руху використовувати непріоритетні дорожні умови, та навпаки, потік *Мн* не може використовувати спеціальну смугу, за виключенням окремих випадків) та зміною мети функціонування системи (забезпечення комфорту водію [12] та ефективних пасажироперевезень).

Після запровадження спеціальних смуг трансформацію стану системи «ДУ – ТП» можна зобразити у такий спосіб (рис. 2.1.).

Використовуючи трансформаційні характеристики можна зазначити, що порівнюючи величину кількості пасажирів, які обслуговуються підсистемою *СПд* за одиницю часу, до кількості, що буде обслуговуватися підсистемою *Снд* за цей же період, дає можливість говорити про доцільність впровадження спеціальних смуг. Коротко цю доцільність можна виразити такою нерівністю:



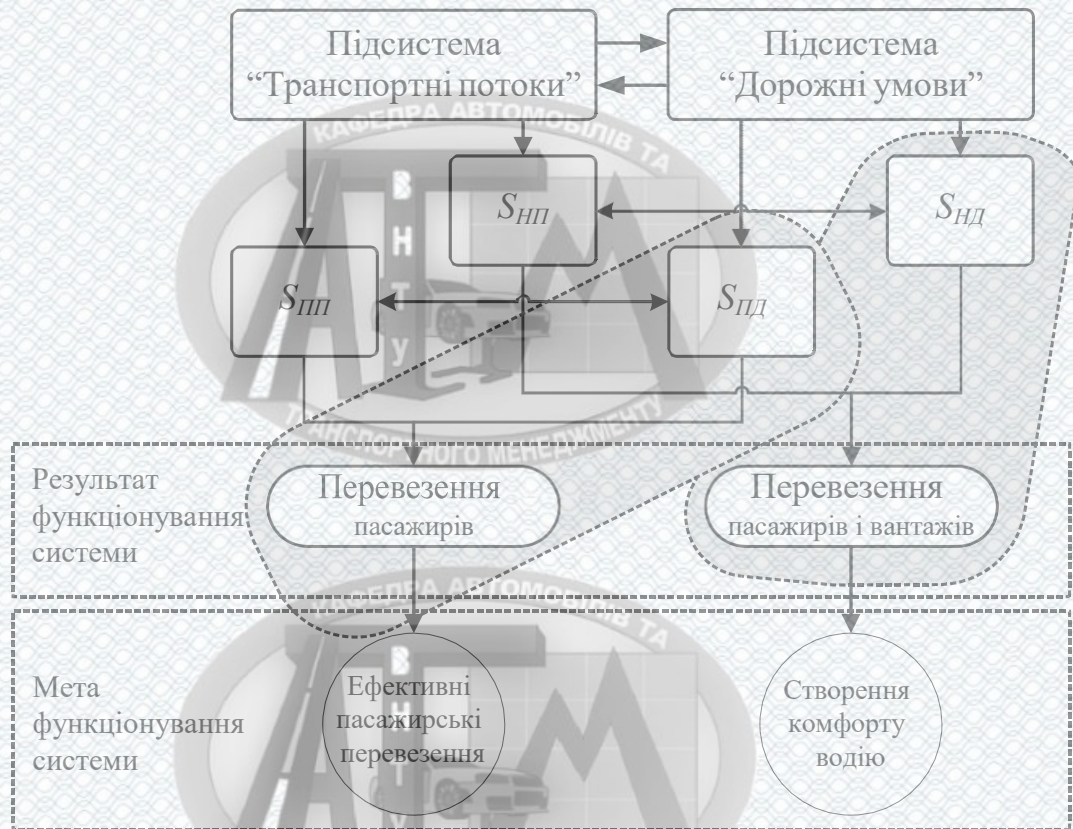


Рисунок 2.1 – Трансформація системи «ДУ – ТП» після запровадження спеціальних вуличних смуг:  $S_{ПП}$ ,  $S_{НП}$ ,  $S_{ПД}$ ,  $S_{НД}$  – відповідно підсистеми пріоритетних і непріоритетних ТП та пріоритетних і непріоритетних дорожніх умов.

$$S_{ПД} \square \square S_{НД}, \quad (2.1)$$

де  $S_{ПД}$ ,  $S_{НД}$  – відповідно підсистеми пріоритетних і непріоритетних дорожніх умов.

Є очевидним, що розрахунок значень, як бачимо, залежить від коефіцієнта заповнення автомобіля та пропускної спроможності непріоритетної смуги руху. На основі цих показників та можливих інтервалах їх значень було визначено діапазон значень для перегонів вулиць мінімального обсягу пасажиропотоку регульованого і безперервного руху (рис. 2.2).

З рис. 2.2 видно, що мінімальний обсяг пасажиропотоку має широкий діапазон значень і складає:

- для перегонів вулиці безперервного руху – від 1254 до 5700 пас./год;



- для перегонів вулиці з регульованим рухом – від 912 до 5928 пас./год.

Такий діапазон значень пояснюється наявністю на перегонах вулиць різноманітних дорожньо-транспортних умов, які виражаються у даному випадку через пропускну здатність смуги руху та коефіцієнт заповнення.



Рисунок 2.2 – Діапазон значень мінімального обсягу пасажиропотоку для перегонів вулиць безперервного (а) та регульованого (б) руху

Широкий спектр значень пропускну́ї здатності смуги руху можна пояснити випадковим її характером, величина якої залежить від багатьох чинників (складу транспортного потоку, швидкості руху, дорожніх умов тощо). Отже, для техніко-економічних розрахунків встановлено низку чітких значень. Наприклад, для перегонів вулиць безперервного руху – 1000 та 1200 авт./год на смугу руху, для регульованих – 700 і 800 авт./год [1, 6, 13].

Для коефіцієнта заповнення наразі встановлено інтервал можливих значень, оскільки цей показник, як і більшість характеристик ТП, є стохастичною величиною і залежить загалом від транспортної рухомості населення конкретного міста [54]. Мало того, він практично не використовується у техніко-економічних обґрунтуваннях, тому для його визначення ще не розроблено достатньо ефективних методів. Сьогодні використовуються два підходи для визначення коефіцієнта заповнення. Перший – базується на натурних дослідженнях, де коефіцієнт заповнення визначається через безпосередній облік ТЗ і пасажирів у них на визначених елементах ВДМ [57, 58]. Другий – на основі даних



транспортної моделі міста, що створюється інструментами стратегічного транспортного моделювання [44]. Тому для орієнтовних практичних розрахунків часто використовується середнє значення із діапазону на рис. 2.2 ( $Y \approx 1,80$ ).

Підсумовуючи важливо зазначити, що за допомогою запропонованої емпіричної формули є можливість встановлювати доцільність введення спеціальних смуг на перегонах вулиць за значеннями мінімального обсягу пасажиропотоку, яка, своєю чергою, дає змогу враховувати особливості дорожньо-транспортних умов на елементах ВДМ.

### 2.3 Визначення стану транспортних потоків на неперіоритетних смугах

Як зазначається у [13, 27, 35] стан неперіоритетного ТП на смугах  $m_n$  після впровадження спеціальних смуг визначається нижніми та верхніми обмеженням на інтенсивність неперіоритетного потоку  $M_n$  і характеризується нерівністю:

$$400 \leq M_n \leq 800, \quad (2.2)$$

де  $M_n$  – інтенсивність неперіоритетного потоку на одну смугу руху, авт./год.

Нижнє обмеження на  $M_n$  пояснюють тим, що при  $M_n \leq 400$  авт./год взаємодія МА та інших ТЗ є низькою і останні не порушують регулярність руху автобусів, не знижують їх експлуатаційних швидкостей, а також не зумовлюють утворення регулярних заторів на маршрутах їх руху. Як висновок, впровадження спеціальних смуг є малоефективним і в загальному – непотрібним.

Але ця умова містить низку недоліків, що в кінцевому зменшує потенційне впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць. Зокрема, показник інтенсивності руху, яким описується ця умова, є стохастичною величиною, що постійно змінюється в часі і просторі дорожнього середовища. У потоках можуть трапляються так звані «сплески» інтенсивності руху, за яких інтенсивність потоку за 15 хв., може досягати 60% годинної [9]. Мало того, нижнє об-



меження на  $M_H$  в один піковий період може відповідати граничному значенню, тоді як в інший – не відповідати. Також ця гранична величина в різних дорожніх умовах відповідає різним рівням завантаження руху. Послідовність наведена на рис. 2.3.

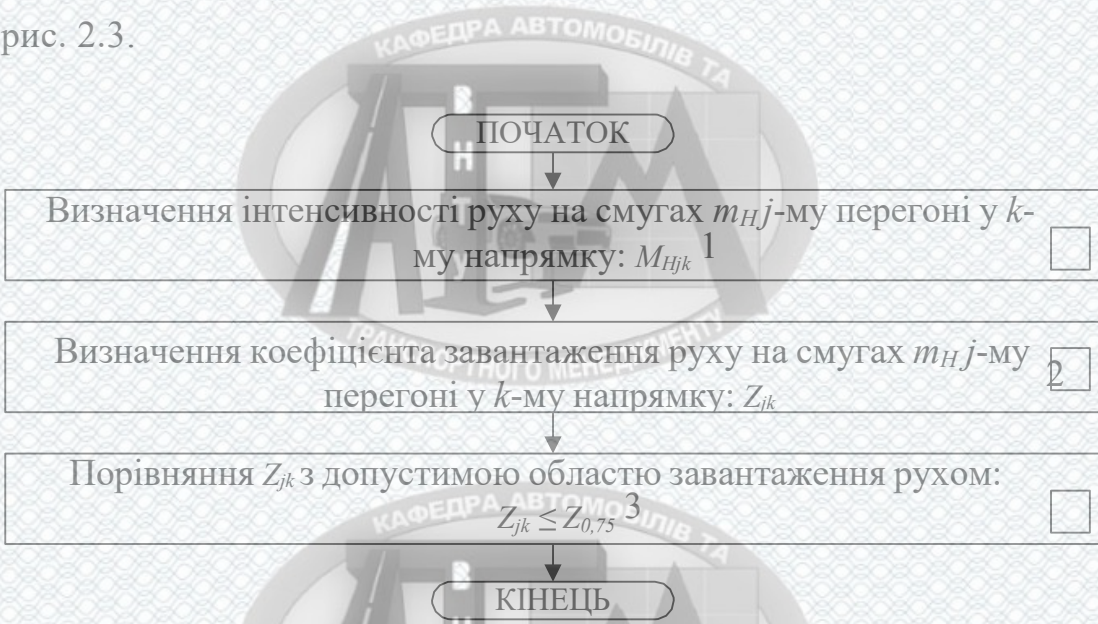


Рисунок 2.3 – Оцінка стану ТП на неперіоритетних смугах

Оцінка на доцільність запровадження спецсмуг на перегонах вулиць за трьома критеріями потенційних дорожньо-транспортних умов, а також процес визначення варіантів та типів спецсмуг за різними характеристиками можна сформувавши у вигляді такого алгоритму (рис. 2.4).





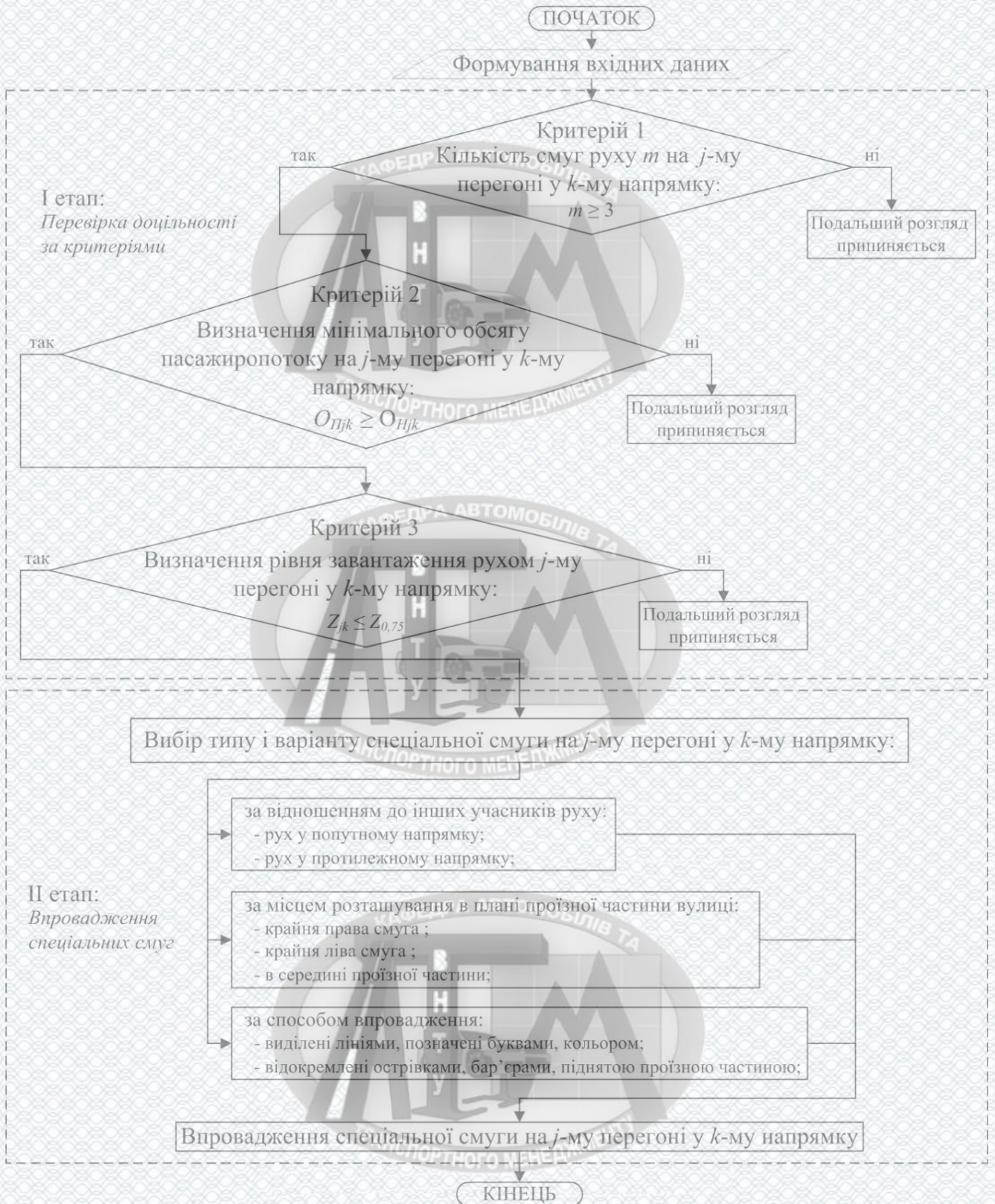


Рисунок 2.4 – Алгоритм впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць





## Висновки до розділу 2

1. Було доведено, що використання в якості критерію впровадження спецсмуг на перегонах вулиць є непридатним для різних типів автобусів показника інтенсивності руху автобусів, адже за одного і того ж мінімального значення різниця у перевізній спроможності досягатиме більше 6 тисяч пас/год.

2. Було встановлено за результатами теоретичних досліджень, що доцільність запровадження спецсмуг на перегонах вулиць потрібно визначати в одному напрямку за кількістю смуг руху, мінімальним обсягом пасажиропотоку та показником, що характеризує стан потоку на неперіоритетних смугах. Причому в якості основного критерію необхідно використовувати мінімальний обсяг пасажиропотоку, а вже з нього визначати мінімально необхідну кількість автобусів певного типу.

3. Визначено діапазон значень мінімального обсягу пасажиропотоку (від 912–5928 пас./год) і запропоновано емпіричну формулу для його розрахунку залежно від дорожньо-транспортних умов на перегонах вулиць.

4. Доведено, що на неперіоритетних смугах стан потоку доцільно визначати за рівнем завантаженості руху, допустима межа якого не перевищує 0,75 завантаженості перегону вулиць, а основним етапом його розрахунку є встановлення прогнозу зміни інтенсивності руху на неперіоритетних смугах. Найточніші такі прогнози можна встановити за допомогою транспортної моделі міста та її даних, для створення якої використовуються інструменти стратегічного моделювання.



## РОЗДІЛ 3

### РОЗРОБКА МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ПРІОРИТЕТУ

3.1 Обґрунтування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» та визначення його типів

За результатами проведених досліджень у розділі 2 встановлено, що впровадження спеціальних смуг для МА на перегонах вулиць, при потребі не перериваючи на перехрестях, залежить від великої кількості чинників та умови їхнього впровадження мають деякі обмеження. Тому важливо, щоб їм забезпечувався пріоритет у таких дорожніх умовах, насамперед – на регульованих перехрестях, де, як відомо, виникають найбільші на ВДМ транспортні затримки. До регульованих перетинів, на яких складно забезпечити просторово-часовий пріоритет, невід’ємною складовою якого є використання спеціальних смуг, відносять перехрестя, підходи яких мають в одному напрямку не більше двох смуг руху. Щоб забезпечити такий пріоритет у цих умовах запропоновано метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя». Цей метод ґрунтується на створенні додаткового поширення в певному напрямку на підході до перехрестя та після нього, а також облаштування спеціальної смуги для руху пріоритетного транспорту на цих поширеннях, включаючи ділянку між ними на площі перетину. Створення такого просторового «коридору» у забезпечує зоні перехрестя домінуюче положення у просторі на проїзній частині та вільний доступ до стоп-лінії, при цьому не зменшується кількість смуг для непріоритетного транспорту на його підході. За відсутності у зоні перехрестя зупиночних пунктів або їхнього розташування перед ним, додаткові поширення слід впроваджувати лише на його підходах.

Пріоритетний проїзд площі перехрестя забезпечується за допомогою адаптивних алгоритмів керування світлофорною сигналізацією, зокрема через алгоритми продовження дозволеного та дострокового завершення забороненого



сигналу, а також викликом спеціальної фази (зазвичай для реалізації абсолютного пріоритету).

Спецсмуги можна поділити на дві основні групи за реалізацією у плані перехрестя цього методу. Перша – ті, що впроваджуються на перехрестях, де відсутні зупиночні пункти, або ж вони розташовані перед ним. Друга – де зупиночні пункти розташовані за перехрестям. Залежно від маневру зміни напрямку руху на перехресті, кожна група поділяється на типи. Окремі типи, за функціональним призначення, поділяються на два типи (лише для автобусів або ж комбіноване використання із непріоритетними ТЗ, що повертають праворуч). Позначення спеціальних смуг у зоні перехрестя складеться з трьох цифр. Перша позначає групу, друга – тип, а третя (за наявності) – різновид використання.

На базі даного структурного поділу, також враховуючи Х-подібний перехрестин, запропоновано два типи спеціальних смуг першої групи та чотири – другої (рис. 3.1 – пішохідні переходи умовно не показані).

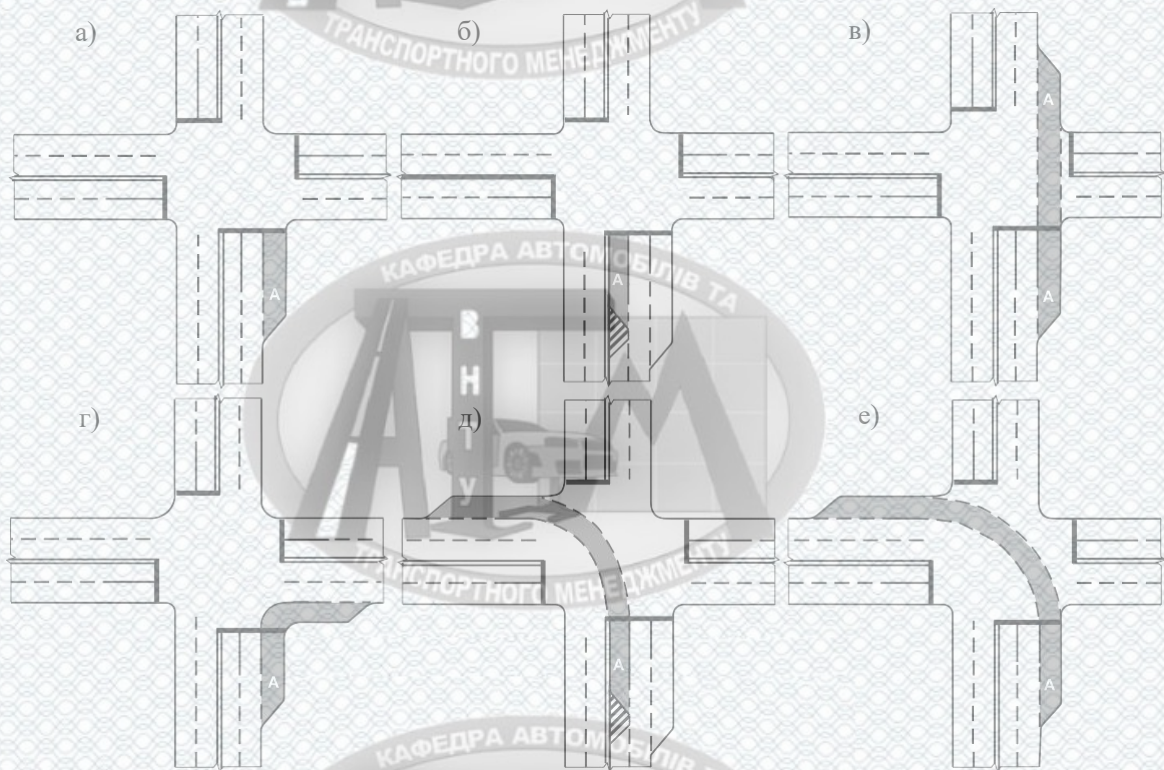


Рисунок 3.1 – Типи спецсмуг у зоні перехрестя першої і другої групи: а – тип 1.1; б – 1.2; в – тип 2.1; г – 2.2; д – тип 2.3; е – 2.4.



Спецсмуги типу 1.1 доцільно застосовувати для забезпечення пріоритетних умов руху прямо, праворуч і ліворуч (в усіх трьох напрямках) при розташуванні зупиночних пунктів перед перехрестям, а за їхньої відсутності – для руху прямо та повороту праворуч. За таких самих умов для повороту ліворуч доцільно застосовувати тип 1.2. Спецсмуги типу 2.1 забезпечують пріоритетні умови проїзду для руху прямо, тип 2.3 та 2.4 – для повороту ліворуч, а тип 2.2 – для повороту праворуч.

За відсутності пішохідних переходів на перехресті деколи спецсмуги другої групи доцільно вводити на перехрестях, де зупиночні пункти розташовані перед ним або ж відсутні. Це дає змогу забезпечити оптимальну роботу перехрестя та спростити реалізацію пріоритету в часі.

Щоб з одного підходу забезпечити пріоритет в кількох напрямках (ліворуч, прямо і праворуч), спеціальні смуги другої групи, а саме типи 2.1, 2.2 та 2.4, можуть бути поєднані та введені одночасно. При введенні одночасно двох типів можливі три різні комбінації, і одне поєднання – при введенні всіх трьох типів (рис. 3.2, а).

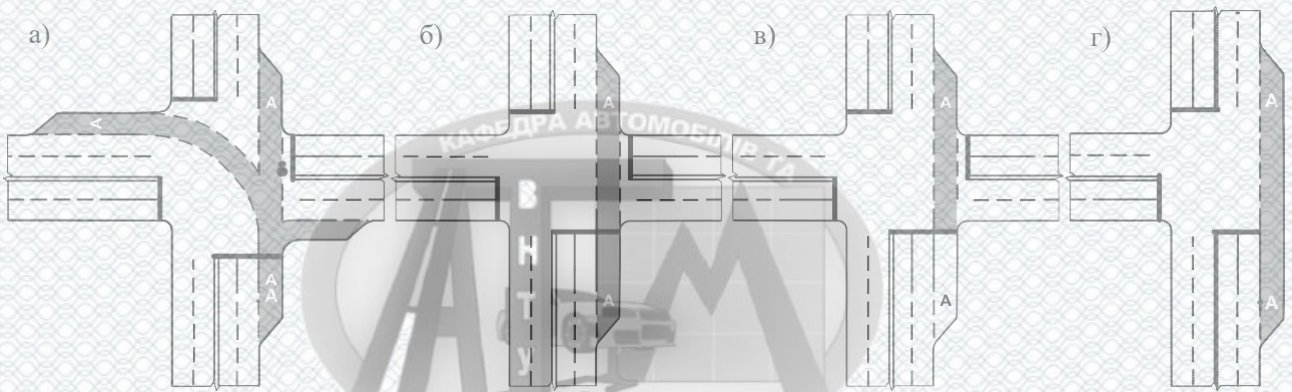


Рисунок 3.2 – Спеціальні смуги у зоні перехрестя: а – одночасне запровадження типів 2.1, 2.2, 2.4; в – тип 2.1.2; б – тип 2.1.1; г – спецсмуга типу 2.1 у зоні Т-подібного перехрестя.

Звісно, поєднання різних типів спецсмуг можна також вводити й з усіх інших підходів. Але за таких змін конфігурація зони перехрестя та його загальна схема організації руху значно ускладниться. Також це знизить пропускну



спроможність перетину для неперіоритетних ТП. Тому для таких випадків має діяти правило пріоритету щодо вибору маршрутів і спеціальні смуги впроваджувати в тих напрямках на перехресті, які забезпечуватимуть пріоритетний проїзд з точки зору перевезення пасажирів найбільш завантаженим маршрутам.

Типи 1.1, 2.1 та 2.2 мають обидва типи використання, отже, якщо запроваджені спецсмуги типу 1.1.2, 2.1.2 й 2.2.2, то спецсмуги можуть також займати ТЗ, що повертають праворуч. Як приклад, на рисунку 3.2, б та 3.2, в показні обидва різновиди спецсмуги типу 2.1.

Також застосування спецсмуг типу 2.2 або типу 1.1 лише для повороту праворуч вимагає забезпечення часового пріоритету (з використанням сигналізації світлофора) тільки за наявності інтенсивного пішохідного руху у перпендикулярному або прямому напрямках. В інших умовах утворений пріоритет простору дозволить забезпечити вільний перетин перехрестя.

Введення спецсмуг на Т-подібному перехресті має відмінності при застосуванні типу 2.1 (рис. 3.2, г). Вони полягають у тому, що його доцільність є виправданою як при розташуванні зупинок щільно нього чи перед ним, так і їх за відсутності біля перехрестя.

Описані спецсмуги обох груп деколи доцільно вводити на перехрестях, підходи до яких мають три і більше смуг руху в одному напрямку, при цьому реалізується це як через резервування (виділення) існуючих смуг руху, так і на підході до перехрестя шляхом запровадження додаткових поширень. Причиною для цього є умови, коли не доцільно, згідно критеріїв, впроваджувати спеціальні смуги на перегонах вулиць, які не перериваються на перехрестях. Базуючись на цьому, на підході до перехрестя в одному напрямку з трьома смугами руху приклад застосування спецсмуг першої групи, на створення яких вплинула робота [35], наведено на рис. 3.3.

Тип 1.1, що наведений на рисунку 3.3 б, є окремим випадком, який доцільно впроваджувати для забезпечення пріоритету тільки у прямому напрямку за відсутності зупинок біля перехрестя.



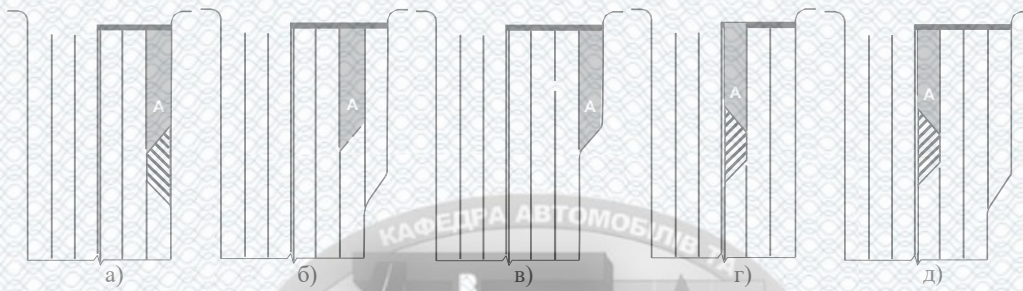


Рисунок 3.3 – Спеціальні смуга типу 1.1 і 1.2 у зоні перехрестя з трьома смугами на підході до нього: а, б, в – тип 1.1; г, д – тип 1.2

Недоліком створення резервних смуг є зменшення кількості смуг для не-пріоритетних транспортних засобів та зміна схеми їхнього проїзду. У той час як при запровадженні додаткових поширень буде збільшуватись ширина загальної проїзної частини, а це в свою чергу за наявності переходів пішохідних, збільшує тривалість дозвільного сигналу для руху пішоходів, і через це збільшується тривалість циклу.

Спеціальні смуги, окрім забезпечення на ізольованих перехрестях пріоритету, також доцільно впроваджувати на перетинах, що поєднані системою керування координованого. У цьому з'являється особлива потреба, коли зупиночні пункти розташовані за двома суміжними перехрестями, які об'єднані системою координованого керування, а їхня ділянка координації має дві смуги руху в обох напрямках або хоча б в одному. Через неузгодженість часу руху автобусів між зупиночними пунктами та дозвільним сигналом в напрямку координації, за таких умов можуть відбуватись затримки руху на суміжних перехрестях. Отже, фактично неможливо забезпечити автобусам безперервний рух між двома сусідніми зупиночними пунктами, не порушуючи при цьому координованого режиму. Тому доцільно запровадити в даних зонах спецсмуги типу 2.1 для зниження часу затримки автобусів як на суміжному, так і на живлячому перехрестях.

Рішення такого типу дозволяє мінімізувати на перехрестях їхні затримки (проїзд перетину першим автомобілем у черзі) перед зупиночним пунктом в межах координованої ділянки, до того ж створюються кращі передумови для



забезпечення абсолютного проїзду за допомогою продовження дозвільного сигналу на головному напрямку або його дочасного завершення на другорядних напрямках.

Підсумовуючи важливо зазначити, що застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» дає змогу забезпечити пріоритетні просторово-часові умови руху на регульованих перехрестях не зменшуючи кількість смуг для не-пріоритетних ТЗ. Для впровадження і використання на практиці цього методу, необхідно насамперед детально розглянути його геометричні параметри.

3.2 Визначення геометричних параметрів спеціальної смуги, що впроваджується у зоні перехрестя

Для визначення геометричних параметрів спеціальної смуги, яка впроваджується у зоні перехрестя слід розглянути один із видів, що узагальнює решту пропонувананих. Таким можна вважати тип 2.1, при якому зупиночний пункт розташований за перехрестям та у прямому напрямку забезпечуються пріоритетні умови руху.

Процес руху автобусів спецсмугою можна розділити на наступні етапи: *«вхід пріоритетного потоку на спецсмугу»* – *«рух пріоритетного потоку спеціальною смугою на підході до перехрестя»* – *«рух пріоритетного потоку спеціальною смугою на території перехрестя»* – *«рух пріоритетного потоку спеціальною смугою після виходу з перехрестя»* – *«вихід пріоритетного потоку із спецсмуги»*. Конкретний геометричний елемент спеціальної смуги (рис. 3.4) відповідає кожному етапу.

Дослідження такої системи дозволяє розглядати кожен елемент окремо та усе транспортно-планувальне рішення одночасно. З врахуванням цього, розглянемо диференційовано, поетапно процес у системі та визначимо можливу довжину кожного елемента.

*«Вхід пріоритетного потоку на спецсмугу»*. Головну функцію, яку виконує на цьому етапі геометричний елемент – забезпечення плавного і безпечного



виконання маневру відхилення руху автобусів від загального потоку. Цю ділянку називають «клином» відгону  $L_{вх}$ , довжина якої залежить від розрахункової швидкості і може визначатися за формулою [6]. В ущільнених умовах вулично-го середовища, приймати величину  $L_{вх}$  можна як довжину рівноцінної ділянки на в'їзді до зупинкового пункту в «кишені», яка складає 20 м [8].

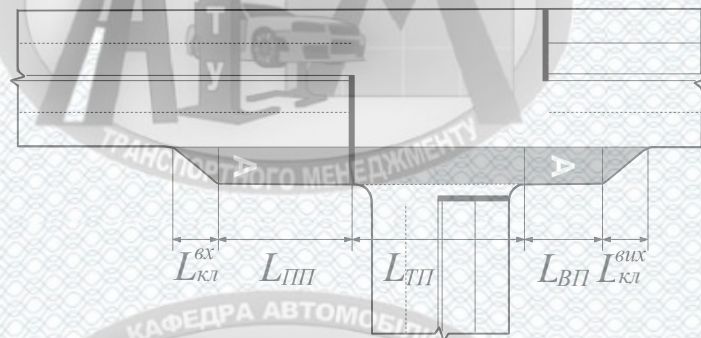


Рисунок 3.4 – Геометричні елементи спеціальної смуги у зоні перехрестя

«Рух пріоритетного потоку спецсмугою на підході до перехрестя». Як і у попередньому, на початку цього етапу певною мірою триває процес розділення потоку на непріоритетний та пріоритетний. Проведення автобусом маневру відхилення проходить на елементі клину відгону  $L_{вх}$ , а закінчується на ділянці підходу до перехрестя  $L_{ПП}$ . Тому цю ділянку можна умовно поділити на дві ділянки  $l_{від}$  (ділянка на якій фіксується утворення одноріднішого потоку) та  $l_{не}$  (ділянка підходу до стоп-лінії перехрестя).

Щоб завжди забезпечувався доступ автобусів до зони ділянки  $l_{від}$ , при цьому рівномірність їхніх швидкостей не порушувалась, потрібно ділянку  $l_{не}$  запроектувати відповідної довжини. Зрозуміло, що для цього необхідно визначити максимальну довжину черги транспортних засобів на смузі, що буде межувати з поширенням (спецсмугою) при дії режиму регулювання світлофором, і це на підході до перехрестя відповідає піковим значенням інтенсивності руху.

Максимальне число ТЗ у черзі, як відомо, утворюється в момент загоряння дозвільного сигналу. Але важливо враховувати ще й ту кількість автомобілів, які потрапляють до черги руху впродовж дії дозвільного сигналу, тобто зважати, наскільки видовжується черга з транспортних засобів додатково упро-



довж циклу. Максимальна черга з автомобілів, що видовжилась на підході за цикл – це кількість транспортних засобів у черзі, яка утворилася на початку дозволеного сигналу і кількість ТЗ, що під'їжджає до перехрестя впродовж її роз'їзду до часу зрушення з черги останнього автомобіля, яка утворилася на початку дозвільного сигналу.

За не перенасичених, нормальних умов руху на підході (ступінь насичення  $\leq 1,0$ ), черги, утворені на початку дозвільного сигналу, можуть повністю роз'їжджатись за ефективну тривалість дозвільного сигналу [32]. Хоча, якщо на підході ступінь насичення перевищує 0,65, спостерігаються цикли, за які черги не повністю роз'їжджаються на дозвільний сигнал. Це проявляється особливо інтенсивно при ступені насичення, що перевищує 0,9 [26].

Коли на підході інтенсивність приїзду вища за можливість від'їзду, тобто за перенасичених умов руху (ступінь насичення  $> 1,0$ ), утворені черги транспортних засобів фактично завжди не роз'їжджаються за дозвільний сигнал світлофора, до того ж, може статись так, що утворена черга транспортних засобів за певний цикл роз'їдеться лише упродовж декількох циклів дозвільного сигналу. Максимальна довжина черги за таких умов буде зростати за рахунок транспортних засобів, які залишилися в черзі ще із попередніх циклів. Отже, максимальна кількість транспортних засобів у черзі буде після  $n$ -го циклу періоду перевантаження перехрестя. Оскільки саме дані умови є потенційними чинниками утворення заторів, то для того, щоб усунути їхні прояви, необхідно намагатись забезпечити на перехресті нормальний режиму керування, коли якому ступінь насичення не буде перевищувати верхню межу, яка складає 0,95 [45, 53].

Якщо зупиночний пункт знаходиться до перехрестя, то довжина проміжку  $l_{nc}$  також залежить і від величини, з якої буде утворюватись відповідна довжина черги, від інтенсивності прибуття автобусів, а також від тривалості зупинки на висадку і посадку пасажирів. Однак, цей чинник є визначальним лише при значній інтенсивності маршрутних автобусів та при невеликих значеннях довжини черги неперіоритетних транспортних засобів на суміжній з поширен-



ням смузі.

Враховуючи все вищеперераховане, довжина ділянки спецсмуги на підході до перехрестя  $L_{III}$  буде визначатись:

$$L_{III} = l_{від} + l_{nc}, \quad (3.1)$$

де  $l_{від}$  – довжина ділянки, на якій завершується маневр відхилення (приймається рівною довжині статичного габариту автобуса);

$l_{nc}$  – максимальна довжина черги неперіоритетних ТЗ на смузі, що межує зі спеціальною смугою, м.

«Рух пріоритетного потоку на території перехрестя спецсмугою». На даному етапі геометричний елемент «спецсмуга» в межах перехрестя  $L_{III}$  вказує на оптимальну траєкторію руху при повороті праворуч чи ліворуч, або русі прямо (траєкторія для спецсмуг першої групи забезпечується шляхом нанесення розмітки) забезпечує просторовий пріоритет руху в межах самого перетину. Дані умови будуть підвищувати безпеку руху транспортних засобів та швидкість руху проїзду автобусів меж перехрестя. Довжина елемента  $L_{III}$  залежить від виду маневру та кількості смуг з перпендикулярного напрямку на підході до перехрестя.

«Вихід пріоритетного потоку із спецсмуги» та «Рух пріоритетного потоку спецсмугою після виїзду з перехрестя». Заради якісного опису процес руху доцільно розглядати разом на цих етапах. В цей час потік виходить з перехрестя, переміщується до зупинки, гальмує та зупиняється для посадки/висадки пасажирів, розганяється, виходить зі спецсмуги та виконує маневр злиття з рештою транспортних засобів.

Довжину ділянки, яка відповідає першому етапу (елемент спецсмуги після виїзду з перехрестя  $L_{ВП}$ ) можна умовно розділити на три елементи. На першому завершується виїзд автобусів за межі перехрестя і відбувається рух до зупинки. Довжина цього елемента (підходу до зупинкового пункту  $l_{nz}$ ) за даними [8] знаходиться в межах 5–20 м і залежить від інтенсивності руху маршрут-



них автобусів.

Другий елемент – це посадковий майданчик  $l_{mn}$ , довжина якого може прийматися також згідно з [8] та залежить від типу і кількості автобусів. На третій ділянці ( $l_{p3}$ ) автобуса продовжує розганятись після зупинного пункту та починає вливатись до загального потоку. Під час другого етапу на ділянці виходу потоку зі спецсмуги  $L_{вих}$  виконання маневрів злиття з потоком входить до основної й завершальної фаз, потім автобус продовжує рух у спільному потоці транспортних засобів.

За геометричними характеристиками ділянки  $L_{ВП.вих.кл}$  є подібні до розгонної перехідно-швидкісної смуги, що застосовується на виходах з транспортних розв'язок на одному або різних рівнях. За вказаною аналогії, елемент  $l_{p3}$  є «швидкісним шлюзом» перехідно-швидкісної смуги [6], її довжина залежить від інтенсивності потоку транспортних засобів на головній вулиці та його елементного складу. Але у даному випадку довжина елемента  $l_{p3}$  залежить не стільки від інтенсивності, скільки від того, чи співпадає момент виконання маневру злиття автобуса з переміщенням неперіоритетних транспортних засобів на смугах, суміжних із зоною злиття потоків. В свою чергу це залежить від розподілу інтенсивності за напрямками на підході до перехрестя та пофазної схеми роз'їзду на перехресті.

Якщо на підході до перехрестя переважає інтенсивність потоку в прямому напрямку та його прохід через перехрестя співпадає з моментом вливання автобуса до потоку, то з точки зору виконання маневру злиття утворюється найбільш складний випадок. Так як поява прийняттого інтервалу руху для його виконання можлива тільки після проїзду щільної динамічної групи ТЗ, що утворилася на виході з перехрестя. З другого боку, для того, щоб цей маневр забезпечувався у таких умовах, ділянка  $l_{p3}$  повинна мати значну довжину, й чим довшою вона буде, тим менше складе різниця у швидкостях між неперіоритетним транспортним потоком і автобусом, та тим безпечніше буде відбуватись їхнє злиття. Однак зі збільшенням довжини цієї ділянки зростають також капіталовкладення на впровадження і функціонування. Також на елементах ВДМ не завжди мож-



ливі значні розширення проїзної частини.

Тому довжина ділянки  $l_{pз}$  має визначатися з відстані, потрібній для розгону. В свою чергу, ділянка виходу транспортного потоку зі спецсмуги  $l_{вих.кл}$  визначається аналогічним чином, як і для входу, тобто довжиною вхідного клину відгону. В ущільнених умовах вуличного середовища, величину  $l_{вих.кл}$  можна брати рівною довжині такого ж елемента на виїзді від зупинкового пункту у “кишені”, яка складає 15 м [8]. Визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізольованого перехрестя

Як зазначалося вище, для того, щоб визначити оптимальну довжину спецсмуги на підїзді до перехрестя, потрібно встановити максимальну кількість ТЗ у черзі на смугі, що межуватиме з нею. «Кількість ТЗ у черзі» та «довжина черги» (максимальна або середня) – це показники якості роботи регульованих перехресть, що вимірюються відповідно у кількості автомобілів та метрах. Але з метою більш стислого викладу матеріалу, надалі будемо користуватись поняття «довжина черги», з прийнятими одиницями виміру як в автомобілях, так і у метрах.

Набагато точніші результати значень максимальної довжини черги ТЗ можна отримати за американськими нормами HCM 2000 [47] та німецькими HBS.

Для порівняння результатів розрахунків за HCM і HBS, розглянемо діапазон інтенсивності від 300 до 800 авт./год при однакових вхідних даних на деякому підході до ізольованого перехрестя з однією смугою руху. Вхідний транспортний потік на ньому є однорідний (100 % легкових автомобілів). Потік насичення становить 1800 авт./год. Тривалість дозволеного сигналу залежно від інтенсивності руху змінюється в межах 10 – 30 с з інтервалом у 4с. Умови руху на підході до перехрестя характеризуються трьома ступенями насичення: 0,65; 0,9; 1,0. Тривалість циклу при ступені насичення  $X_i = 0,65$  відповідно змінюється в межах 39-44, при  $X_i = 0,9$  – 54-61 та 60-68 при  $X_i = 1,0$ . Тривалість розрахункового періоду складає 3600 с (див. рис. 3.5).

З рис. 3.5 зрозуміло, що існує велика розбіжність між отриманими ре-



зультатами, що складає відповідно від 3 до 9 автомобілів при ступенях насичення 0,65 і 1,0. Але водночас значення довжини черги збігаються при інтенсивності 350–500 авт./год у випадку  $X_i = 0,65$ , і приблизно при 550 авт./год при інших двох ступенях насичення. В основному ці розбіжності пояснюються тим, що випадковість прибуття транспортних засобів до перехрестя в обох формулах враховується за допомогою емпіричних коефіцієнтів, що отримані із статистичних характеристик, які задані заздалегідь. Через це виникає необхідність дослідити цей показник та розробити методику для розрахунку максимальної довжини черги ТЗ, результати якої відповідали би в реальних умовах її значенням. У той же час важливо, щоб з її допомогою можна було б визначати, на скільки збільшується максимально довжина черги транспортних засобів впродовж усього циклу у плані підходу. Так як саме ці значення черги, вказані в метрах, визначають оптимальну довжину спецсмуги на підході до перехрестя.

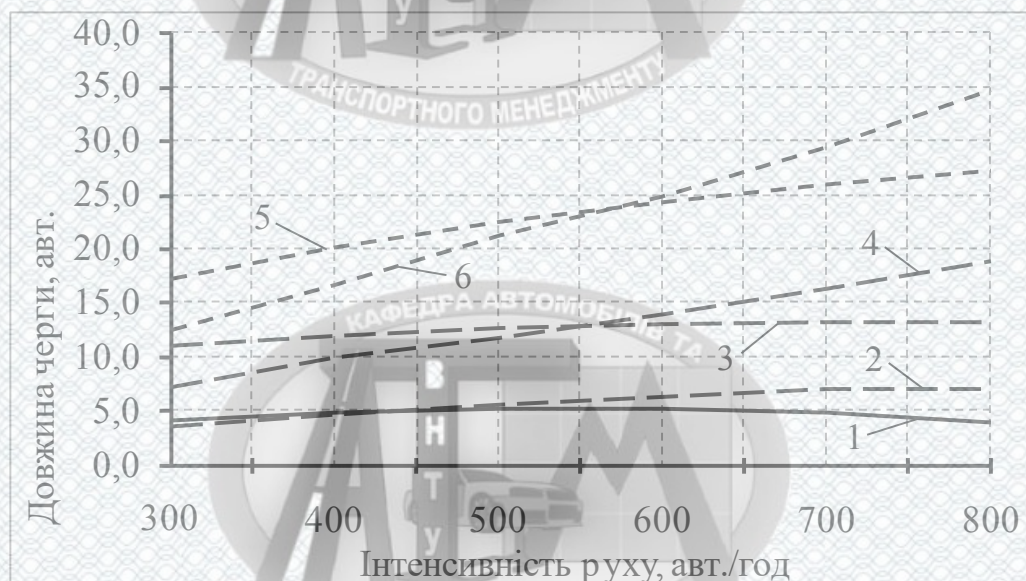


Рисунок 3.5 – Максимальна довжина черги ТЗ: 2; 4; 6 – за НБС відповідно при  $X_i = 0,65, 0,9, 1,0$ ; 1; 3; 5 – за НСМ відповідно при  $X_i = 0,65, 0,9, 1,0$

Для розробки даної методики доцільно користуватись методами моделювання імітаційного, що є поєднанням натурного експерименту та аналітичного розрахунку [12] і до того ж дають змогу точніше та детальніше описати зако-



номірності функціонування досліджуваного об'єкта ніж аналітичні методи. Найбільш складним етапом імітаційного моделювання є безпосередньо створення моделі. Масштаби самої моделі зростають зі складністю досліджуваного процесу. Тому постановку завдання при її розробці обмежимо тільки визначенням максимальної довжини черги, яка утворюється на початку дозволеного сигналу та за увесь цикл (в метрах та автомобілях).

Імітаційна модель підїзду(-ів) до потрібного ізольованого перехрестя написана у програмному середовищі *Xcode* мовою програмування *Objective-C* (може бути використана пристроях з iOS (iPhone, iPad)).

Модель була реалізована таким чином, що користувач при її використанні може легко змінювати вхідні дані, а саме – вибирати необхідну кількість смуг руху на кожному з них ( $\leq 3$ ) та збільшувати кількість підходів до перехрестя ( $\leq 4$ ), включаючи схему проїзду.

У цій моделі вхідні дані можна поділити за наступними категоріями:

- 1) включаючи схему проїзду, кількість підходів до перехрестя та кількість смуг на кожному з них;
- 2) тривалість періоду розрахунку, кількість імітацій;
- 3) параметри керування (тривалість циклу, дозвільного та жовтого сигналів);
- 4) геометричні параметри підходу (поздовжній ухил, ширина смуги руху, радіус заокруглень для повороту ліворуч та праворуч);
- 5) умови руху (інтенсивність руху за розрахунковий період; частка по смугах; склад потоку (автобуси, легкові, вантажні) та їхній розподіл за напрямками; частка ТЗ, що їде прямо, повертає праворуч або ліворуч; закон розподілу часових інтервалів між ТЗ, що прибувають до перехрестя; наявність та інтенсивність пішохідного руху);
- 6) довжина динамічного габариту автомобіля в черзі в метрах при зупинці (автобус, легковий або вантажний), тривалість стартової затримки.

На рис. 3.6 показано блок-схему моделювання алгоритму одного підходу до ізольованого перехрестя, що обмежена однією смугою руху. При збільшенні



числа смуг сам алгоритм збільшується на відповідне число моделювальних блоків, що виконуються одночасно, а при обрахуванні більше ніж одного підходу за раз – алгоритм сам послідовно змінюється залежно від вхідних параметрів від підходу до підходу.

Весь моделювальний алгоритм можна розділити на два етапи. Середній інтервал між автомобілями, які проходять перехрестя і момент прибуття першого автомобіля на його підході визначається на першому етапі (поява наступного ТЗ визначається відразу після прибуття першого, на другому етапі).

Середній інтервал між транспортними засобами при роз'їзді черги визначається виходячи з потоку насичення, що є оберненою величиною до нього. Потік насичення зазвичай розраховується за формулою [45]:

$$M_H = M_0 \cdot (f_{SV} + f_B + f_R + f_S + f_L + f_{RT}), \quad (3.2)$$

де  $M_0$  – ідеальний потік насичення (у конкретній моделі може змінюватися від 1800 до 2000 авт./год);

$f_{SV}$ ,  $f_B$ ,  $f_R$ ,  $f_S$ ,  $f_L$ ,  $f_{RT}$  – коефіцієнти, які відповідно враховують частку вантажного транспорту, радіус повороту, ширину смуги руху, позадвжній ухил, поворот ліворуч і праворуч, пішохідний рух.

Процес функціонування підходу до перехрестя впродовж розрахункового періоду (дослідження) моделюється на другому етапі, який визначається самим користувачем (найчастіше задають інтервал в одну годину).

З цією метою моделювальний період розбивається на мінімальні інтервали  $\Delta t$  [5, 29], що у даній моделі може набувати наступних значень: 1,0 с; 0,1 с; 0,01 с; 0,001 с. Даний етап включає також і визначення зміни сигналів світлофора, визначення напрямку руху і тип ТЗ, моментів появи автомобілів на підході, визначення максимальної довжини черги (в метрах та автомобілях), проїзд перехрестя або формування черги та роз'їзд черги.

Безпосередньо визначення типу транспортного засобу та напрямку руху здійснюється випадковим чином із використанням функції *arc4random*, яка їх рівномірно розподіляє згідно з вхідними значеннями.



В моделі роз'їзд черги виконується після закінчення заборонного сигналу світлофора та стартової затримки ТЗ, її величина змінюється в залежності від типу першого автомобіля в черзі. Вплив на транспортний потік, який при роз'їзді повертає ліворуч або праворуч в одній фазі, пішохідного руху виражається через відповідний коефіцієнт потоку насичення.

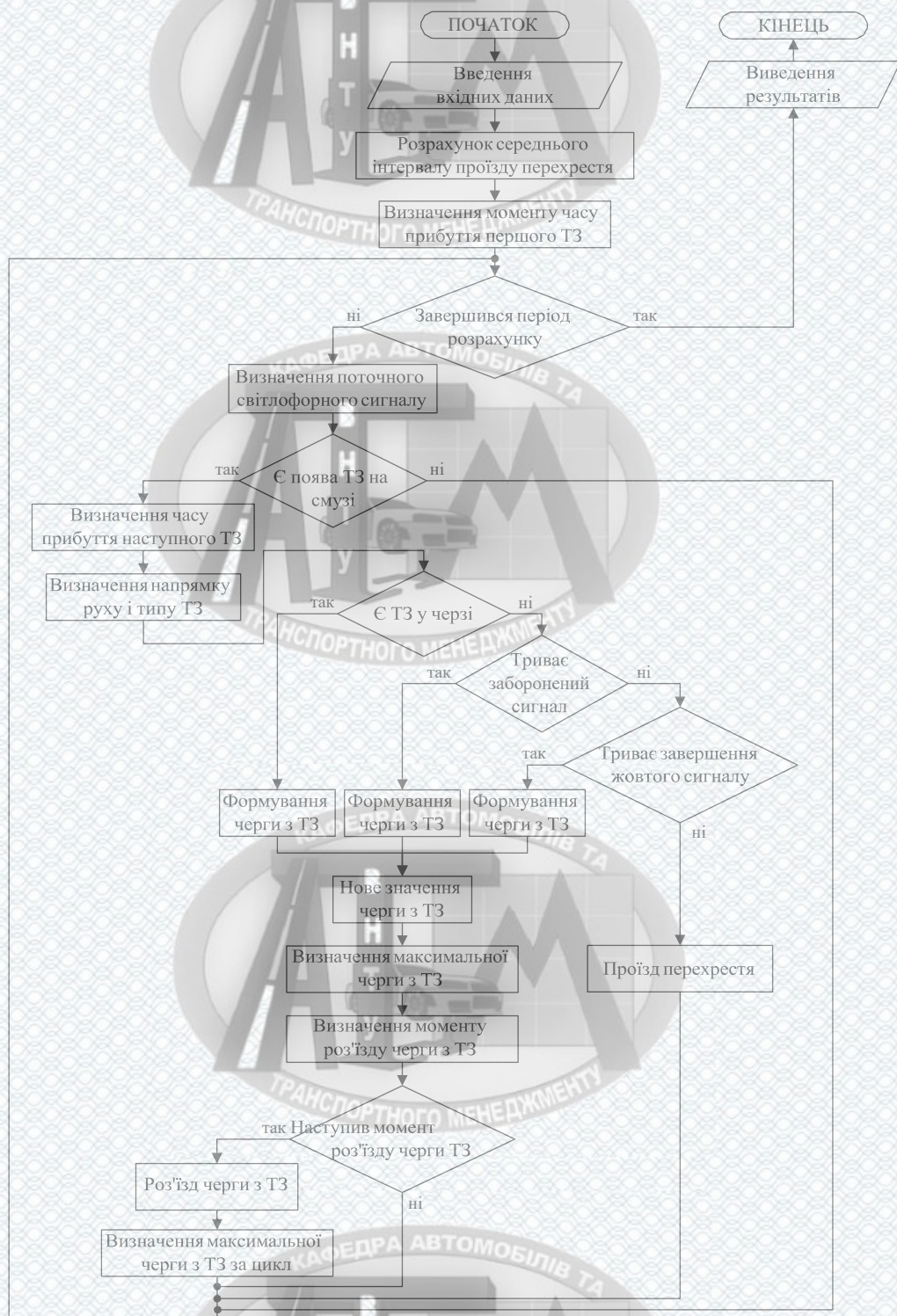


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритму моделювання одного підходу до ізолюваного перехрестя



Максимальна кількість ТЗ у черзі визначається в момент завершення стартової затримки, що виникає на початку дозволеного сигналу (черга на початку дозволеного сигналу) та в момент рушання останнього автомобіля з черги, що утворилася на початку дозволеного сигналу або в момент завершення дозволеного сигналу (черга за цикл).

Результати, які видає модель є усереднена максимальна довжина черги ТЗ (в автомобілях і метрах) на початку дозволеного сигналу та впродовж циклу за  $k$  імітацій, а також максимальні їх значення.

Другий етап алгоритму починається із забороненого сигналу та повної відсутності ТЗ у черзі, хоча в реальних умовах вони можуть мати місце, зокрема у насичених умовах руху на підході. Тому для усунення цього недоліку, у вхідних параметрах моделі створена відповідна вкладка, за активації якої початок основного періоду моделювання розпочинається зі значенням черги, що визначається за період «розгону» моделі, який триває 15 хв., перед основним періодом. Значення черги вказуються ті, які залишилися після завершення дозволеного сигналу останнього циклу періоду «розгону». В результаті, це дає змогу врахувати ті ТЗ, які можуть появитися в черзі на початку першого циклу основного періоду.

Підсумовуючи результати досліджень цього пункту слід зазначити, що для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізолюваного перехрестя розроблено імітаційну модель, яка написана мовою Objective-C. З її використанням встановлено вплив закономірності процесу прибуття автомобілів до перехрестя на значення максимальної довжини черги. Якщо моменти прибуття автомобілів до перехрестя розподіляються в моделі за законом Гіпер-Ерланга з параметром  $a = 3$ , то значення черги за моделлю є аналогічними до тих, які визначаються за HBS і близькими до тих, що видає VISSIM. Водночас, за значеннями максимальної довжини черги ТЗ встановлено, що часові інтервали між автомобілями, які прибувають до перехрестя відповідають реальним значенням, якщо розподіляються в моделі за цим законом. Залежно від ступеня насичення на підході визначено межі застосування законів розподілу (Гіпер-



Ерланга та логнормального), за якими модель видає аналогічні значення максимальної довжини черги, як і за HBS.

Модель видає значення максимальної довжини черги ТЗ на початку дозволеного сигналу та за цикл регулювання (черга за «цикл»). Перші значення можуть використовуватися для оцінки ефективності керування світлофорною сигналізацією, а другі – для визначення довжини додаткового поширення на підході до перехрестя, яке застосовується з метою підвищення пропускної здатності перехрестя або для забезпечення пріоритету автобусам (метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя»).

Час, за який модель видає результати залежить від мінімального інтервалу  $\Delta t$  (кроку моделювання), що обирається при введенні вхідних параметрів. При значеннях  $\Delta t = 1,0, 0,1, 0,01, 0,001$  с та максимальній кількості імітацій (1000 імітацій) розрахунок відповідно триває – 4,7, 23,9, 219,2 с та понад 20 хв. Точність результатів після 0,1 с практично не підвищується, тому, з точки зору економії часу, в нормальних (не перенасичених) умовах руху на підході, зокрема при ступені насичення  $\rho \leq 0,65$  доцільно використовувати  $\Delta t = 1,0$  с, а для насичених і перенасичених –  $\Delta t = 0,1$  с.

### 3.3 Визначення межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя»

Для того, щоб пріоритет у часі забезпечувався на регульованому перехресті світлофорна сигналізація повинна функціонувати за відповідними алгоритмами керування [19]. Як зазначено у розділі 1 пріоритет у часі, що забезпечується на перехресті може бути двох видів – пасивний і активний, які відповідно реалізуються за допомогою жорстких і адаптивних алгоритмів. З усіх жорстких алгоритмів, які можуть доповнювати метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя» в частині забезпечення пріоритету в часі, є введення окремої спеціальної фази для автобусів [6, 13, 17]. Тривалість цієї фази і доцільність її введення, залежить від середньої кількості автобусів, що прибуває до перехрестя за цикл.



Тому є ефективною при значній їх інтенсивності і лише для спеціальних смуг другої групи, тобто коли зупинки розташовані за перехрестям. Серед адаптивних алгоритмів, які можуть доповнювати цей метод, є три алгоритми, які широко застосовуються на практиці, зокрема продовження дозволеного сигналу,

дострокове закінчення забороненого при появі автобуса на підході до перехрестя та виклик спеціальної фази [31, 35, 26].

Перші два алгоритми є придатними тільки для спеціальних смуг другої групи у разі, коли автобуси і неперіоритетні ТП можуть пропускатися через перехрестя у безконфліктних спосіб в одній фазі. Або, коли спеціальні смуги мають комбіноване використання з ТЗ, що повертають праворуч. Також в умовах, де крім спеціальної смуги, що впроваджена у зоні перехрестя, наявні ще три смуги в одному напрямку для неперіоритетних ТП, і є можливість здійснювати керування рухом за окремими напрямками.

Алгоритм керування, що ґрунтується на виклику спеціальної фази дозволяє забезпечити абсолютний і умовний пріоритет для усіх типів спеціальних смуг, які впроваджуються у зоні перехрестя.

На ізольованих перехрестях ці три адаптивні алгоритми можуть реалізуватися як при змінній, такі і при сталій тривалості циклу, тоді як на координованих – лише при сталій тривалості циклу.

Ефективність функціонування спеціальної смуги у зоні перехрестя, де пріоритет у часі забезпечуватиметься через виклик спеціальної фази, залежить від умов руху на кожному підході та інтервалу руху між автобусами, що прибувають до перехрестя. Пояснюється це тим, що з використання цього алгоритму можна досягти найкращих результатів щодо забезпечення пріоритетного проїзду перехресть, проте одночасно це може створювати проблеми для інших учасників дорожнього руху [26].

Тому для того, щоб з'ясувати, при яких умовах руху на перехресті доцільно впроваджувати метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя» і одночасно встановити область ефективного його застосування, було проведено оцінку ефективності алгоритму виклику спеціальної фази в комбінації із спеціальною



смугою у зоні перехрестя, (тобто забезпечення просторово-часового пріоритету) при різних умовах руху та різних інтервалах між автобусами, що прибувають до перехрестя. Паралельно з цим при тому ж діапазоні умов руху на перехресті проводилась оцінка ефективності алгоритмів дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналу в умовах відсутності спеціальної смуги у зоні перехрестя, тобто забезпечення пріоритету в часі.

Для дослідження і оцінювання ефективності цих алгоритмів за різних умов руху використовувалося середовище VISSIM, в якому було створено моделі двох окремих X-подібних ізольованих регульованих пересічень з однією смугою руху на усіх підходах в обох напрямках. У зоні першого – впроваджена спеціальна смуга для автобусів типу 2.1. Її довжина на підході до стоп-лінії становить 150 м. Для спрощення масштабів дослідження прийнято, що на обох перехрестях відсутні лівоповоротні потоки.

Схеми геометричних параметрів перехресть з розподілом множини існуючих напрямків на сигнальні групи та розташування детекторів наведено на рис. 3.7, а та 3.8, а. Сигнальним групам для ТП присвоєно назви К1–К4; для пішохідних – F1–F4; для автобусів, що рухаються виділеною смугою – В1. Поєднання сигнальних груп у фази та послідовність їх чергування наведено на рис. 3.7, б та 3.8, б.

Правоповоротні транспортні потоки конфліктують з пішоходами, інтенсивність яких у кожній сигнальній групі не перевищує 50 піш./год.

У моделі прийнято, що бажана швидкість легкового і вантажного ТЗ становить 50 км/год, а автобуса – 40 км/год. Частка легкових автомобілів у потоці на усіх підходах (не враховуючи автобусів) становить 95%, а частка потоку прямого напрямку – 85%.

Для реалізації у VISSIM адаптивного керування світлофорною сигналізацією використовувався його додатковий модуль VAP. Моделювання роботи перехрестя з використанням цього модуля вимагає створення VAP-фалу, який описує логіку керування та PUA-фалу, в якому визначено сигнальні групи, їх поєднання у фази і тривалість перехідних інтервалів.



Файл-PUA для кожного алгоритму створювався у програмі WordPad, при цьому тривалість проміжних тактів в усіх випадках приймалась 3 с. Логіка керування алгоритмів розроблялася в окремому програмному модулі VisVAP

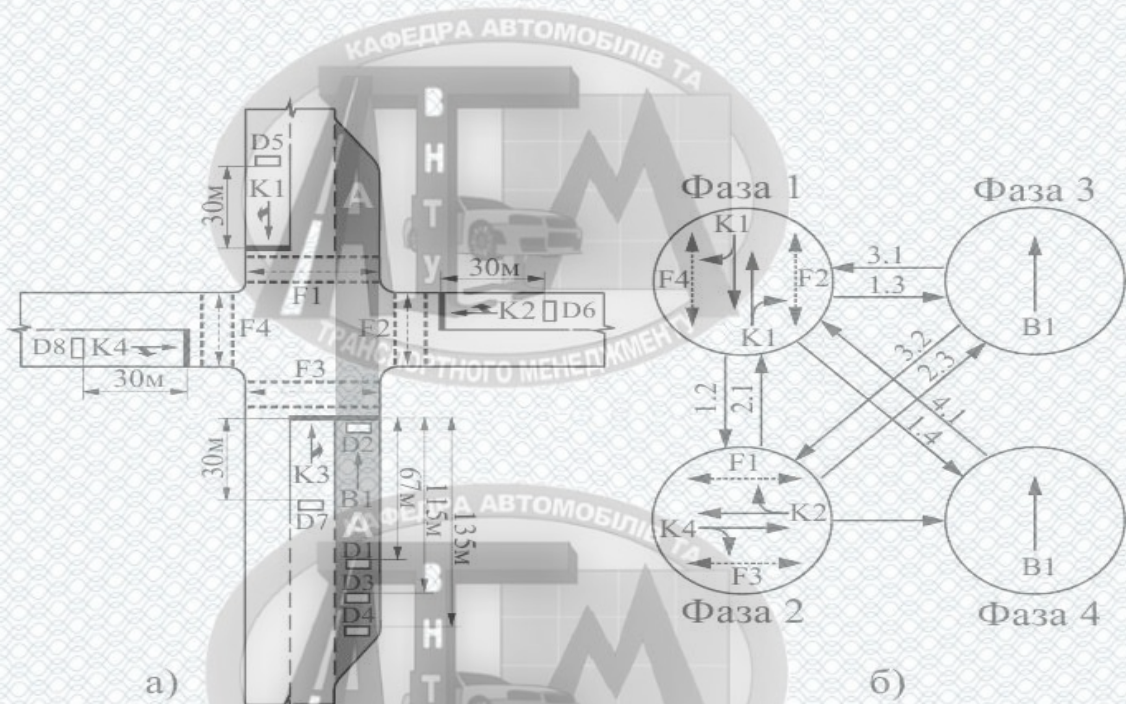


Рисунок 3.7 – Схема Х-подібного перехрестя із спеціальною смугою типу 2.1: а – геометричні параметри, сигнальні групи та розташування детекторів; б – послідовність зміни фаз

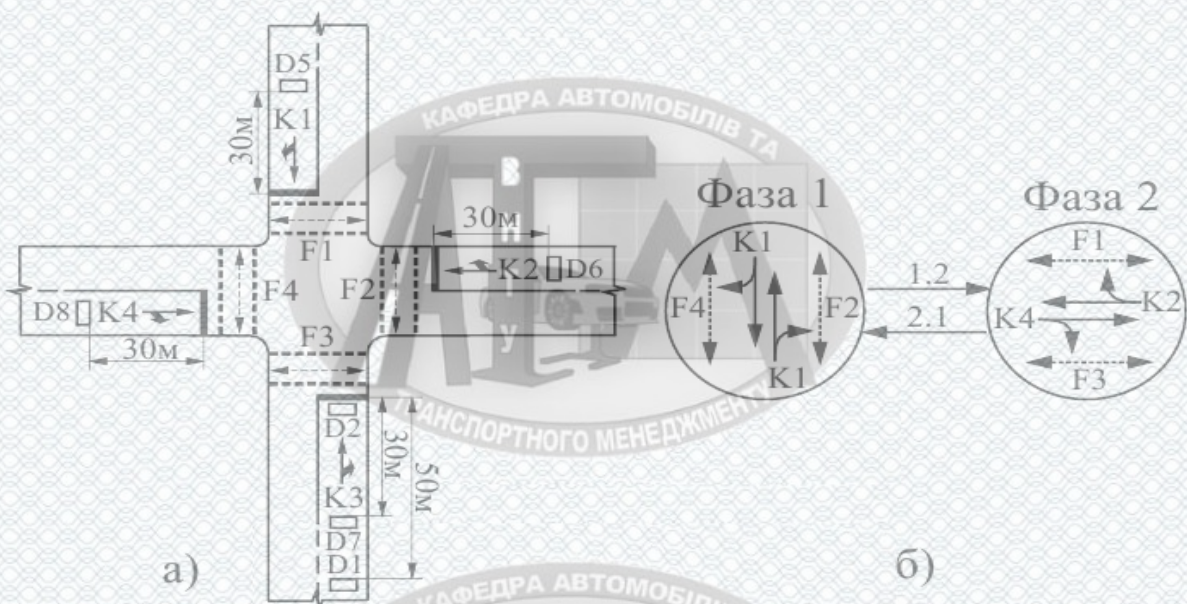


Рисунок 3.8 – Схема Х-подібного перехрестя без спеціальної смуги: а – геометричні параметри, сигнальні групи та розташування детекторів; б – послідовність зміни фази формі блок-схем, після чого перетворювалися у файли-VAP та обидва файли (PUA та VAP) імпортувалися у VISSIM.



Блок-схеми алгоритмів виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналу наведені відповідно на рис. 3.9 – 3.10. Вони створені на основі таких умов [41, 53]: а) часові умови керування:

- $T1 = 7$  с – мінімальна тривалість дозволеного сигналу фази 1 або 2;
- $T2 = 31$  с – максимальна тривалість дозволеного сигналу фази 1;
- $T3 = 9$  с – мінімальна тривалість дозволеного сигналу фази 2;
- $T4 = 17$  с – максимальна тривалість дозволеного сигналу фази 2;
- $T5 = 5$  с – мінімальна тривалість дозволеного сигналу фази 3 і 4;
- $T6 = 10$  с – максимальна тривалість дозволеного сигналу фази 3 і 4;

б) логічні умови керування:

- $W1, W2$  – відповідно детектор  $D3$  і  $D4$  зафіксували появу автобуса або завантаження детектора  $D2$  від його появи є не менше 1 с;
  - $L1$  – автобус був виявлений на детекторі  $D1$ ;
  - $F1$  – детектор  $D1$  зафіксував появу автобуса;
  - $G57$  – детектори  $D5$  і  $D7$  зафіксували часовий розрив 3 с у транспортному потоці сигнальних груп  $K1$  та  $K3$ ;
  - $G68$  – детектори  $D6$  та  $D8$  зафіксували часовий розрив 3 с у транспортному потоці сигнальних груп  $K2$  та  $K4$ ;
  - $NP1$  – на детекторі  $D1$  не виявлено автобуса і завантаження детектора  $D2$  від появи автобуса є менше 1 с;
  - $NL2$  – на детекторі  $D2$  не виявлено автобуса;
  - $DL1$  – очищує пам'ять детектора  $D1$ ;
  - $DL34$  – очищує пам'ять детекторів  $D3$  та  $D4$ ;
- в) інші умови керування:
- $PT := 0$  – перехід до фази 1;
  - $PT := 1$  – перехід до фази 2;
  - $IS$  – виконує перехід до перехідних інтервалів (наприклад,  $IS 1.2$  – виконується перехід з фази 1 у фазу 2).



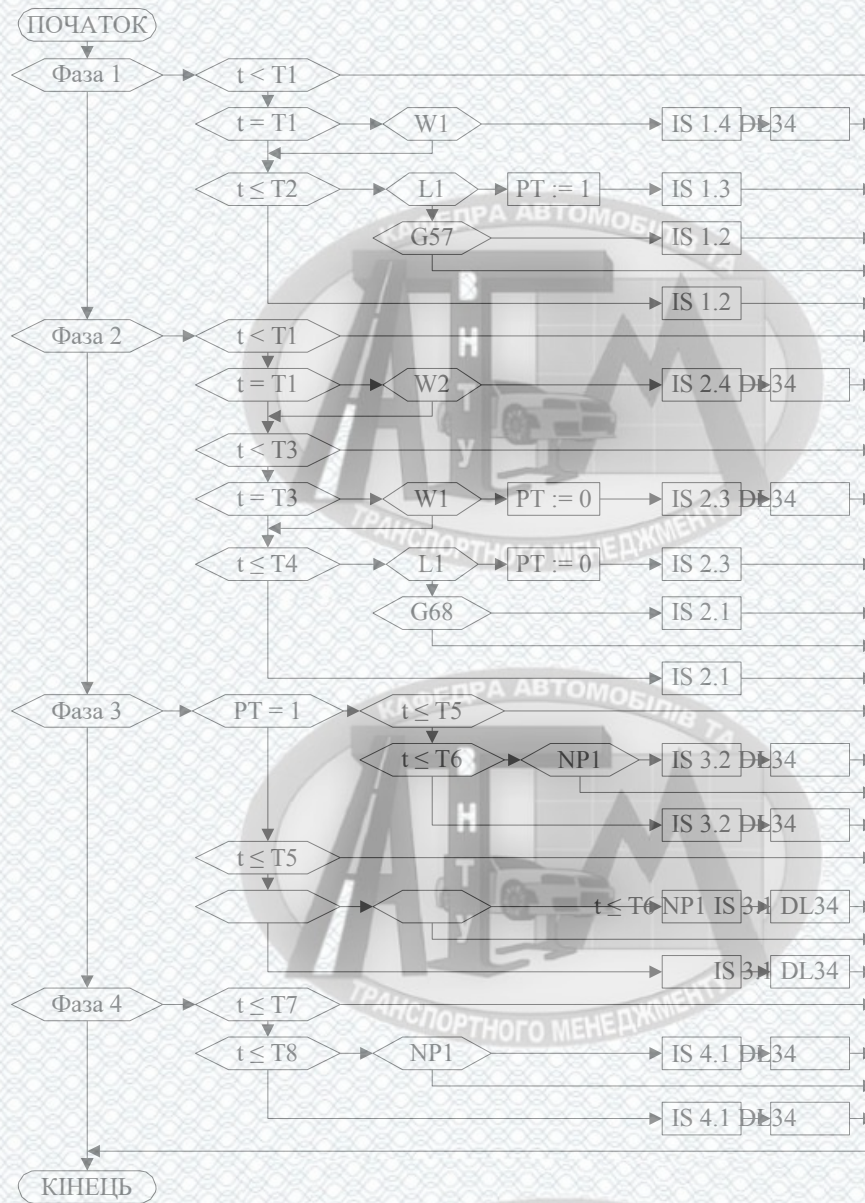


Рисунок 3.9 – Блок-схема алгоритму виклику спеціальної фази для автобуса

Для ефективного керування світлофорною сигналізацією на перехрестях усі три алгоритми, що забезпечують пріоритет одночасно поєднуються із алгоритмом пошуку часового розриву у ТП. Тоді як алгоритм виклику спеціальної фази, також ще поєднується із алгоритмом зміни чергування фаз. Реалізація комбінацій цих алгоритмів у логіці керування здійснюється в тому числі і за допомогою детекторів транспорту. Для виявлення появи автобуса на спеціальній смузі (див. рис. 3.20) використовуються детектори D1–D4, а для виявлення







Як критерій, для кількісної оцінки ефективності алгоритмів, використовується показник середня затримка автобуса на підході та середня затримка автомобіля на перехресті (визначається як середньозважене значення затримок усіх підходів) [18, 47].

Загалом у дослідженні було проведено 24 варіанти моделювань. Щоб усереднити результати, для кожного варіанту проводилось по 3 імітації, де тривалість однієї складала 1 год, причому початок фіксування результатів розпочинався з 400 с. За результатами моделювання було отримано значення середньої затримки автобусів та легкового ТЗ на підході, і розраховано – ТЗ на перехресті, а також встановлено їх залежності від інтервалу руху автобуса та ступеня насичення на підходах при різних алгоритмах, що забезпечують пріоритет (рис. 3.11 – 3.14).

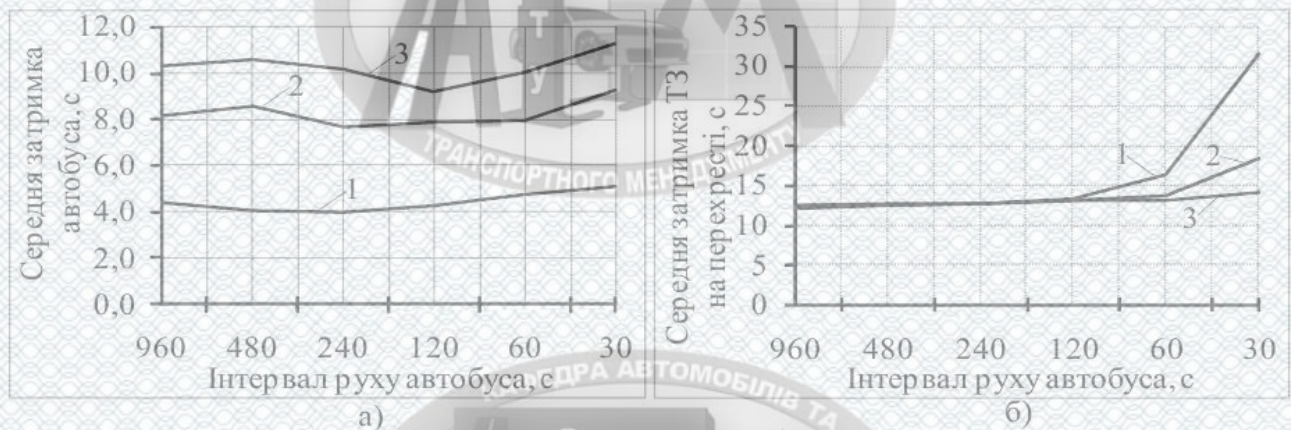


Рисунок 3.11 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,65: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів



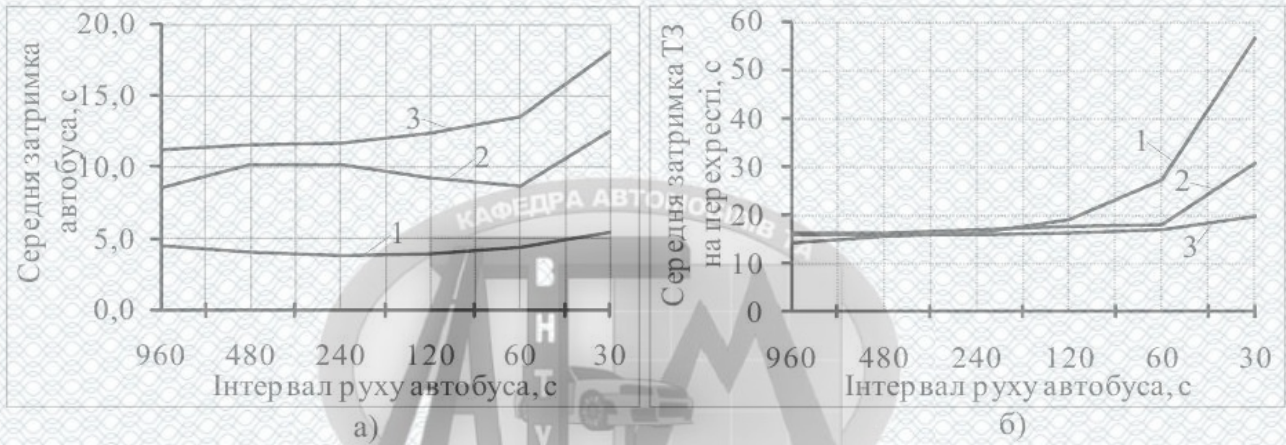


Рисунок 3.12 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,8: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

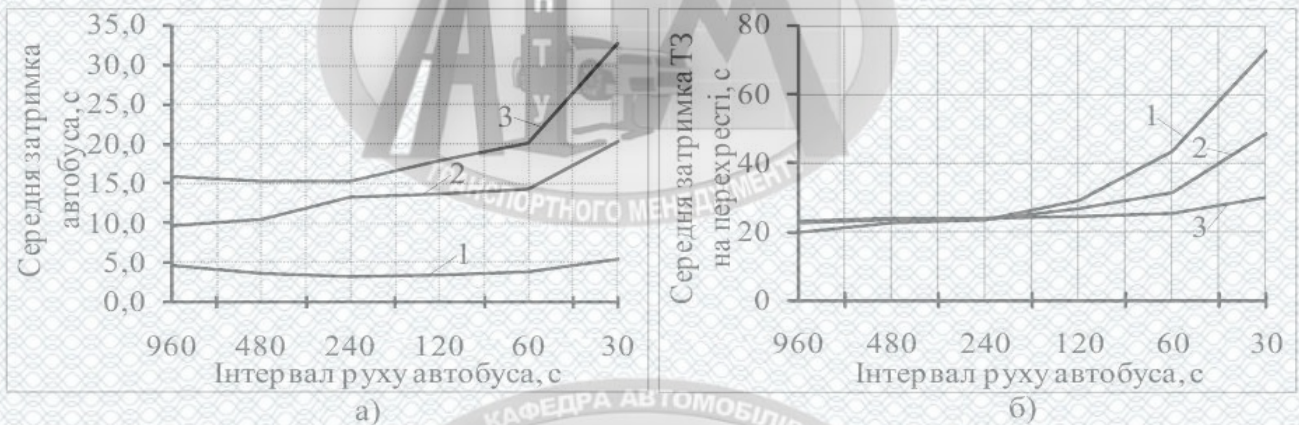


Рисунок 3.13 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,95: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів



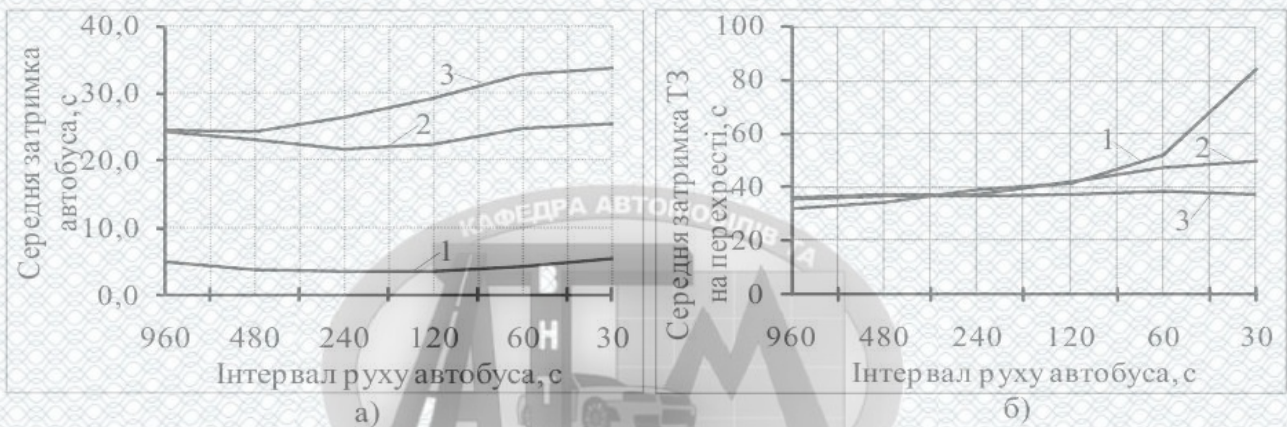


Рисунок 3.14 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 1,10: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

Як видно з рис. 3.11 – 3.14 значення середньої затримки автобуса за алгоритму виклику спеціальної фази в комбінації із спеціальною смугою у зоні перехрестя (просторово-часовий пріоритет), фактично не змінюються при різних умовах руху на перехресті та інтервалах руху між автобусами і лежать у межах 3,29 – 5,41 с. А значення затримок при алгоритмі дострокового завершення забороненого та алгоритмі продовження дозволеного сигналу, зростають із збільшенням насичення руху на перехресті (з 8,2 і 10,2 до 23,7 та 28,5 с відповідно при ступені насичення  $X = 0,65$  та 1,10). Водночас, значення середньої затримки автобуса при алгоритмі продовження дозволеного сигналу є більшими ніж при алгоритмі дострокового завершення забороненого при усіх умовах руху на перехресті (розбіжність становить 2 та 5 с відповідно при  $X = 0,65$  та 1,10). Хоча за перенасичених умов руху на перехресті (ступінь насичення 1,10) та при великих інтервалах руху (не менше 480 с) ці значення майже збігаються. Розбіжність значень середньої затримки автобуса при просторово-часовому пріоритеті і пріоритеті в часі становить від 4,8 до 21,9 с відповідно при ступенях насичення 0,65 та 1,10. Значення середньої затримки автомобіля на перехресті, зростають із збільшенням ступеня насичення  $X$  та зменшенні інтервалу руху між автобусами при усіх трьох алгоритмах. При цьому, якщо інтервал руху між авто-



бусами є більшим за 120 с, то значення затримок, при усіх трьох алгоритмах, фактично збігаються. Якщо ж інтервал є меншим за 120 с, то значення затримок відрізняються між собою і стрімко збільшуються із зменшенням інтервалу між автобусами. Найбільші значення затримок є при алгоритмі виклику спеціальної фази (31,47–83,99 с), а найменші – при алгоритмі продовження дозволеного сигналу (14,15–37,22). Така ситуація спостерігається при різних ступенях насичення на перехресті.

Для того, щоб з отриманих результатів, які наведені на рис. 3.21 визначити область ефективного застосування алгоритму виклику спеціальної фази в комбінації із спеціальною смугою у зоні перехрестя, що дає змогу забезпечувати просторово-часовий пріоритет, доцільно використовувати не значення середньої затримки ТЗ на перехресті, а величину затримок на кожному підході. Це дозволить детальніше врахувати ті умови руху, за яких величина затримки перевищує граничні межі. За граничне значення слід брати 80 с, яке рекомендується у [47]. Усреднюючи найбільші значення середньої затримки на двох другорядних підходах перехрестя, визначено та побудовано залежність середньої затримки ТЗ на підході від ступеня насичення на ньому та інтервалу руху між автобусами (рис. 3.15). Також з цими результатами наведено граничну межу значень середньої затримки у вигляді суцільної лінії.



Рисунок 3.15 – Залежність значень середньої затримки ТЗ на підході від ступеня насичення (а) та інтервалу руху між автобусами (б) (цифри на кривих – відповідно інтервал руху і ступінь насичення)



З наведених результатів видно, що із збільшенням ступеня насичення на підході і зменшенням інтервалу руху між автобусами, що надходять до перехрестя зменшується область ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», яка знаходиться під суцільною лінією на рис. 3.26.

Враховуючи ці результати і проводячи на основі них регресійний аналіз, встановлено межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» (рис. 3.16).



Рисунок 3.16 – Межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя»

На основі цього рисунку можна зробити висновок, що при граничній межі нормальних умовах руху на кожному підході (ступінь насичення 0,95 [45, 52]) інтервал руху між автобусами повинен бути більшим за 57 с.



## Висновки до розділу 3

1. Розроблено та формалізовано метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», який дає змогу забезпечити просторово-часовий пріоритет автобусам на регульованих перехрестях (здебільшого ізольованих), зокрема підходи яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг і визначено від чого залежать їх геометричні параметри. Встановлено, що ключовим етапом впровадження цього перехрестя.

2. Розроблено імітаційні моделі (мовою Objective-C) для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя, за значеннями яких визначається оптимальна довжина спеціальної смуги на відповідному підході до перехрестя.

3. Отримано аналітичні дослідження процесу утворення черги ТЗ на суміжному в напрямку координації перехресті і на їх основі розроблено імітаційну модель ділянки координації, яка добре відтворює реальний процес на суміжному перехресті і дає змогу визначати значення максимальної довжини черги ТЗ аналогічні тим, що видає VISSIM (відхилення не перевищує 22%). Адекватність цих результатів підтверджують достовірність прийнятої гіпотези, що черга, яку утворюють автомобілі із живлячого підходу, є прямо пропорційна до часової довжини групи, що потрапляє на заборонений сигнал суміжного перехрестя, та обернено пропорційна до середнього інтервалу між автомобілями у групі.

4. Визначено, що виклик спеціальної фази є основним алгоритмом, який доцільно використовувати для доповнення методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» в частині забезпечення пріоритетного проїзду площі перехрестя.

5. Встановлено межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя», згідно якої при граничній межі нормальних умовах руху автобусами повинен бути більшим за 57 с.



## РОЗДІЛ 4

### ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ ДЛЯ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

#### 4.1 Розробка транспортної моделі міста

Для реалізації будь-якого заходу транспортної інфраструктури в місті (будівництво елементів ВДМ, впровадження методів ОДР, вдосконалення організації руху ГТ тощо) необхідні вхідні дані (здебільшого це значення інтенсивності транспортних, пасажирських і пішохідних потоків), на основі яких виконується техніко-економічний розрахунок, за результатами якого приймається рішення щодо їх доцільності та ефективності.

При техніко-економічному аналізі заходів, які за своїми масштабами є так званими методами «лінійного» та «мережевого» характеру [6, 13], важливим завданням є оцінка їх впливу на усю ВДМ. Тобто потрібно визначити як зміняться характеристики дорожнього руху при зміні параметрів ВДМ.

Як відзначено у розділі 2 для оцінки умов руху при впровадженні спеціальних смуг на перегонах вулиць, необхідно встановити прогноз зміни інтенсивності ТП на неперіоритетних смугах та їх розподіл по ВДМ.

Щоб вирішувати такі завдання останнім часом, особливо у транспортному плануванні, використовують інструменти стратегічного транспортного моделювання (макро рівень моделювань), за допомогою яких створюють транспортні моделі міст або регіонів (областей) [36]. Транспортна модель – це масив даних про характеристики транспортної системи, наприклад, міста і здійснювані у ній транспортні процеси.

За допомогою транспортної моделі та її даних можна встановлювати прогнози зміни транспортних, пасажирських і пішохідних потоків при впровадженні тих чи інших заходів дорожньо-транспортної інфраструктури і оцінювати їх зміни як на локальному рівні, так і в масштабах цілої системи.



Для створення транспортної моделі міста чи регіону використовуються різні спеціалізовані програмні забезпечення, однак найпоширенішим у світовій практиці є середовище VISUM. Основною його перевагою є те, що це середовище дає змогу інтегрувати усі види транспорту в одну модель, в результаті чого, при зміні параметрів одного з видів транспорту, можливо визначити взаємовплив на усі інші.

Транспортна модель у середовищі VISUM складається з двох основоположних моделей – моделі пропозиції (мережі) та моделі попиту. Хоча цей поділ виражений економічними поняттями, проте він добре узгоджується з класичним формулюванням транспортної системи міста та з характеристиками її основних елементів [2]. Модель пропозиції утворюють ВДМ з відповідним облаштуванням та мережі різних видів транспорту з їх специфічними особливостями. Модель попиту це дані про кількість поїздок або переміщень між найменшими одиницями простору у місті, якими є транспортні райони. Їх розміри, як правило, не перевищують довжину пішохідної досяжності [11]. Попит на транспорт (водії, пасажери та пішоходи) є визначальним у транспортній моделі, оскільки його кількість і просторово-часовий розподіл визначають потрібні зміни як на елементах ВДМ, так і в транспортній системі загалом. Аналогом важливості моделі попиту у транспортній системі можна вважати підсистему «Транспортні потоки» в системі «Дорожні умови – Транспортні потоки» [6]. З огляду на ці особливості, саме це середовище вибрано для створення транспортної моделі міста Львова, на ВДМ якого здійснюватиметься експериментальна перевірка ефективності теоретичних досліджень, що проведені в розділі 2.

Створення транспортної моделі міста в середовищі VISUM складається з 5 блоків і виконується у такій послідовності (рис. 4.1). Першим етапом цієї послідовності є формування вхідних даних, введення яких виконується по чергово, відповідно до блоку моделювання. До них належить дані про ВДМ, мережу ГТ, просторово-структурні дані, дані про транспортну «поведінку» та дані для калібрування моделі.



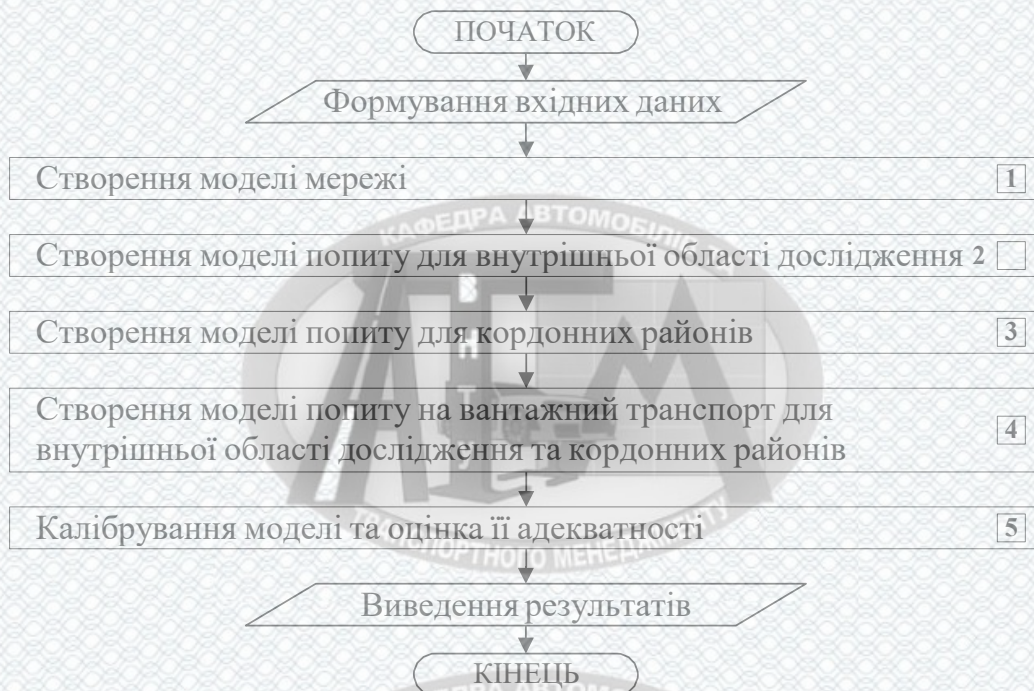


Рисунок 4.1 – Послідовність створення транспортної моделі міста в середовищі VISUM

Розробка в середовищі VISUM моделі пропозиції (блок 1) розпочинається із створення видів транспортну. У моделі Львова, відповідно до функціональних характеристик транспортної системи міста, визначено такі види транспорту: індивідуальний транспорт (ІТ); громадський транспорт (ГТ), що складається з автобусів, тролейбусів, трамваїв; велосипедний транспорт; пішохідний рух; вантажний транспорт.

Після цього, на основі топологічної електронної карти, створюється ВДМ, елементи якої (перехрестя та перегони) подаються у вигляді вузлів та дуг. Розробка моделі ВДМ здійснювалась шляхом повного оновлення існуючих вузлів і дуг, доповнення новими (до 43 % від загальної кількості). Вузли та дуги наповнювалися такими характеристиками: назва; кількість смуг руху; пропускна здатність; допустима швидкість руху різних видів транспорту; категорія вулиці чи дороги; тип перехрестя чи примикання (нерегульоване, регульоване, саморегульоване); схема організації дорожнього руху (двосторонній рух, односторонній рух, частково односторонній рух) тощо.



У третій частині цього блоку територія міста поділяється на транспортні райони (зонування території планування), і до кожного з них створюються примикання, які в такий спосіб приєднуються до ВДМ. У моделі Львова створено 530 транспортних районів, з яких 49 є на околицях міста та 14 кордонних районів. На основі моделі ВДМ, розробляється модель мережі ГТ, яка формується з маршрутів руху, режимів їх роботи (розкладів руху) та зупинок. У моделі мережа ГТ складається з 10 трамвайних, 11 тролейбусних та 114 автобусних маршрутів (з них 53 міські, 51 приміські та 10 міжміські). Обсяги та кількісний склад елементів, що утворюють у VISUM модель мережі ГТ і модель пропозиції загалом, наведені у додатку В.

Для визначення попиту на транспорт існують два принципові підходи. Перший підхід ґрунтується на натурних дослідженнях руху потоків (транспортних та пасажирських) в елементах ВДМ, з яких визначають матриці кореспонденцій. Другий – здійснюється за допомогою різних математичних моделей. Хоча на практиці ці два підходи здебільшого поєднуються, де першим – доповнюють або калібрують ті результати, що отримуються математичним шляхом.

Для створення моделі попиту у VISUM (блок 2, див. рис. 4.1), використовується класична 4-х ступенева модель [11, 40, 51], згідно якої моделювання здійснюється у чотири етапи: рис. 4.2.

Моделювання попиту у VISUM виконується з використанням таких об'єктів: групи; діяльність, пари діяльності (або джерело-ціль переміщення); шар попиту. Тому процедура моделювання, як видно з рис. 4.2, розпочинається із створення цих об'єктів попиту та присвоєння їм відповідних атрибутів (назва та кількість).

Об'єкт «групи» – служить для поділу населення на однорідні групи з подібною поведінкою. У моделі Львова населення поділено на такі однорідні групи: малі діти (до 7 років); школярі (7–17 р.); студенти (18–23 р.); працюючі (24–65); непрацюючі; пенсіонери (більше 65 р.).



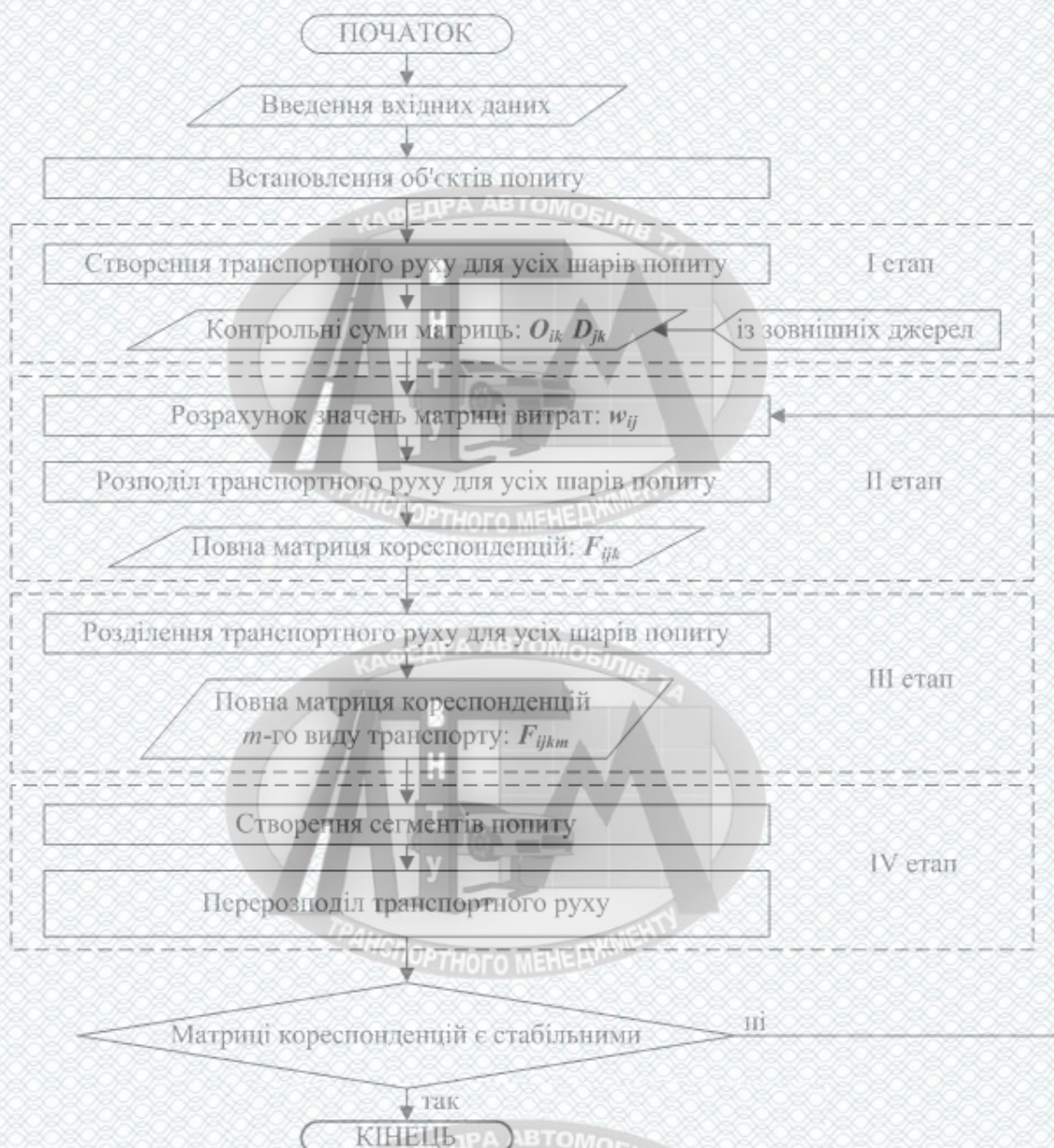


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритму моделювання попиту на транспорт за чотирьохступеневою моделлю

Об'єкти «діяльність» та «пара діяльності» ґрунтуються на тому, що кожне переміщення у просторі зумовлене людською діяльністю, яка має властивість змінюватися впродовж певного періоду часу. Найменша одиниця часу, за якою предметно можна оцінити характер цієї зміни є доба, оскільки учасники (однорідні групи населення), що здійснюють будь-яку діяльність за цей період, повертаються до вихідних положень і тим самим утворюють ланцюги переміщень, які мають велику ймовірність до повторень у наступні подібні періоди. Прик-



ладом типового ланцюга переміщень або прикладом зміни людської діяльності впродовж дня є ряд послідовної активності Дім – Робота – Магазин – Дім (Д-Р-М-Д), з якого утворюються однорідні переміщення (пари діяльності) Д- Р, Р-М, М-Д, що, своєю чергою, можуть бути як початком, так і кінцем цього переміщення.

У містах існує велика кількість видів діяльності, які утворюють відповідний обсяг пар діяльності або ще називають джерело-ціль переміщень. Однак значна їх кількість матиме малу частку для утворення попиту на транспорт або буде максимально подібною до інших джерело-ціль переміщень. Тому для спрощення розрахунку попиту на транспорт (який не впливає на точність його результатів), такі зв'язки, а відповідно види діяльності, узагальнюються [49].

Враховуючи зазначене, у моделі створено 8 найхарактерніших видів діяльності, а саме: квартира, дім (Д); робота (Р); дитячий садок (С); школа (Ш); коледж, технікум, університет (У); ринок, супермаркет, магазин (М); різноманітні заклади для дозвілля (Дз); інші установи (І). Вони утворюють 19 пар діяльності (табл. 4.1).

Таблиця 4.1 – Види джерело-ціль переміщень для транспортної моделі міста

від \ до	Д	Р	С	Ш	У	М	Дз	І
Д	-	ДР	ДС	ДШ	ДУ	ДМ	ДДз	ДІ
Р	РД	-			РІ	УІ		
С	СД		-					
Ш	ШД			-				
У	УД				-			
М	МД	ІР				-		
Дз	ДзД	ІУ					-	
І	ІД							-

На основі цих 19 видів пар діяльності (джерело-ціль переміщень) та од-



норідних груп, на які поділено населення міста, утворюються шари попиту.

«Шар попиту» – це основний об’єкт попиту, за допомогою якого здійснюється моделювання попиту у VISUM за 4-х ступеневою моделлю.

Виконання перших трьох етапів чотирьохступеневої моделі, зокрема першого – не можливе без вхідних даних, до яких відносять просторово-структурні дані та дані щодо транспортної «поведінки» мешканців міста (показники транспортної рухомості населення) [54].

У моделі використовуються такі просторово-структурні дані: населення з розподілом за віковими групами; кількість студентів, працюючих, безробітних; кількість робочих місць та місць у сфері послуг; кількість місць у навчальних закладах, в установах громадського харчування, закладах фізкультурно-спортивного профілю, медичних закладах та установах культури; торгові площі; загальна кількість зареєстрованих ТЗ у місті тощо. Усі ці дані автором було зібрано у профільних управліннях Вінницької міської ради, і визначені для кожного транспортного району.

Для визначення показників транспортної рухомості населення міста, було проведено опитування мешканців Вінниці і його околиць, в якому брало участь 1200 респондентів. Об’єм вибірки визначався за кількістю населення в адміністративному районі з розподілом за віковими групами. Для опрацювання результатів опитування використовувалось програмне середовище IBM SPSS Statistics. У результаті чого для усіх 19 джерело-ціль переміщень визначено такі показники, як ступінь рухомості населення, тривалість поїздок-переміщень та час їх початку, частка різних видів транспорту, середнє заповнення автомобіля пасажирами.

Результати моделювання попиту за 4-х ступеневою моделлю на етапі створення транспортного руху (етап I, див. рис. 4.2) мають деякі недоліки, зокрема не враховується частка тих переміщень, які мають свої цілі за межами області дослідження і тих котрі до неї в’їжджають, а також не виконується узгодження значень обсягу руху з  $i$ -го району-джерела та  $j$ -го району-цілі за їх відмінності.



Для усунення цих недоліків розрахунок контрольних сум матриці кореспонденцій для кожного шару попиту здійснювався за методикою з використанням Microsoft Excel.

Як результат, розраховані контрольні суми матриць для кожного шару попиту імпортується в середовище VISUM.

На другому етапі 4-х ступеневої моделі проводиться розрахунок розподілу транспортного руху, який здійснюється за принципом гравітації (*гравітаційна модель*), в результаті чого із контрольних сум матриці  $k$ -го шару попиту визначається повна матриця кореспонденцій.

На третьому етапі чотирьохступеневої моделі проводиться розділення транспортного руху або вибір виду транспорту. Тобто повна матриця кореспонденцій  $k$ -го шару попиту розділяється між визначеними видами транспорту.

По завершенні третього етапу виконується сумування матриць усіх пар діяльності за видами транспорту, в результаті чого утворюється сумарна матриця кореспонденцій для ІТ, ГТ, велосипедів та пішохідного руху.

Після цього у VISUM, у частині моделювання попиту, створюються сегменти попиту. Сегмент попиту – це окремий об'єкт попиту, який встановлює зв'язок між попитом і моделлю мережі впродовж виконання процедури перерозподілу (4 етап 4-х ступеневої моделі). Для кожного виду транспорту в моделі створено сегмент попиту і кожному з них присвоюється відповідна матриця кореспонденцій.

На четвертому етапі 4-х ступеневої моделі виконується перерозподіл транспортного руху, тобто кореспонденції різних видів транспорту розподіляються на транспортну мережу (ВДМ та мережу ГТ).

У середовищі VISUM є багато процедур, які використовують для перерозподілу ІТ, хоча на практиці, найбільшого поширення набула «навчальна процедура», що запропонована Д. Лозе:

За цією процедурою в моделі розподіляється індивідуальний, велосипедний транспорт та пішохідний рух. Для громадського транспорту використовується процедура перерозподілу «за розкладом».



Після завершення четвертого етапу, як видно з блок-схеми на рис. 4.2, процедура моделювання повертається до початку етапу II, на якому визначаються значення матриці витрат, однак уже в «навантаженій» мережі. Такий циклічний процес триває до тих пір, поки результат не буде задовольняти критерію відміни моделювання (як правило – стабільність матриць кореспонденцій). А реалізується це у VISUM за допомогою процедури «іти до операції».

Після завершення моделювання попиту для внутрішньої області дослідження необхідно врахувати кореспонденції, що утворюються на її границях (на в'їздах і виїздах із міста). Тобто створити модель попиту для кордонних районів (блок 3, див. рис. 4.1). Моделювання цього попиту здійснюється окремо для ІТ та ГТ.

Моделювання попиту на ІТ для кордонних районів реалізується за методикою, що запропонована Шиллером [55], яка здійснюється у три етапи:

- розрахунок руху із кордонних районів у райони області дослідження;
- розрахунок руху в кордонні райони із районів області дослідження;
- розрахунок транзитного руху – руху між кордонними районами.

Розрахунок контрольних сум матриць для усіх цих трьох етапів визначаються із загальних обсягів поїздок, що утворюються на кордоні області моделювання, тобто із значень інтенсивності ТП на в'їздах і виїздах із міста, які, як правило, встановлюються за результатами натурних досліджень.

Важливим етапом при побудові транспортної моделі міста є моделювання попиту на вантажний транспорт (блок 4, див. рис. 4.1). Модель попиту на вантажний транспорт для кордонних районів реалізується за аналогічним підходом як і для ІТ, а для внутрішньої області дослідження – на основі натурних даних про інтенсивності руху вантажного транспорту за методикою, що запропонована у [39] (модель готових потоків).

В якості даних використовуються значення інтенсивності руху вантажного транспорту на ключових перехрестях міста, які були визначені при натурних дослідженнях у 2012 – 2015 р.



#### 4.2 Дослідження ефективності запропонованих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць у реальних умовах

Для перевірки ефективності критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць, що запропоновані в розділі 2, було обрано частину проспекту Коцюбинського у м. Вінниці (від площі Вокзальної до центрального моста). Обрана ділянка розташована в центральній частині міста, на якій організовано двосторонній рух.

На цій ділянці, в різних її частинах, проходить 4–5 міських автобусних та до 6 тролейбусних маршрутів, а також приміські автобусні маршрути. Для кількісної і якісної оцінки рівня організації громадського транспорту (ГТ) на ВДМ було обрано автобусний маршрут № 25, який курсує на усій визначеній ділянці. Цей маршрут сполучає центр міста з західною його околицею та рухається у прямому і зворотному напрямках, або складається з двох варіантів маршруту «до центру» та «від центру» (табл. 4.2).

Таблиця 4.2 – Характеристики зупинних пунктів та перегонів між ними на обраній ділянці

Напрямок руху	Назва зупинного пункту	Скорочена назва	Назва перегону між зупинками	Довжина, м
до центру	Площа Вокзальна	А	-	-
	вул. Папаніна	Б	АБ	484
	Центральний ринок	В	БВ	461
	Площа офіцерів	Г	ВГ	631
	Петроцентр	Д	ГД	423
від центру	Автовокзал	Е	ДЕ	696
	Автовокзал	К	-	-
	Петроцентр	Л	КЛ	555
	Площа офіцерів	М	ЛМ	447
	Центральний ринок	Н	МН	646
	вул. Папаніна	О	НО	475
	Площа Вокзальна	П	ОП	473

Відповідно до умови критерію І спеціальні смуги можна впроваджувати



на усій обраній ділянці не перериваючи на перехрестях.

Перевірка доцільності впровадження спеціальних смуг за критерієм II виконується за формулою (2.2), за якою значення обсягів пасажиропотоків у ранковий пік, непіковий період та вечірній пік для кожного перегону вулиці, порівнюють з їх мінімальними значеннями.

Згідно формули (2.2) визначення мінімального обсягу пасажиропотоку вимагає розрахунку значень коефіцієнта заповнення. Їх визначення здійснюємо в середовищі VISUM у такий спосіб. Насамперед матриці кореспонденцій індивідуального транспорту усіх шарів попиту окремо перерозподіляються на модель ВДМ (етап IV див. рис. 4.2), кожній з яких відповідає значення коефіцієнта заповнення, що отримано з результатів опитування. Тоді значення коефіцієнта заповнення для  $j$ -го перегону ВДМ визначається як середньозважене з усіх коефіцієнтів заповнення різних шарів попиту. Результати розрахунків, що отримані за формулою (2.2) наведено на рис. 4.3 – 4.5.



Рисунок 4.3 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм II у ранковий пік





Рисунок 4.4 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм II у непіковий період

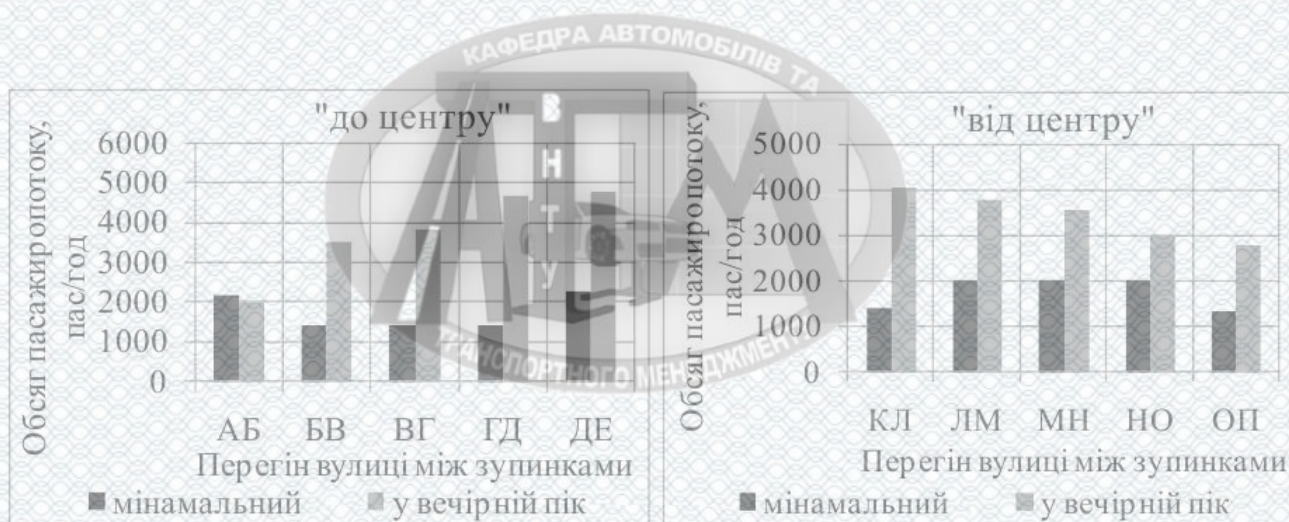


Рисунок 4.5 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм II у вечірній пік

З рисунків 4.3 – 4.5 чітко видно, що в напрямку до центру виділення спеціальних смуг є доцільним на усіх перегонах між зупинними пунктами в ранковий пік. У непіковий період та вечірній пік виключенням є перегін АБ. У зворотному напрямку впровадження спеціальних смуг доцільно на усіх перегонах між зупинками в усі вибрані періоди активної частини доби.

Перевірка доцільності виділення спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм III здійснюється відповідно до запропонованої лінійної послідовності



на рис. 4.5. Ключовим етапом цієї послідовності є визначення зміни інтенсивності руху і рівня завантаження на неперіоритетних смугах після впровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг.

Встановлення прогнозу зміни інтенсивності та розподіл її значень на ВДМ здійснюється в середовищі VISUM з використанням даних транспортної моделі, що розроблена у підрозділі 4.1, а виконується це за алгоритмом моделювання, який включає три етапи. На першому етапі у VISUM створюються дві файл-версії (масиви даних про ВДМ та попит на транспорт), в одній з яких у моделі мережі змінюються параметри дуг на обраній ділянці ВДМ, зокрема кількість пріоритетних і неперіоритетних смуг та пропускна здатність. Пропускна здатність перегонів вулиць (дуг), що залишається для неперіоритетних потоків визначається із параметрів керування їх перехресть (вузлів). Впродовж другого етапу у VISUM виконується процедура перерозподілу (етап IV див. рис. 4.2), за якою матриця кореспонденцій індивідуального транспорту розподіляється на модель мережі, в якій відбулися зміни. На третьому етапі дві файл-версії, що містять розподіл потоків у моделі мережі, зі зміненими і незміненими параметрами, порівнюються з використанням закладного у VISUM процедури «відмінність мереж». Результати прогнозів зміни інтенсивності ТП у вибрані періоди дня на обраній ділянці ВДМ наведені в табл. 4.3 (як приклад, обрано ранковий пік).

Таблиця 4.3 – Зменшення інтенсивності ТП на перегонах вулиці, авт./год

Активний період доби	Перегін вулиці між зупинками									
	АБ	БВ	ВГ	ГД	ДЕ	КЛ	ЛМ	МН	НО	ОП
ранковий пік	121	110	110	65	141	44	58	46	50	50
непіковий період	60	55	55	71	71	27	33	27	28	28
вечірній пік	106	96	96	124	124	63	83	67	71	70

Як видно, функціонування спеціальних смуг для ГТ на окремих елементах вуличної мережі призводить до того, що деякі водії ТЗ обирають інші шля-



хи для руху, в результаті чого знижується інтенсивність руху ТП на неперіоритетних смугах (визначено у табл. 4.5). Це пов'язано з тим, що виділення пріоритетних смуг, фактично завжди, утворюють часткові обмеження на елементах мережі з позиції їх пропускнуої здатності для неперіоритетного потоку.

На основі прогнозних значень інтенсивності визначається рівень завантаження на неперіоритетних смугах і порівнюється з допустимою областю завантаження (рис. 4.6).

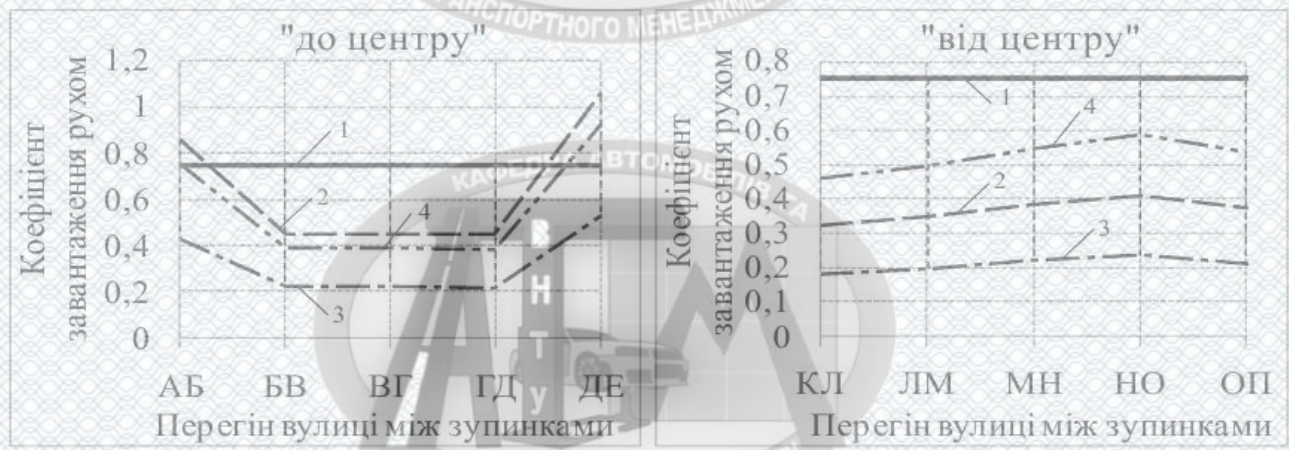


Рисунок 4.6 – Доцільність впровадження спеціальних смуг за критерієм Ш в напрямку «до центру» та «від центру»: 1 – верхня межа допустимої області завантаження на неперіоритетних смугах; 2 – ранковий пік, 3 – непіковий період; 4 – вечірній пік

З рис. 4.6 видно, що з позиції стану потоку на неперіоритетних смугах є недоцільним впровадження спеціальних смуг на перегоні між зупинними пунктами АБ у ранковий пік, а на ДЕ – у ранковий та вечірній піки.

Після перевірки доцільності впровадження спеціальних смуг на обраній ділянці вуличної мережі за трьома критеріями, слід також перевірити зміну експлуатаційної швидкості автобусного маршруту при їх функціонуванні.

Для розрахунку експлуатаційної швидкості автобуса використовується відома формула [13, 27], яка виражена в тому числі і через тривалість пришви-



дшення і сповільнення:

$$V_{E_i} = \frac{3,6 \cdot L_{\Pi_i}}{\frac{V_{Ш}}{7,2} \cdot \left( \frac{1}{a} + \frac{1}{k} \right) + \frac{3,6 \cdot L_{\Pi_i}}{V_{Ш_i}} + d_3}, \quad (4.1)$$

де  $V$  – експлуатаційна швидкість на  $j$ -му перегоні між зупинними пунктами, км/год;

$V_j$  – шляхова швидкість на  $j$ -му перегоні між зупинними пунктами, км/год;

$L$  – довжина  $j$ -го перегону між зупинними пунктами, м;

$d_3$  – тривалість затримки на зупинці, с;

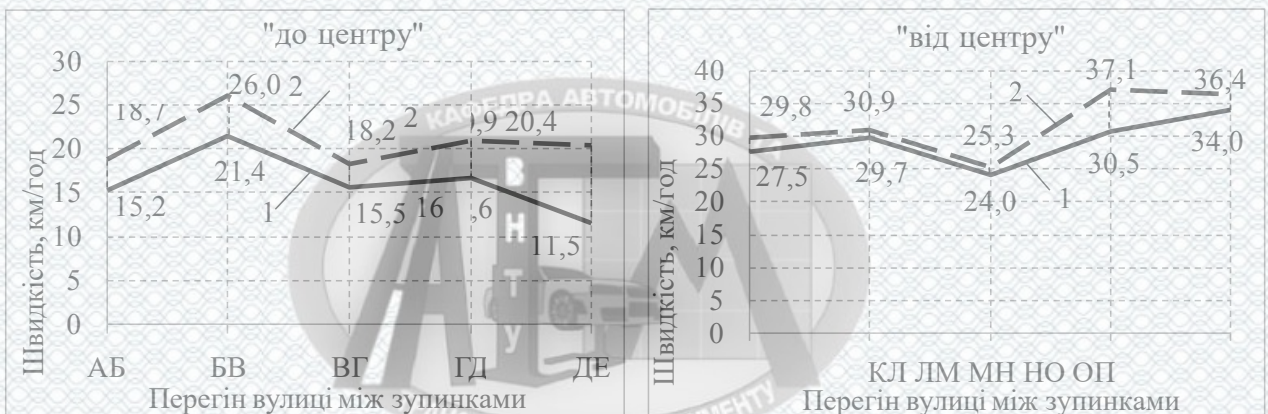
$a$  – пришвидшення, м/с<sup>2</sup>;

$k$  – сповільнення, м/с<sup>2</sup>.

В [1] для величин  $a$  та  $k$  пропонуються такі значення: пришвидшення – 1,3; сповільнення – 1,3.

Шляхова швидкість на  $j$ -му перегоні між зупинними пунктами визначається в середовищі VISUM з використанням формули (2.1), яка дозволяє врахувати затримки на перегонах і перехрестях як при відсутності, так і наявності спеціальних смуг.

Для того, щоб значення, які визначаються за формулою (4.1) були максимально адекватними, необхідно при їх розрахунку використовувати значення затримок на зупинних пунктах, які отримані з натурних досліджень. Результати значень експлуатаційної швидкості автобуса за наявності і відсутності спеціальних смуг наведено на рис. 4.7 – 4.9.





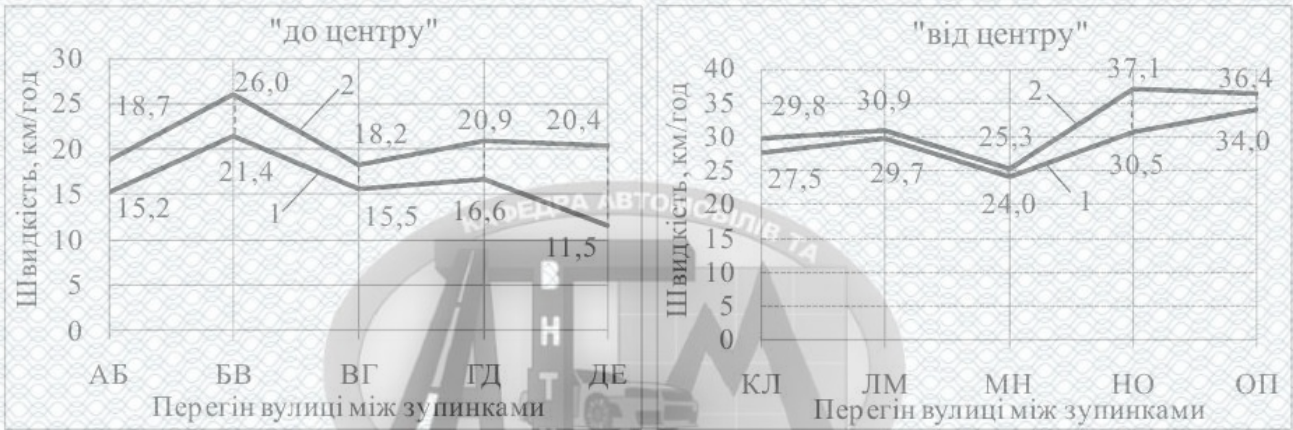


Рисунок 4.7 – Експлуатаційна швидкість автобуса в ранковий пік: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг



Рисунок 4.8 – Експлуатаційна швидкість автобуса в непіковий період: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг

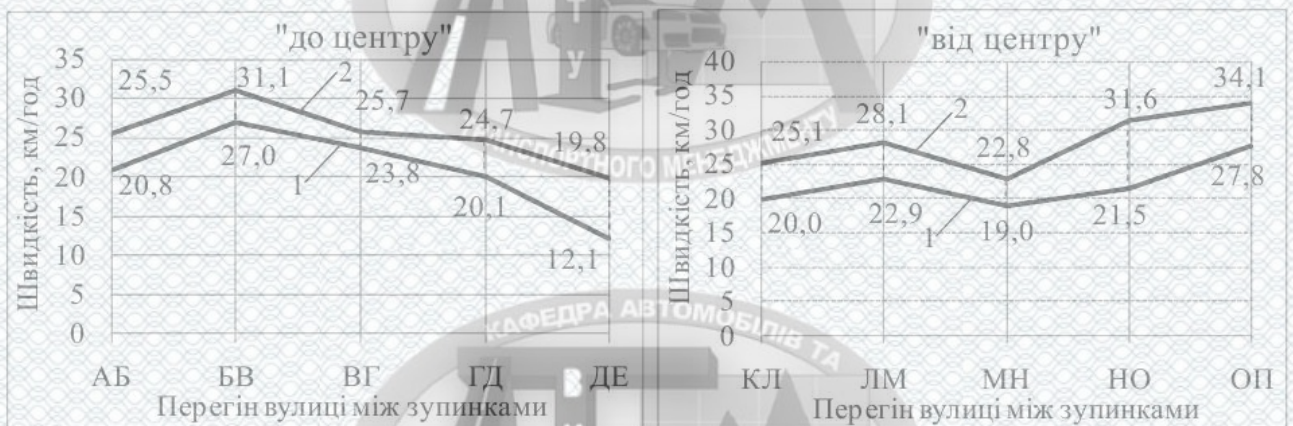


Рисунок 4.9 – Експлуатаційна швидкість автобуса у вечірній пік: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг



Як зазначається в [1], підвищення експлуатаційної швидкості руху ГТ на 1,6 км/год є ефективним рішенням щодо вдосконалення його роботи на вуличній мережі та виправдовують економічну доцільність впровадження заходів з надання їм пріоритету в русі. Відповідно до цієї умови, впровадження спеціальних смуг не підвищує ефективність роботи автобусного маршруту на перегонах між зупинними пунктами ЛМ і МН у ранковий та непіковий період, а також на ОП у непіковий період.

Доцільність функціонування спеціальних смуг у двох напрямках на визначеній ділянці ВДМ за трьома критеріями та значеннями зміни експлуатаційної швидкості при їх впровадженні можна узагальнити у вигляді таблиці (табл. 4.4), де 1 та 0 вказують, відповідно, на позитивний та негативний результат.

Таблиця 4.4 – Доцільність впровадження спеціальних смуг

Типи обґрунтування	Активний період доби	Перегони між зупинними пунктами										
		до центру					від центру					
		АБ	БВ	ВГ	ГД	ДЕ	КЛ	ЛМ	МН	НО	ОП	
Критерій I	-	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Критерій II	ранковий пік	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	неп. період	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Критерій III	ранковий пік	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
	неп. період	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1
Експлуатаційна швидкість	ранковий пік	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1
	неп. період	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0
	вечірній пік	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Підсумовуючи результати важливо додати, що впровадження спеціальних смуг на обраній ділянці, дає змогу зменшити на 23–25 % тривалість руху автобусів на маршруті порівняно без їх впровадження.



## Висновки до розділу 4

1. Розроблено транспортну модель міста Вінниці в середовищі VISUM з моделлю попиту на ІТ, ГТ, велосипед, пішохідний рух і вантажний транспорт. Модель попиту створена за класичною 4-х ступеневою моделлю попиту, причому створення транспортного руху (І етап 4-х ступеневої моделі) виконано за методикою запропонованою проф. Д. Лозе з використанням Microsoft Excel.

2. З використанням транспортної моделі у VISUM та її даних встановлено прогнози зміни інтенсивності руху як на перегонах вулиці обраної ділянки, так і на усіх елементах вуличної мережі міста при виділенні спеціальних смуг для маршрутних автобусів.

3. З використанням VISUM та запропонованих критеріїв проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах частини проспекту Коцюбинського (м. Вінниця), за якою встановлено, що їх впровадження дає змогу зменшити тривалість руху автобусів до 23–25 %. Результати дослідження дозволяють стверджувати про справедливість прийнятих гіпотез у теоретичних дослідженнях, засвідчують переваги запропонованих критеріїв, їх простоту використання та придатність до застосування на практиці.





## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

#### 5.1 Технічні рішення щодо безпечної експлуатації об'єкта

В даній роботі розглядаються умови праці при виконанні роботи по вдосконаленню пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів. До обладнання для роботи входять робочі столи та обчислювальна техніка.

В приміщенні проводять наукові роботи, різного роду розробки, розрахунки, виконують креслення та інше.

Робочі місця мають розташовуватись так, щоб забезпечити зручні умови праці працюючих. Проходи повинні бути достатньої ширини, щоб можна було пройти не заважаючи працівникам.

Для притоку свіжого повітря використовується природна вентиляція.

В холодний період року використовується система водяного опалення з радіаторами.

Можливий вплив на працівників небезпечних та шкідливих виробничих факторів. До небезпечних виробничих факторів відносять фактори, вплив яких на працюючих приводять до травм, а до шкідливих - фактори, які приводять до захворювання.

Небезпечні та шкідливі виробничі фактори поділяються за природою дії на фізичні, хімічні, психофізіологічні та біологічні.

В приміщенні на працівників діють тільки дві групи небезпечних та шкідливих виробничих факторів - фізичні та психофізіологічні.

До групи фізичних небезпечних факторів відносять такі підгрупи небезпечної дії:

- підвищена чи понижена вологість повітря;
- підвищена чи понижена температура повітря;
- недостатність природного освітлення;
- недостатність освітлення робочого місця;



– підвищена чи понижена рухомість повітря.

Групу психофізіологічних небезпечних і шкідливих виробничих факторів по характеру дії поділяють на такі підгрупи: фізичні та нервово -психічні перевантаження. До фізичних перевантажень відносять статичне; до нервово-психічних – монотонність праці, розумові навантаження, емоційні перевантаження.

### 5.1.1 Технічні рішення щодо безпечної організації робочих місць

Визначається як система організаційних, технічних засобів, які запобігають або зменшують дію на робітників шкідливих факторів.

По санітарним нормам на одного працюючого повинно припадати не менше  $S=6 \text{ м}^2$  виробничої площі та  $V=15 \text{ м}^3$  об'єму, при кількості персоналу до 20 чоловік.

Без врахування обладнання в нашій аудиторії на одну людину припадає  $S=5 \text{ м}^2$  та  $V=14 \text{ м}^3$ , без врахування обладнання.

Враховуючи площу обладнання, одержимо  $S=4,4 \text{ м}^2$  та  $V=12,8 \text{ м}^3$ .

В даному приміщенні наявні такі небезпечні фактори:

- а) наявність електричних розеток;
- б) наявність освітлювальних пристроїв;
- в) наявність оргтехніки.

Виходячи з перелічених факторів вибираємо спосіб захисту – занулення.

Вимоги до електрообладнання:

Обладнання занулене, що забезпечує захист від ураження електричним струмом. Відповідністю з ПУЕ занулення застосовується і являється ефективною мірою захисту електрообладнання.

## 5.2 Технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

### 5.2.1 Мікроклімат

Показниками, які характеризують мікроклімат являються:



Оптимальні показники мікроклімату розповсюджуються на всю робочу зону, допустимі показники встановлюються диференційно для робочих місць. Витрата енергії складає: (150-200  $\frac{\text{ккал}}{\text{год}}$ ). Робоче місце постійне.

Категорія робіт: легка ІБ. До даної категорії відноситься робота, що виконується сидячи і не потребує переміщення (табл. 5.1).

Інтенсивність теплового випромінювання працівників від нагрітих поверхонь технологічного обладнання, освітлювальних пристроїв на постійних робочих місцях не повинна перевищувати 100 Вт/м<sup>2</sup> при опроміненні 25% поверхні тіла.

Температура, відносна вологість і швидкість руху повітря на робочому місці приміщення повинна відповідати нормам, вказаним в таблиці 4.1.

Таблиця 5.1 – Норми

Період року	Категорії праці	Температура				Відносна вологість		Швидкість руху		
		оптимальна	Допустима				оптимальна	допустима не більше	оптимальна не більше	допустима не більше
			тах.		мін.					
			пост.	непост.	пост.	непост.				
Холодний	Легка ІБ	21-23	25	27	20	17	40-60	75	0,1	0,2
Теплий	Легка ІБ	22-24	28	29	21	18	40-60	24°C-75 25°C-70 26°C-65 27°C-60 28°C-55	0,2	0,1-0,3

В приміщенні повинні підтримуватись оптимальні параметри мікроклімату. Так як робота пов'язана з нервово-емоційною напругою.

В холодну пору року в приміщенні застосовується комбіноване опалення.

Системи опалення, вид і параметри теплоносія передбачаються з урахуванням теплової інерції огорожуючої конструкцій і у відповідності з характером і призначенням споруд і будівель по СНиП II-33-75. Згідно цього вибираємо водяне опалення, для даного приміщення розташування радіаторів приймаємо



на стінах або в нішах стін, коли стіни не несуть основних навантажень.

Для очищення повітря в приміщенні застосовується вентиляційна система: природна (неорганізована).

При природній вентиляції повітрообмін проходить внаслідок різниці температур повітря в приміщенні і зовні, а також в результаті дії повітря. В якості природної вентиляції використовуємо неорганізовану вентиляцію при якій попадання або видалення повітря проходить через нещільності і пори зовнішніх огорожень, через вікна.

### 5.2.2 Виробниче освітлення

Освітлення в приміщенні аудиторії приводиться по таблиці 2 Нормування освітленості і КПО проводим в горизонтальній площині на висоті 0,8 м від підлоги.

Так, як місто Вінниця знаходиться в IV світловому кліматі:

Штучне освітлення.

Загальна освітленість приміщення – 500 лк.

Для збільшення освітленості робочої поверхні слід застосувати місцеве освітлення. Показник дискомфорту не повинен перевищувати 40.

Для загального штучного освітлення приміщення слід передбачити газорозрядні лампи, незалежно від джерела світла місцевого освітлення.

Коефіцієнт пульсацій освітленості при освітленні приміщення не повинен перевищувати – 10%.

### 5.2.3 Виробничий шум

Походження шумів у даному приміщенні пов'язано з роботами у прилеглих приміщеннях.

Дані в таблиці 5.2 відповідають виду трудової діяльності, що потребує сконцентрованості над виконанням всіх видів робіт на постійних робочих місцях.

Для захисту від шуму у приміщенні аудиторії, який виникає від неякісної



роботи оргтехніки слід застосувати столи з спеціальним відділенням для встановлення системних блоків.

Таблиця 5.2 – Показники шуму

Рівні звукового тиску в октавних полосах з середньгеометричними частотами									Еквівалентні рівні звуку в дБА
31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
93	76	70	63	59	54	51	50	40	60

Зниження шуму на шляху його розповсюдження в значній мірі досягається проведенням будівельних акустичних заходів з застосуванням звукоізолюючих перегородок між приміщеннями.

#### 5.2.4 Виробничі вібрації

Причиною збудження вібрацій в приміщенні є вібрації, виникаючі при роботі обчислювальних машин і агрегатів, які знаходяться в прилеглих приміщеннях.

Вібрація відноситься до факторів, які мають велику біологічну активність. Як загальна, так і локальна вібрація несприятливо впливає на організм людини, викликає зміну у функціональному стані вестибулярного апарату, центральної нервової, серцево-судинної систем, погіршує самопочуття та може призвести до розвитку професійних захворювань.

У нашому приміщенні присутня вібрація типу - Зв. Тобто це вібрація на робочих місцях працівників розумової праці і персоналу, що не зайняті фізичною працею.

Для зменшення шкідливої дії вібрації слід встановлювати джерела виникнення вібрації на віброізолюючі опори, а також гнучкі вставки в комунікаціях повітроводів.



### 5.3 Пожежна безпека

Дільниця належить до категорії приміщення з позначкою Г. Категорію Г для будівель застосовані тому, що дільниця характеризується негорючими речовинами і матеріалами в гарячому або розжареному стані з виділенням променевого тепла, іскр, газоподібних речовин.

Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці відображена в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3 – Характеристика приміщення по вибухопожежній небезпеці

Категорія приміщення	Характер речовин та матеріалів, що знаходяться в приміщенні
Г	Негорючі речовини в гарячому або в розжареному стані, в процесі роботи яких виділяється промениста теплота, іскри полум'я, горючі гази, рідини і тверді речовини накопичуються і утилізуються в якості палива

За ступенем вогнестійкості елементів будівля відноситься до групи II.

Ступінь вогнестійкості будівлі II - це будівлі з несучими та огорожувальними конструкціями з природних та штучних кам'яних матеріалів, бетону або залізобетону із застосуванням листових і плиткових матеріалів таблиці 5.4 та 5.5.

Таблиця 5.4 – Мінімальні межі вогнестійкості будівельних конструкцій (у год.) і максимальні межі розповсюдження полум'я по них (у см.) для даного ступеня вогнестійкості будівель

Ступінь вогнестійкості	Стіни					Сходчасті площадки і клітки, косоури	Плити, настили інші несучі конструкції перекриття	Елементи покриття	
	Несучі	Самонесічі	Зовнішні несучі	Внутрішні несучі	Колони			Плити, настили, прогони	Балки, ферми, арки, рами
IIa	1/0	0,5/0	0,25/40	0,25/40	0,25/0	1/0	0,25/0	0,25/25	0,25/0



Таблиця 5.5 – Ступінь вогнестійкості, допустима кількість поверхів і площа поверху в межах пожежного відсіку будівлі

Категорія будівлі	Допустима кількість поверхів	Ступінь вогнестійкості будівлі	Площа поверху в межах пожежного		
			Одноповерхових	Багатоповерхових	
				2 поверхи	3 і більше
Г	6	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.	Не обмеж.

Роботи можуть спричинити пожежу. Для її запобігання вживаємо ряд протипожежних заходів, найважливішим з яких - суворе дотримання протипожежного режиму роботи, а також правил експлуатації електрообладнання. Неможливе зберігання легкозаймистих та вогненебезпечних матеріалів.

Для запобігання пожежі сигналізацію автоматичної дії та теплові попередники максимальної дії. Вони спрацьовують, коли температура повітря досягає заданого критичного значення. Для локалізації та ліквідації невеликих загорань та пожеж застосовуємо первинні засоби пожежогасіння.

Для гасіння пожежі передбачені:

- щити з пожежним інвентарем;
- ящик з піском, кирки, лопати;
- щит з вогнегасниками ОУ-8.

Відстань від найбільш віддаленого місця до найближчого евакуаційного виходу для категорії приміщень Г, незалежно від об'єму, для ступеня вогнестійкості II - не обмежується.

У покритті будівель допускається застосовувати незахищені сталеві конструкції.

#### 5.4 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Дія іонізуючих та електромагнітних випромінювань на електронні та електричні системи.

Радіоелектронна апаратура, що знаходиться в зоні дії іонізуючих випромінювань, може істотно змінювати свої параметри і виходити з ладу.

Ці пошкодження відбуваються в результаті зміни фізичних і хімічних влас-



тивостей радіотехнічних (напівпровідникових, ізоляційних, металевих і ін.) матеріалів, параметрів приладів і елементів електронної техніки, виробів електротехніки і радіоелектронних схемних пристроїв.

Здатність виробів виконувати свої функції і зберігати характеристики і параметри в межах встановлених норм під час і після дії іонізуючих випромінювань називають радіаційною стійкістю.

Ступінь радіаційних пошкоджень в опромінюваній системі залежить як від кількості енергії, передаваної при опромінюванні, так і від швидкості передачі цієї енергії. Кількість поглиненої енергії і швидкість передачі її у свою чергу залежать від виду і параметрів випромінювання і ядерно-фізичних характеристик речовин, з яких виготовлений опромінюваний об'єкт.

Зміна властивостей речовин, що виникають в результаті взаємодії з іонізуючими випромінювань, ґрунтується на утворення різних дефектів в матеріалі. Радіаційні зміни в матеріалах бувають наступних типів: вакансії (вакантні вузли), атоми домішок (домішкові атоми), зіткнення при заміщеннях, термічні (теплові) піки, піки зсуву, іонізаційні ефекти.

Суттєвий вплив на роботу електронних систем та обладнання має електромагнітне випромінювання. До основних його джерел можна прирахувати перш за все електромагнітну та атомну зброю, а також електротранспорт (трамваї, тролейбуси, поїзди і т.д.), лінії електропередач (міського освітлення, високовольтні і т.д.), електропроводку (усередині будівель, телекомунікації і т.д.), побутові електроприлади, теле- і радіостанції (трансляючі антени), супутниковий і стільниковий зв'язок (трансляючі антени), персональні комп'ютери і т.д.

Для зниження інтенсивності впливу цих випромінювань на різні системи можна вжити інженерно-технічні захисні заходи, що будуються на використанні явища екранування електромагнітних полів безпосередньо в місцях розташування обладнання або на заходах щодо обмеження емісійних параметрів джерела поля. Цей вид випромінювання має високу проникну здатність. Для захисту обладнання, що розташоване в відкритих приміщеннях здійснюється екранування оглядових вікон, вікон приміщень, перегородок застосовується металізованим склом,



що володіє екрануючими властивостями. Така властивість скла додає тонка прозора плівка з оксидів металів, частіше за все олово, або металів - мідь, нікель, срібло і їх поєднання. Плівка володіє достатньою оптичною прозорістю і хімічною стійкістю. Будучи нанесеною на одну сторону поверхні скла вона ослабляє інтенсивність випромінювання в діапазоні 0,8 - 150 см на 30 Дб (у 1000 разів). При нанесенні плівки на обидві поверхні скла ослаблення досягає 40 дб (у 10000 разів). Для захисту обладнання від дії електромагнітних випромінювань в будівельних конструкціях, як захисні екрани можуть застосовуватися металева сітка, металевий лист або будь-яке інше провідне покриття, у тому числі і спеціально розроблені будівельні матеріали. У ряді випадків достатньо використання заземленої металевої сітки, що поміщається під облицювальний або штукатурний шар. Як екрани можуть застосовуватися також різні плівкові і тканинні ізоляції з металізованим покриттям. Останніми роками як екрануючі матеріали широко використовуються металізовані тканини на основі синтетичних волокон. Їх отримують методом хімічної металізації (з розчинів) тканин різної структури і щільності. Існуючі методи отримання дозволяють регулювати кількість металу, що наноситься, в діапазоні від сотих долей до одиниць мкм і змінювати поверхневий питомий опір тканин від десятків до долей Ом.





## ВИСНОВКИ

У роботі вирішене актуальне наукове завдання, яке полягає у визначенні та обґрунтуванні критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробленні методу, що забезпечує автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях. Проведені у роботі дослідження дають змогу зробити такі висновки:

1. Обґрунтовано, що як основний критерій впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць доцільно використовувати не інтенсивність руху автобусів, а мінімальний обсяг пасажиропотоку. Визначено діапазон його значень (від 960– 5434 пас./год) і запропоновано емпіричну формулу для розрахунку цього показника залежно від дорожньо-транспортних умов на перегонах. Доведено, що стан потоку на непріоритетних смугах доцільно визначати рівнем завантаження руху, допустима область якого не перевищує 0,75 завантаження перегону, а основним етапом його розрахунку є прогноз зміни інтенсивності руху на непріоритетних смугах.

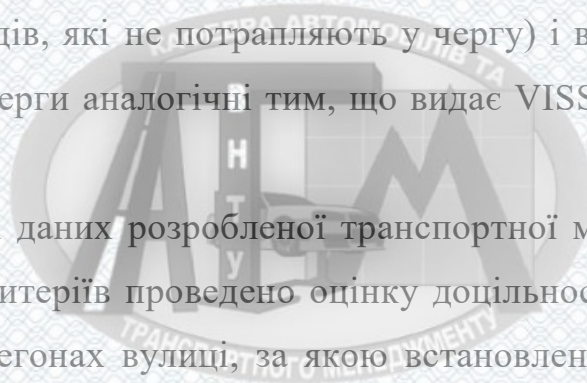
2. Розроблено та формалізовано метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», що дає змогу забезпечити автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях (здебільшого ізольованих), а також встановлено межі області його ефективного застосування. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг і встановлено, що ключовим етапом впровадження є визначення їхньої оптимальної довжини на підході до перехрестя.

3. Розроблено імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя, за значеннями яких визначається оптимальна довжина спеціальної смуги на відповідному підході. Значення черги транспортних засобів за імітаційною моделлю для ізольованих перехресть є аналогічними до тих, що визначаються за німецькими нормами HBS (відхилення не перевищує 7,5%) і близькими до тих, які видає VISSIM, причому найкращі результати досягаються, якщо часові інтервали між ТЗ, що надходять до перехрестя розподіляються за законом Гі-



пер- Ерланга з параметром  $a = 3$ . Імітаційна модель для координованого перехрестя адекватно відтворює на ньому реальний процес (утворення груп ТЗ на живлячому підході, їх деформація на суміжному та виключення з нього ТЗ з другорядних підходів, які не потрапляють у чергу) і визначає значення максимальної довжини черги аналогічні тим, що видає VISSIM (відхилення не перевищує 22%).

4. На основі даних розробленої транспортної моделі міста у VISUM та запропонованих критеріїв проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці, за якою встановлено, що вони дають змогу зменшити тривалість руху автобусів на 23–25%, що, своєю чергою, доводить переваги запропонованих критеріїв та їх придатність для застосування на практиці.





## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Автомобильные перевозки и организация дорожного движения: Справочник. Пер. с англ./ В.У. Рэнкин, П. Клафи, С. Халберт и др. – М.: Транспорт, 1981. – 592 с.
2. Брайловский Н.О. Управление движением транспортных средств / Н. О. Брайловский, Б. И. Грановский. – М.: Транспорт, 1975. – 112 с.
3. Викович И.А. Анализ эффективности метода «специальная полоса в зоне перекрестка» на реальном регулируемом пересечении / И.А. Викович, Р.М. Зубачик // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: науч.-произв. журн. Наука и транспорт. – Гомель, 2014. – № 2 (29). – С. 44–48.
4. Врубель Ю.А. Организация дорожного движения в двух частях / Ю.А. Врубель. – Мн.: Белорусский фонд организации дорожного движения, 1996. – 328 с.
5. Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения / А.А. Гаврилов. – М.: Транспорт, 1980. – 190 с.
6. Гаврилов Е.В. Організація дорожнього руху / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля. – К.: Знання України, 2007. – 452 с.
7. Гаврилов Е.В. Основи теорії систем і управління / Е.В. Гаврилов, М.Ф. Дмитриченко, В.К. Доля, О.Т. Лановий, І.Е. Линник, В.П. Поліщук. – К.: Знання України, 2005. – 344 с.
8. ДБН В.2.3-5-2001. Вулиці та дороги населених пунктів. Споруди транспорту. – К.: Держбуд України, 2001. – 51 с.
9. Дмитриченко М.Ф. Основи теорії транспортних процесів і систем. / М.Ф. Дмитриченко, Л.Ю. Яцківський, С.В. Ширяева, В.З. Докуніхін // Навчальний посібник для ВНЗ. – К.: Видавничий Дім «Слово», 2009. – 336 с.
10. Долль Х. Німецький досвід запровадження системи пріоритетного руху трамваїв і автобусів на регульованих перехрестях за методом «зеленої хвили» / Х. Долль, Г. Лістль // Автошляховик України. Науково-виробничий журнал, 2006. – № 6 (194). – С. 19–22.



11. Доля В.К. Пасажирські перевезення: підручник. / В.К. Доля. – Харків.: Видавництво «Форт», 2011. – 504 с.
12. Иносэ Х. Управление дорожнім движением. Пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
13. Клинковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. / Г.И. Клинковштейн, М.Б. Афанасьев; 5-е изд. – М.: Транспорт, 2001. – 247 с.
14. Коноплянко В.И. Организация и безопасность дорожного движения. – М.: Транспорт, 1991. – 183 с.
15. Красников А.Н. Городские улицы и дороги / А.Н. Красников. – М.: Стройиздат, 1984. – 140 с.
16. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец – М.: Транспорт, 1990. – 255 с.
17. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учеб. для вузов. / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279 с.
18. Крещенецький В.Л. Критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць / В.Л. Крещенецький, А.В. Дмитрієва, В.В. Шкрабалюк // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», – Вінниця: ВНТУ, 2021, Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/schedConf/presentations>
19. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие. / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.
20. Петров В.В. Автоматизированные системы управления дорожнім движением в городах / В.В. Петров: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 104 с.
21. Печерский М.П. Автоматизированные системы управления движением в городах / М.П. Печерский, Б.Г. Хорович. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.
22. Повзун А.И. Об обеспечении приоритетного проезда маршрутного



пассажи́рского транспорта на регули́руемых перекрестках / А.И. Повзун, С.В. Кононыхин, Е.В. Руденков // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. Науковий журнал. – 2012. – №1. – С. 23–28.

23. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления на автомобильных дорогах / В.П. Полищук. – К.: УМК ВО, 1990. – 55 с.

24. Поліщука В.П. Організація та регулювання дорожнього руху: підручник. / В.П. Поліщука, О.О. Бакуліч, О.П. Дзюба, В.І. Єресов та ін. – К.: Знання України, 2012. – 468 с.

25. Полозенко П.М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / П. М. Полозенко. – К., 1999. – 136 с.

26. Пономаренко Л.А. Управління нестационарними транспортними потоками на регульованих перехрестях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Л.А. Пономареко. – К., НТУ, 2006. – 20 с.

27. Пржибыл П. Телематика на транспорте (пер. с чешского) / П. Пржибыл, М. Свитек. – М.: МАДИ, 2003. – 540 с.

28. Пугачев И.Н. Организация и безопасность движения: учеб. пособие. / И. Н. Пугачев. – Хабаровск: Изд-во Хабар. Гос. техн. ун-та, 2004. – 232 с.

29. Рябець Я.В. Комплексна оцінка потенційної небезпеки руху на перехрестях: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 «Транспортні системи» / Я.В. Рябець. – Київ, 2009. – 20 с.

30. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации дорожного движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.

31. Сильянов В.В. Транспортно-эксплуатационные качества автомобильных дорог и городских улиц: учебник для студ. высш. учебн. заведений / В.В. Сильянов, Э.Р. Домке. – М.: ИЦ «Академия», 2008. – 352 с.

32. Указания по организации приоритетного движения транспортных средств общего пользования. – М.: Транспорт, 1984. – 32 с.

33. Четверухін Б.М. Аналіз процесу розпаду груп транспортних засобів,



сформованих світлофорним об'єктом, на перегонах магістралі / Б.М. Четверухін, В.Ф. Душник, П.М. Полозенко // Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник. – 2005. – № 1 – 2. – С. 162–166.

34. Шештокас В.В. Конфликтные ситуации и безопасность движения в городах / В.В. Шештокас, Д.С. Самойлов. – М.: Транспорт, 1987. – 207 с.

35. Шештокас В.В. Город и транспорт / В.В. Шештокас. – М.: Стройиздат. – 1984. – 176 с.

36. Шелков Ю.Д. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие. / Ю.Д. Шелков. – М.: Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.

37. Швецов В.Л. Транспортные модели в системе государственного управления / В.Л. Швецов, А.В. Прохоров, И.В. Ильин // Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2009. – № 5(85). – С. 20–25.

38. Хилажев Е.Б. Системы и средства автоматизированного управления дорожным движением в городах / Е.Б. Хилажев, В.С. Соколовский, В.М. Гурулев, Я.И. Зайденберг. – М.: Транспорт, 1984. – 184 с.

39. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения / Я.В. Хомяк. – К.: Вища школа, 1986. – 270 с.

40. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.

41. Andrews Larry C. Special functions of mathematics for engineers / Larry C. Andrews. – 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 1992. – 454 p.

42. Beispielsammlung zu den Richtlinien für Lichtsignalanlagen / Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen. 2010. – 92.

43. Bus rapid transit. Planning guide. – New York.: 3ed edition, 2007. – 825 p.

44. Davol P. Angus. Modeling of traffic signal control and transit signal priority strategies in a microscopic simulation laboratory / Angus P. Davol. – Massachusetts institute of Technology, 2001. – 118 p.

45. Garrow M. Development and evaluation of transit signal priority



strategies / M. Garrow, R. Machemehl. – Center for Transportation Research The University of Texas at Austin, 1997. – 147 p.

46. Gilbert A. Bus rapid transit: Is Transmilenio a miracle cure? / A. Gilbert // *Transport Reviews*. – 2008. Volume 28, No. 4. – P. 439–467.

47. Hidalgo D.E. TransMilenio BRT system in Bogotá: high-performance and positive impacts; main results of an ex-post evaluation. / D.E. Hidalgo, L. Pereira, N. Estupiñán, P. Jiménez // *Research in Transportation Economics*. – 2013. Vol. 39, No. 1. – P. 133–138.

48. Highway Capacity Manual. – TRB, Washington, DC, 2000. – 1134 p.

49. Kim S. A bus priority signal strategy for regulation headways of buses / S. Kim, M. Park, K. Chon // *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*. – 2005. Volume 6. – P. 435–448.

50. Lester S. East London Transit / S. Lester // *Transportation research*, London, GB, 2001. – P. 40–42.

51. Levinson H. Bus rapid transit, volume 1: Implementation guidelines / H. Levinson, S. Zimmerman, J. Clinger, J. Gast, S. Rutherford, E. Bruhn. – Washington, 2003. – 90 p.

52. Levinson H. Bus Rapid Transit: Synthesis of case studies. / H. Levinson, S. Zimmerman, J. Clinger, J. Gast // *Transportation Research Record* 1841. – 2003. – P. 1–11.

53. Ortuzar D. Modelling Transport / G. Willumsen, D. Ortuzar. – 3rd Edition, London, 2006. – 300 p.

54. Scnabel W. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung / W. Scnabel, D. Lohse. – Band 1: Straßenverkehrstechnik, 2. Auflage, Berlin, Verlag fur Beuwesen GmbH, 1997. – 595 p.

55. Scnabel W. Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und der Verkehrsplanung / W. Scnabel, D. Lohse. – Band 2: Verkehrsplanung, 2. Auflage, Berlin, Verlag fur Beuwesen GmbH, 1997. – 610 p.

56. Schiller C. Integration des ruhenden Verkehrs in die Verkehrsangebots und Verkehrsnachfragemodellierung / C. Schiller. – Schriftenreihe Heft 8, Dresden,

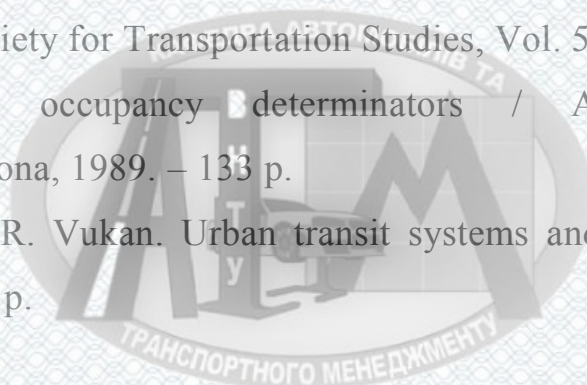


Institut für Verkehrsplanung und Straßenverkehr der TU Dresden, 2004. – 172 p.

57. Seo Y.U. A Study on Setting-Up a Methodology and Criterion of Exclusive Bus Lane in Urban Area / Y.U. Seo, H. Jang, J.H. Park. // Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 5, 2005. – P. 339–341.

58. Vehicle occupancy determinators / Arisona Department of Transportation. Arizona, 1989. – 133 p.

59. Vuchic R. Vukan. Urban transit systems and Technology / Vukan R. Vuchic. 2007. – 150 p.







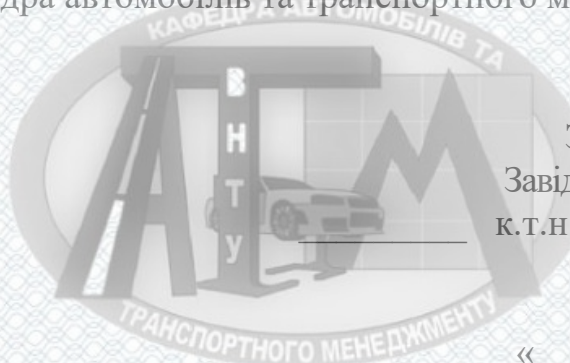
ДОДАТКИ:





## Додаток А

Вінницький національний технічний університет  
 Факультет машинобудування та транспорту  
 Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту



ЗАТВЕРДЖУЮ  
 Завідувач кафедри АТМ  
 к.т.н., доц. С.В. Цимбал

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

### ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

на тему: Вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці  
організацією пріоритетного руху автобусів

08-29.МКР.209.00.000.ТЗ

Науковий керівник: к.т.н., доцент кафедри АТМ  
 наук. ступінь, вчене звання (посада)

Крещенецький В.Л.

(підпис) (прізвище, ініціали)

Студент групи \_\_\_\_\_

1ТТ-20м

назва групи

Шкрабалюк В.В.

(підпис) (прізвище, ініціали)

Вінниця 2021 р.



## 1. Підстава для виконання магістерської кваліфікаційної роботи (МКР)

наказ № 277 по ВНТУ від «24» вересня 2021 р. про затвердження теми МКР.

## 2. Мета і призначення магістерської кваліфікаційної роботи

Магістерська кваліфікаційна роботи призначена для вирішення питань підвищення безпеки руху на автомобільному транспорті.

**Мета роботи:** розробка заходів з вдосконалення маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів методом визначення і обґрунтування критеріїв запровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг та розробка методу, який забезпечить для них на регульованих перехрестях просторово-часовий пріоритет.

**Для виконання МКР необхідно розв'язати такі задачі:**

- проведення аналізу для маршрутних автобусів на ВДМ методів забезпечення пріоритетного руху;
- визначення обґрунтування критеріїв запровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг;
- розробка методу, що забезпечить на регульованих перехрестях просторово-часовий пріоритет, встановлення межі області ефективного його застосування.
- розробка транспортної моделі міста та з її допомогою оцінка доцільності впровадження на перегонах вулиць спеціальних смуг за визначеними критеріями.

## 3. Вихідні дані для написання магістерської кваліфікаційної роботи

Вимоги до конструкції та експлуатації автотранспортних засобів (діючі міжнародні, державні, галузеві стандарти та технічні умови заводів-виробників автомобільної техніки); законодавство України в галузі безпеки руху, охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях; структура автопарку України; район експлуатації автомобілів – Україна; досліджувані моделі АТЗ – автомобілі міста Вінниці; об'єкт дослідження – реальний дорожній рух на перегонах вулиць та регульованих перехрестях ВДМ міста.



#### 4. Виконавець МКР – Шкрабалюк Володимир Васильович, ст. гр. 1ТТ-20м.

#### 5. Вимоги до виконання МКР

В процесі виконання магістерської кваліфікаційної роботи потрібно – формалізувати перелік першочергових конструктивних змін, що підвищують безпеку руху, актуальних для експлуатованих автобусів пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці; розробити структуру конструктивних рішень і алгоритму дії вдосконаленої комплексної системи безпеки автобусів; виконати експериментальне дослідження характеристик комплексної системи безпеки автобува та розробити заходів щодо забезпечення необхідного рівня охорони праці та безпеки у надзвичайних ситуаціях при виконанні наукових досліджень.

#### 6. Етапи МКР і терміни їх виконання

Етапи МКР	Зміст етапу	Термін виконання	Очікувані результати
Вибір напрямку дослідження	<ul style="list-style-type: none"> <li>Добір, вивчення та узагальнення наукової та статистичної інформації</li> <li>Розгляд можливих напрямів досліджень та їх оцінювання</li> <li>Вибір напрямку дослідження</li> <li>Обґрунтування прийнятого напрямку дослідження</li> <li>Розроблення, погодження і затвердження ТЗ на МКР</li> </ul>	27.09-04.10.2021	розгорнутий план МКР
Основна частина роботи	<ul style="list-style-type: none"> <li>Науково-технічне обґрунтування розробки системи підвищення безпеки експлуатації автомобілів на прикладі комунальної установи «Авторемонтна база закладів охорони здоров'я» м. Вінниця.</li> </ul>	05.10-12.10.2021	Розділ 1
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Розробка концепції побудови і структури вдосконаленої системи підвищення безпеки експлуатації автомобілів та її функціональних частин</li> </ul>	13.10-31.10.2021	Розділ 2
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Експериментальне дослідження системи підвищення безпеки експлуатації автомобілів (СПБЕА)</li> </ul>	01.11-07.11.2021	Розділ 3
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Реалізація системи підвищення безпеки експлуатації автомобілів (СПБЕА)</li> </ul>	08.11-15.11.2021	Розділ 4
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях</li> </ul>	08.11-21.11.2021	Розділ 5
	<ul style="list-style-type: none"> <li>Складання висновків за результатами досліджень</li> </ul>	16.11-30.11.2021	Висновки МКР



Узагальнення результатів досліджень, підготовка до захисту роботи	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Узагальнення результатів теоретичних та аналітичних досліджень та написання доповіді на захист МКР</li> <li>• Оформлення ілюстративного матеріалу, реферату, підготовка презентації МКР в редакторі Microsoft Office PowerPoint.</li> <li>• Одержання відзиву наукового керівника та рецензії</li> </ul>	01.12-08.12.2021	Ілюстративний матеріал, презентація
---	---	------------------	-------------------------------------

## 7. Очікувані результати

На основі одержаних наукових результатів отримати практичні рекомендації щодо вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів.

## 8. Матеріали, які подають після завершення написання МКР та її етапів

Переплетена пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи; графічний матеріал; відгук керівника; рецензія зовнішнього рецензента.

## 9. Порядок приймання МКР та її етапів

Результати магістерської кваліфікаційної роботи розглядаються на процентовках керівником роботи та завідувачем кафедри відповідно до етапів роботи та термінів їх виконання; проводиться попередній захист роботи та офіційний захист магістерської кваліфікаційної роботи.

Дата початку роботи – 27 вересня 2021 р.

Граничний термін закінчення робіт – 8 грудня 2021 р.



## ДОДАТОК Б



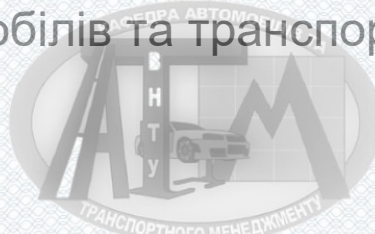
## ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

ВДОСКОНАЛЕННЯ ПАСАЖИРСЬКОЇ МАРШРУТНОЇ МЕРЕЖІ МІСТА  
ВІННИЦІ ОРГАНІЗАЦІЮ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ АВТОБУСІВ





Вінницький національний технічний університет  
Факультет машинобудування і транспорту  
Кафедра автомобілів та транспортного менеджменту



# Вдосконалення пасажирської маршрутної мережі міста Вінниці організацією пріоритетного руху автобусів

Графічна частина  
до магістерської кваліфікаційної роботи  
зі спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)

08-29.МКР.009.00.000.ТЗ

Розробив студент гр. 1ТТ-20м  
Керівник роботи к.т.н., доцент



Шкрабалюк В.В.  
Крещенецький В.Л.



Вінниця – 2021 р



Полягає у вдосконаленні методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста для маршрутних автобусів шляхом визначення та обґрунтування критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробка методу, що забезпечує їм просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях.

**Об'єкт**

дорожній рух на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста.

**Предмет**

вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста.

**ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ**

- Провести аналіз методів забезпечення пріоритетного руху для маршрутних автобусів на вулично-дорожній мережі міста.
- Визначити та обґрунтувати критерії впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць.
- Розробити метод, що забезпечує просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях, встановити межі області його ефективного застосування і дослідити особливості функціонування на реальному перехресті.
- Визначити оптимальну довжину спеціальної смуги на підході до ізолюваного та координованого регульованого перехрестя на основі імітаційної моделі максимальної довжини черги транспортних засобів.
- Розробити транспортну модель міста і з її використанням оцінити доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за визначеними критеріями.



## Наукова новизна

- обґрунтовано, що основний показник як критерій впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць є мінімальний обсяг пасажиропотоку, для визначення якого запропоновано емпіричну формулу, що враховує особливості дорожньо-транспортних умов на перегонах;
- розроблено метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», впровадження якого дає змогу зменшити затримки автобусів на регульованих перехрестях, особливо, якщо підходи до них мають не більше двох смуг руху в одному напрямку;
- отримав подальший розвиток підхід щодо створення імітаційної моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізолюваного регульованого перехрестя, яка відрізняється від існуючих використанням закону Гіпер-Ерланга для розподілу часових інтервалів між ТЗ, які надходять до перехрестя, що дає змогу підвищити адекватність результатів моделі;
- отримано аналітичний опис процесу формування черги на суміжному у напрямку координації регульованому перехресті та запропоновано алгоритм для розрахунку максимальних їх значень за допомогою імітаційного моделювання.

## Практична значення одержаних результатів

Розроблено методику щодо застосування спеціальних смуг на перегонах вулиць, яка включає запропоновані критерії впровадження, з використанням яких можна об'єктивно оцінити доцільність їх функціонування. Розроблено імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізолюваного і координованого перехрестя, які можуть використовуватися як для визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до перехрестя, так і для аналізу роботи регульованих перехресть за показником максимальної довжини черги.



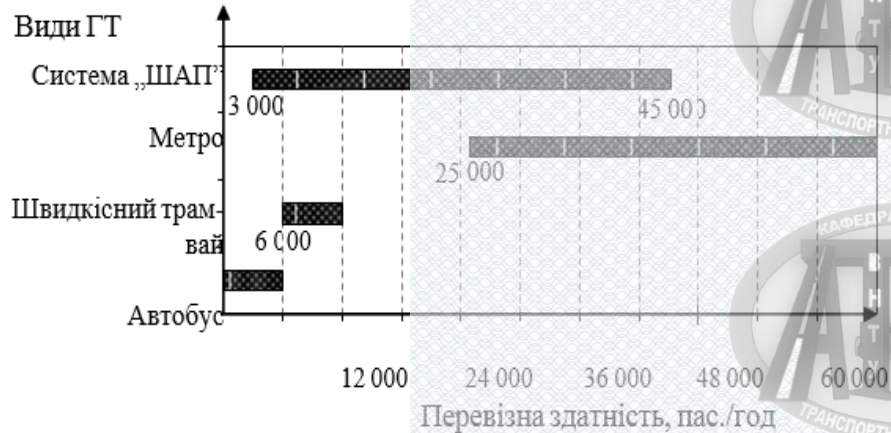
# КЛАСИФІКАЦІЯ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРІОРИТЕТУ АВТОБУСАМ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ





## СИСТЕМА «ШВИДКІ АВТОБУСНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ»

## Перевізна здатність різних видів ГТ



## Функціонування системи ШАП та її показники у містах різних країн світу

## Порівняння видів ГТ за вартістю і тривалістю впровадження



Континент	Країна	Місто	Експлуатаційна швидкість, км/год	Перевізна здатність, пас./год
Європа	Великобританія	Единбург	17,0	14000
	Нідерланди	Амстердам	21,0	8500
	Німеччина	Ессен	23,0	18000
Азія	Індонезія	Джакарта	17,0	3200
	Канада	Оттава	22,0	20000
Північна Америка	США	Пітсбург	19,0	8000
	Мексика	Мехіко	19,0	8000
		Леон	18,0	3000
Південна Америка і Карибський регіон	Бразилія	Сан-Паулу	18,0	20000
		Курітіба	19,0	13000
	Колумбія	Перейра	20,0	6900
Чилі	Богота	Богота	26,0	45000
		Сантьяго	18,0	22000
	Чилі	Сантьяго	18,0	22000
Еквадор	Кіто	Кіто	14,5	9000
		Гуаякіль	22,0	5000



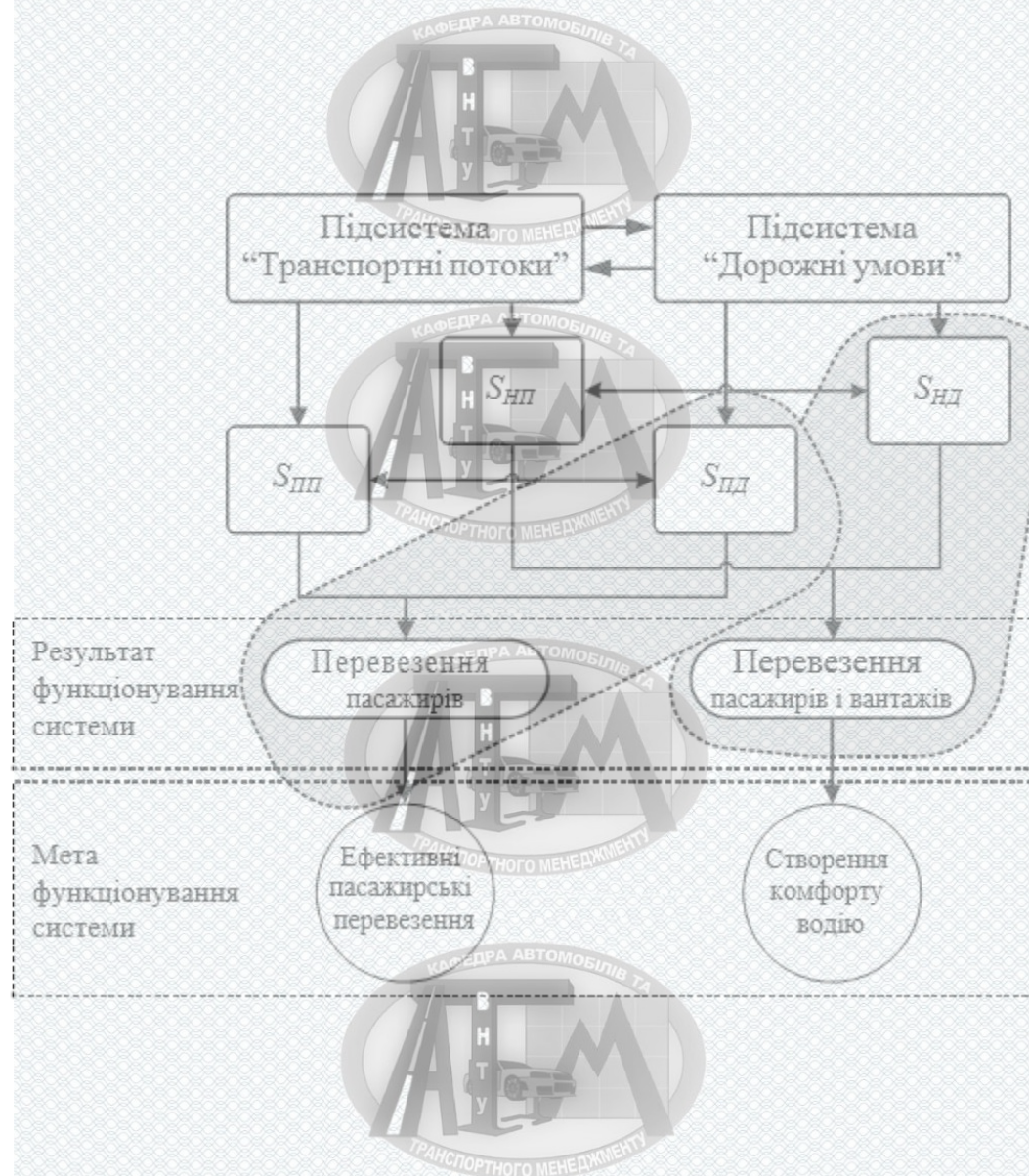
# КРИТЕРІЇ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ НА ПЕРЕГОНАХ ВУЛИЦЬ

Тип розташування спеціальної смуги	Мінімальна інтенсивність автобусів, од./год	Мінімальний пасажиропотік, пас./год	Кількість смуг в одному напрямку
Крайня права смуга у попутному напрямку	60	1800	3
	100	3000	3-4
	150	4500	3-4
Крайня ліва смуга у попутному напрямку	150	4500	3-4
Крайня смуга у протилежному напрямку	100	3000	3
	150	4500	4



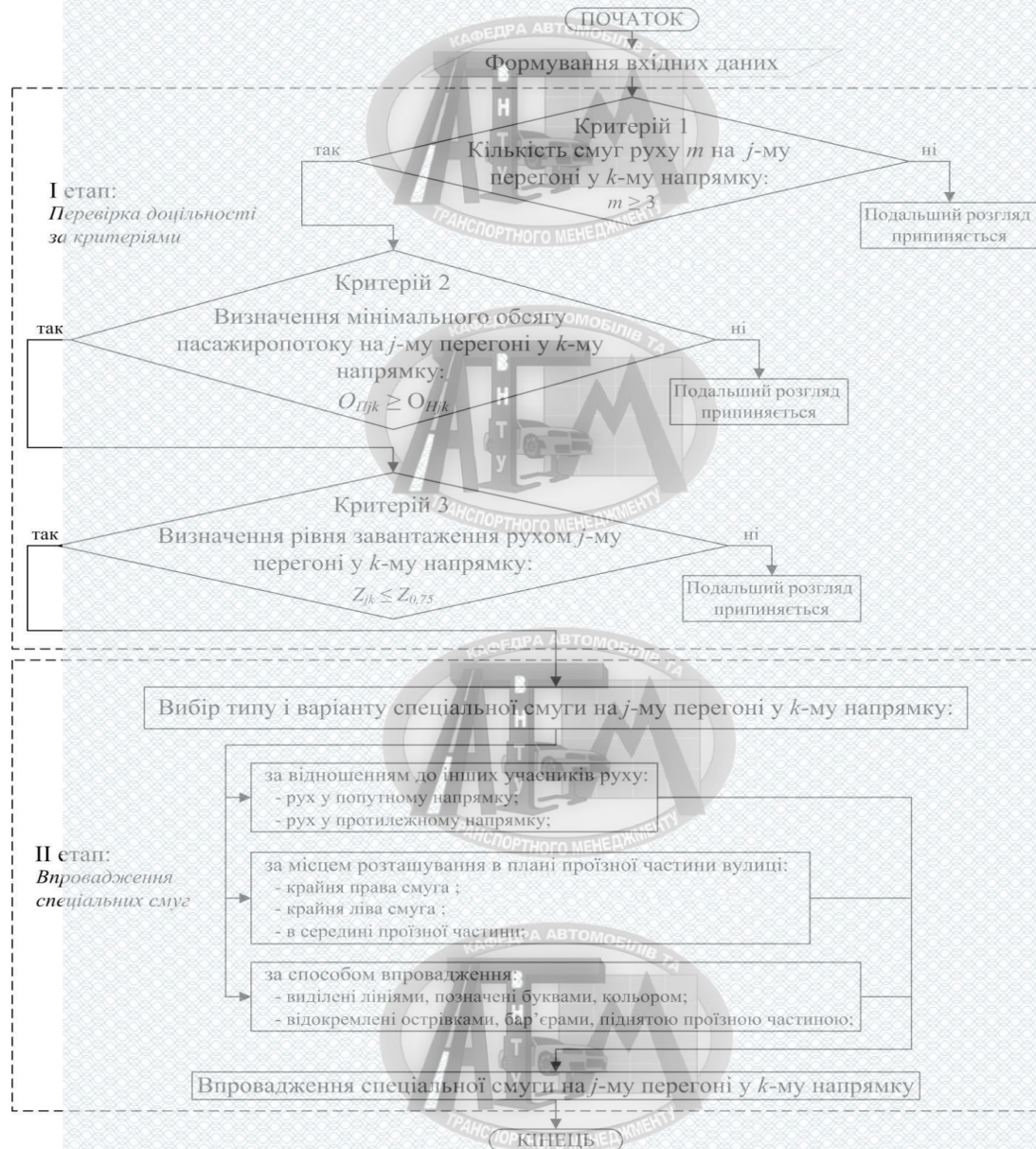


# ТРАНСФОРМАЦІЯ СИСТЕМИ «ДУ – ТП» ПІСЛЯ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ



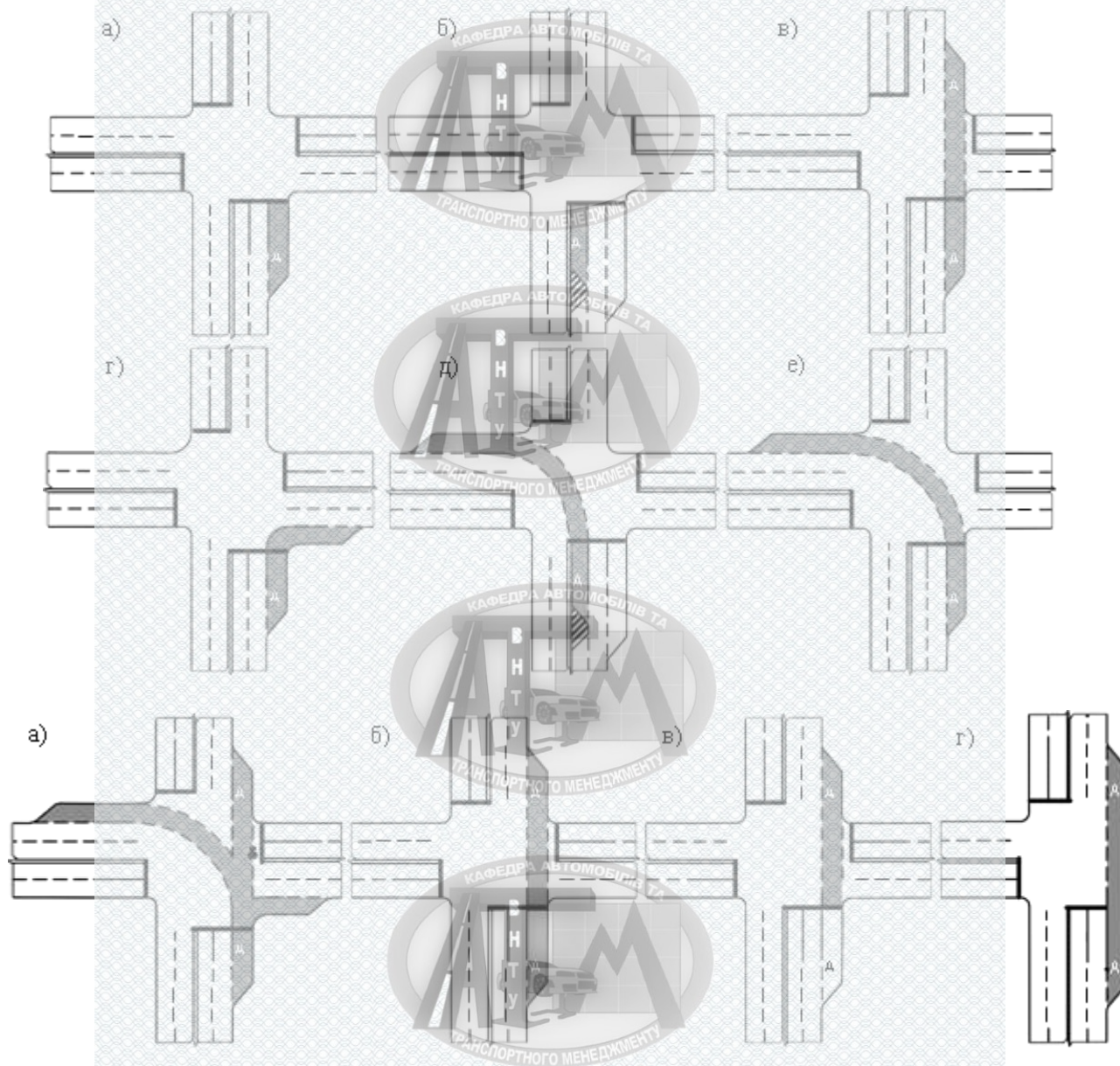


# АЛГОРИТМ ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ НА ПЕРЕГОНАХ ВУЛИЦЬ



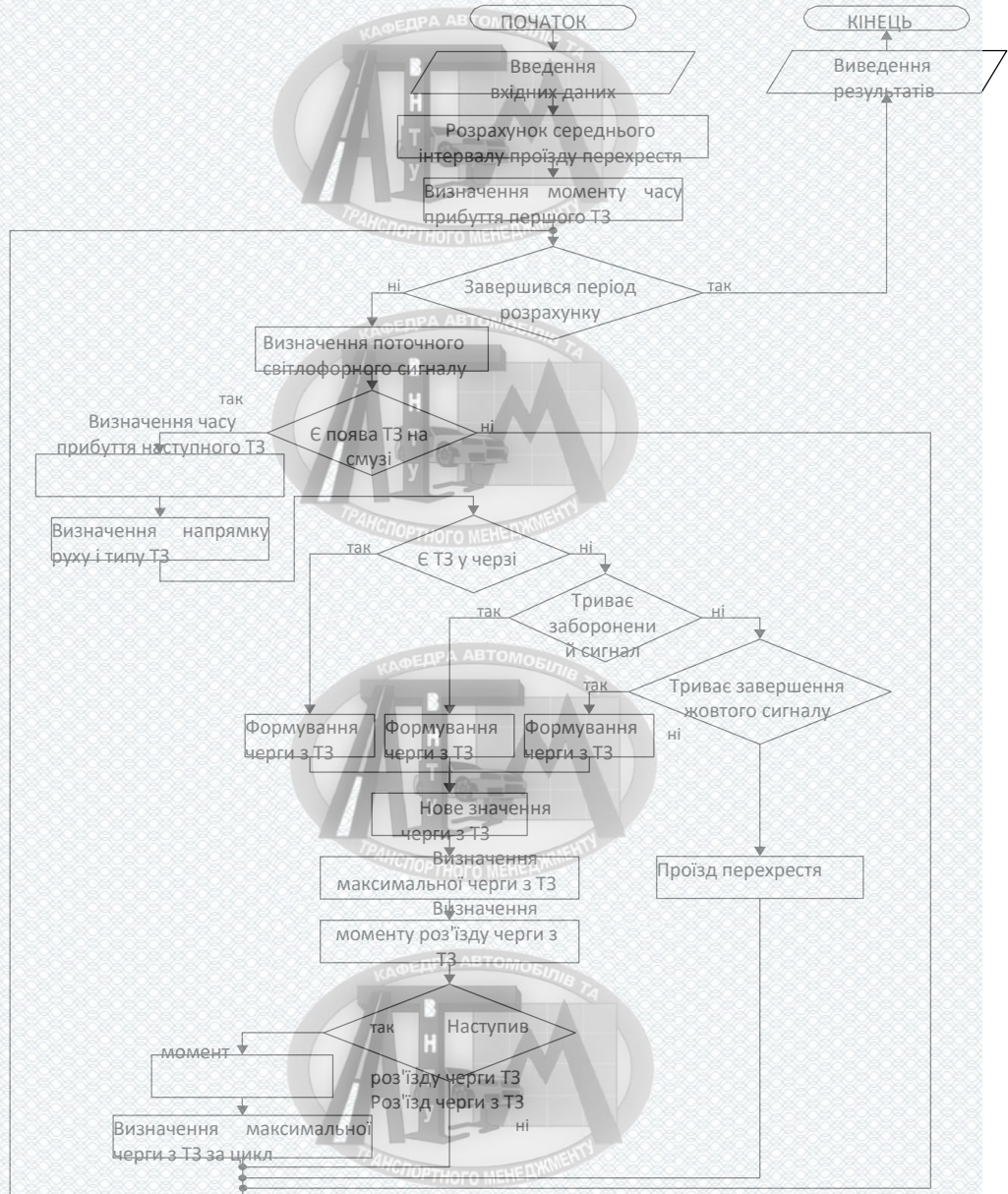


## ТИПИ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ У ЗОНІ ПЕРЕХРЕСТЯ



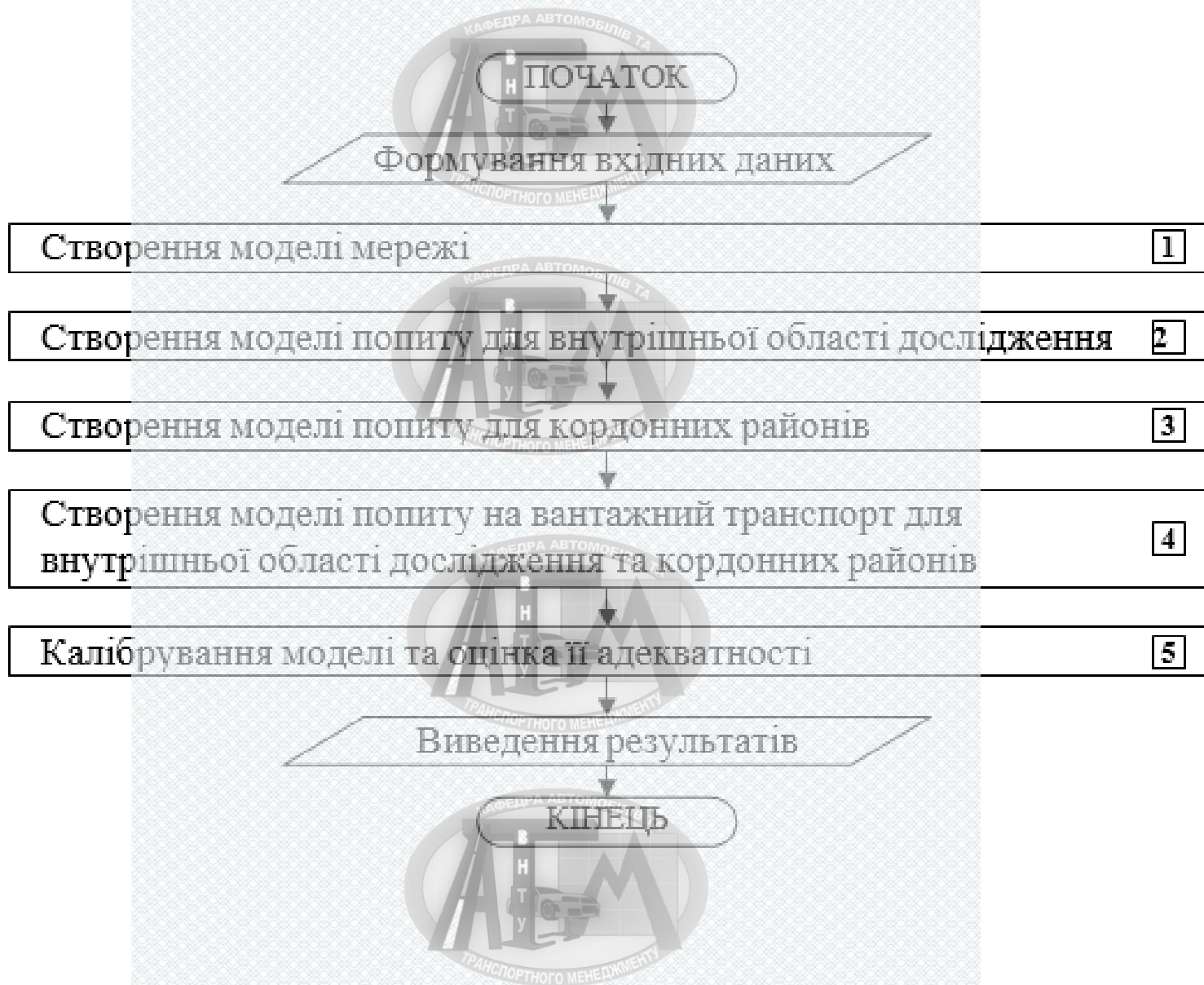


# БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ ОДНОГО ПІДХОДУ ДО ІЗОЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ



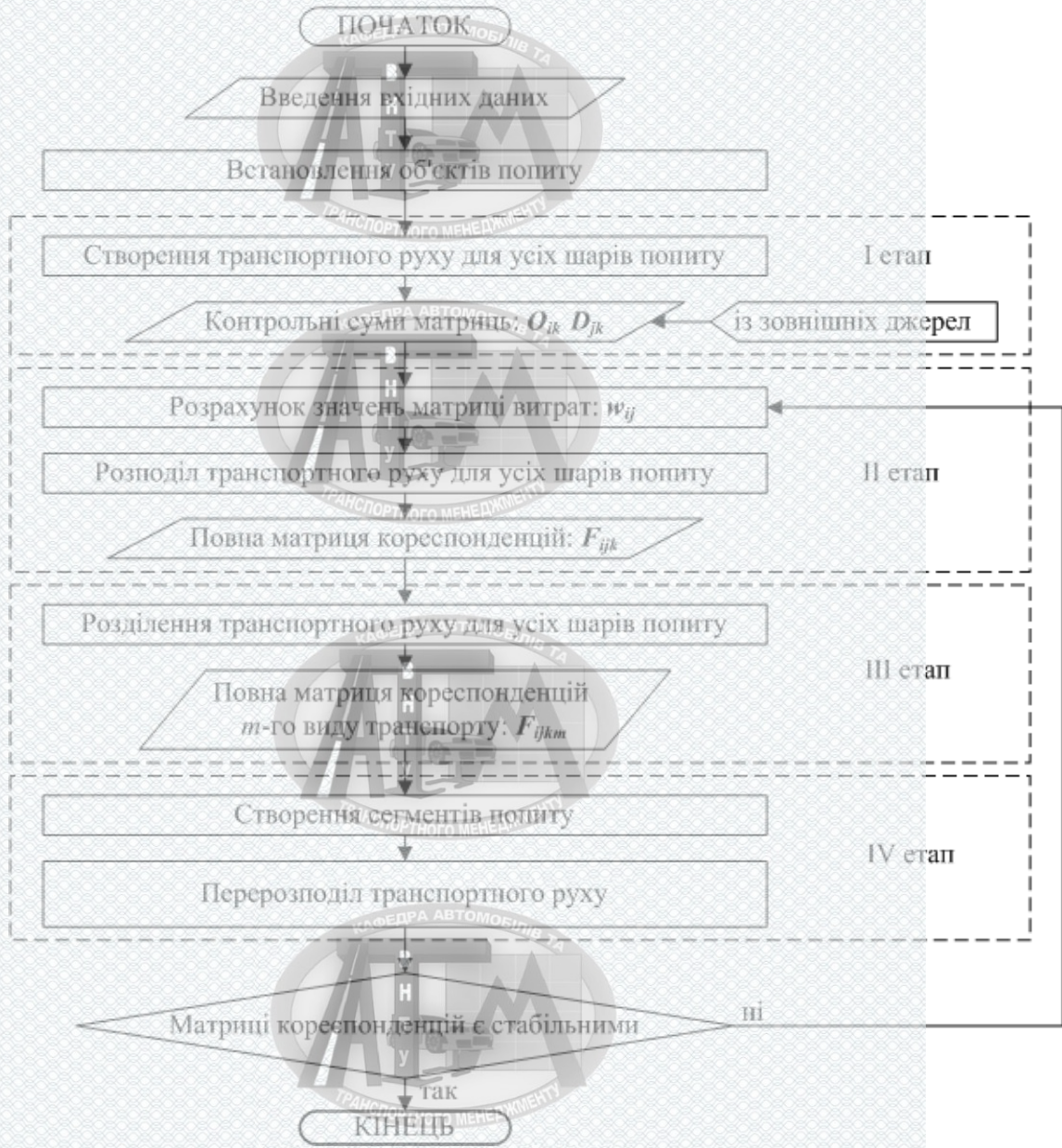


## ПОСЛІДОВНІСТЬ СТВОРЕННЯ ТРАНСПОРТНОЇ МОДЕЛІ МІСТА





# БЛОК-СХЕМА АЛГОРИТМУ МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ НА ТРАНСПОРТ

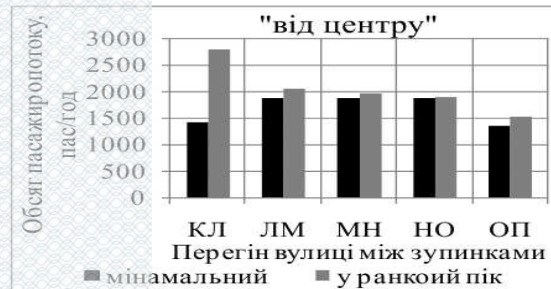
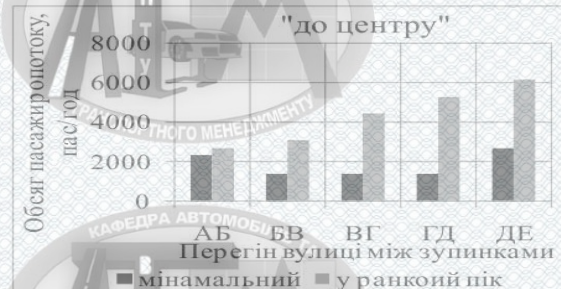




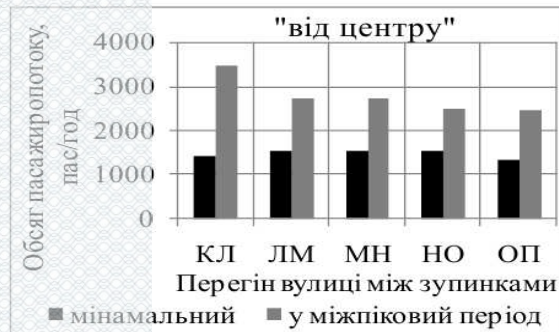
# ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ НА ПЕРЕГОНАХ ВУЛИЦЬ У РЕАЛЬНИХ УМОВАХ

## Доцільність впровадження спеціальних смуг у ранковий пік

Напрямок руху	Назва зупинного пункту	Скорочена назва	Назва перегону між зупинками
до центру	Площа Вокзальна	А	-
	вул. Папаніна	Б	АБ
	Центральний ринок	В	БВ
	Площа офіцерів	Г	ВГ
	<u>Петроцентр</u>	Д	ГД
від центру	Автовокзал	К	-
	<u>Петроцентр</u>	Л	КЛ
	Площа офіцерів	М	ЛМ
	Центральний ринок	Н	МН
	вул. Папаніна	О	НО
	Площа Вокзальна	П	ОП



## у непіковий період



## у вечірній пік





У роботі вирішене актуальне наукове завдання, яке полягає у визначенні та обґрунтуванні критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць і розробленні методу, що забезпечує автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях. Проведені у роботі дослідження дають змогу зробити такі висновки:

- Обґрунтовано, що як основний критерій впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць доцільно використовувати не інтенсивність руху автобусів, а мінімальний обсяг пасажиропотоку. Визначено діапазон його значень (від 960– 5434 пас./год) і запропоновано емпіричну формулу для розрахунку цього показника залежно від дорожньо-транспортних умов на перегонах. Доведено, що стан потоку на непріоритетних смугах доцільно визначати рівнем завантаження руху, допустима область якого не перевищує 0,75 завантаження перегону, а основним етапом його розрахунку є прогноз зміни інтенсивності руху на непріоритетних смугах.
- Розроблено та формалізовано метод «спеціальна смуга у зоні перехрестя», що дає змогу забезпечити автобусам просторово-часовий пріоритет на регульованих перехрестях (здебільшого ізольованих), а також встановлено межі області його ефективного застосування. Запропоновано шість основних типів таких спеціальних смуг і встановлено, що ключовим етапом впровадження є визначення їхньої оптимальної довжини на підході до перехрестя.
- Розроблено імітаційні моделі для визначення максимальної довжини черги ТЗ на підході до ізольованого та координованого регульованого перехрестя, за значеннями яких визначається оптимальна довжина спеціальної смуги на відповідному підході. Значення черги транспортних засобів за імітаційною моделлю для ізольованих перехресть є аналогічними до тих, що визначаються за німецькими нормами HBS (відхилення не перевищує 7,5%) і близькими до тих, які видає VISSIM, причому найкращі результати досягаються, якщо часові інтервали між ТЗ, що надходять до перехрестя розподіляються за законом Гіпер- Ерланга з параметром  $a = 3$ . Імітаційна модель для координованого перехрестя адекватно відтворює на ньому реальний процес (утворення груп ТЗ на живлячому підході, їх деформація на суміжному та виключення з нього ТЗ з другорядних підходів, які не потрапляють у чергу) і визначає значення максимальної довжини черги аналогічні тим, що видає VISSIM (відхилення не перевищує 22%).
- На основі даних розробленої транспортної моделі міста у VISUM та запропонованих критеріїв проведено оцінку доцільності впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиці, за якою встановлено, що вони дають змогу зменшити тривалість руху автобусів на 23–25%, що, своєю чергою, доводить переваги запропонованих критеріїв та їх придатність для застосування на практиці.





Дякую за увагу!

