

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

Пояснювальна записка
до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему «Вдосконалення виробничої системи міських пасажирських перевезень міста Вінниці шляхом організації пріоритетного руху міських автобусів»

Виконав: студент 2 курсу,
групи 1ТТ-19м спеціальності 275 – Транспортні технології (за видами)
за спеціалізацією 275.03 – Транспортні технології (на автомобільному транспорті)
Каськун М.О.

Керівник: к.т.н., доцент кафедри АТМ
Цимбал С.В. _____

Рецензент: д.т.н., професор кафедри ГМ
Савуляк В.І. _____

Вінниця – 2020 року

ЗМІСТ

	Стор.
РЕФЕРАТ.....	3
ABSTRACT.....	4
ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ МЕТОДІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРІОРИТЕТНОГО РУХУ НА ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА ТА ШЛЯХИ ВДО- СКОНАЛЕННЯ НА НІЙ РОБОТИ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ	10
1.1 Визначення функцій спеціальних смуг та їх видів	10
1.2 Визначення існуючих методів забезпечення пріоритету на регу- льованих перехрестях	16
1.3 Особливості впровадження системи швидких автобусних переве- зень на вулично-дорожній мережі міста.....	26
Висновки до розділу	29
РОЗДІЛ 2 ВИЗНАЧЕННЯ ТА ОБҐРУНТУВАННЯ 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 пасажиро- потоків для впровадження спеціальних смуг	35
2.3 Визначення стану транспортних потоків на непріоритетних сму- гах	39
Висновки до розділу	42
РОЗДІЛ 3 РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОСТО- РОВО-ЧАСОВОГО ПРІОРИТЕТУ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕС- ТЯХ	43
3.1 Обґрунтування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя» та визначення його типів	43

3.2	Визначення геометричних параметрів спеціальної смуги, яка впроваджується у зоні перехрестя.....	48
3.3	Визначення межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя».....	59
	Висновки до розділу.....	70
РОЗДІЛ 4 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВПРОВАДЖЕННЯ СПЕЦІАЛЬНИХ СМУГ ДЛЯ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ ТА ЇХ ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ		
	4.1 Розробка транспортної моделі міста.....	71
	4.2 Дослідження ефективності запропонованих критеріїв впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць у реальних умовах.....	81
	Висновки до розділу	89
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....		
	5.1 Аналіз умов праці.....	90
	5.2 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи.....	91
	5.3 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії.....	98
	ВИСНОВКИ.....	102
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	104
	ДОДАТКИ.....	110

РЕФЕРАТ

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

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.

ABSTRACT

The subject of the master's qualification work is to improve methods of traffic priority for buses at the races streets and intersections controlled road network of the city.

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.

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, що склалася за останні роки, можна стверджувати, що збільшення кількості транспортних засобів (ТЗ) в Україні буде продовжуватись, не зважаючи на зменшення чисельності населення. Для ефективного функціонування індивідуальних ТЗ у містах необхідно, щоб між їх кількістю та вулично-дорожньою мережею (ВДМ) не існувало диспропорції. ВДМ міст зазвичай відстають від розвитку рухомого складу, в результаті чого функціонують у перевантаженому стані, про що свідчать 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 реконструкції цих мереж, або раціональним її використанням, що реалізується за допомогою автоматизованих систем керування дорожнім рухом (АСКДР) та інших технічних засобів організації дорожнього руху (ОДР). Однак не завжди у міських умовах можна ефективно реалізувати ці підходи. Перший через функціональні характеристики вуличної мережі, значні капіталовкладення та затрати часу, другий – не завжди дає потрібні результати, оскільки не змінює проблему кардинально, а лише її оптимізує.

Тому останнім часом, зокрема у країнах східної Європи, значного поширення набув третій підхід, який полягає в ефективній організації громадського

пасажирського транспорту, що в підсумку дозволяє скоротити обсяги користування індивідуальними автомобілями, які складають домінуючу частку в існуючих транспортних потоках і цим самим знизити завантаження вуличних 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 перевантажень 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 у містах України, серед усіх видів міського громадського транспорту, існує гостра необхідність у розвитку саме міських маршрутних автобусів, оскільки вони є основними та найпоширенішими видами маршрутного пасажирського транспорту міського населення.

Для підвищення якості перевезення і транспортного обслуговування пасажирів цим видом транспорту на ВДМ, потрібно покращувати його конкурентоздатність шляхом надання переваги у русі по відношенню до інших учасників руху. Така перевага реалізується за допомогою застосування методів забезпечення пріоритетного руху, до яких насамперед відносяться впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць та забезпечення пріоритету на перехрестях. Впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць ВДМ залежить від багатьох чинників, однак умови їх впровадження, сьогодні, визначаються загальними і недостатньо точними рекомендаціями, тоді як щодо самої доцільності впровадження спеціальних смуг фактично відсутні адекватні і чіткі критерії.

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

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. Тому для поширення їхнього застосування є потреба у їх вивченні, дослідженні та вдосконаленні.

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

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Роботу виконано відповідно до Транспортної стратегії України на період до 2030 року.

Мета та завдання дослідження. Метою дисертаційної роботи є вдосконалення методів забезпечення пріоритетного руху на вулично-дорожній мережі міста Вінниці 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.

Для досягнення мети у роботі визначені такі основні завдання дослідження:

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

Об'єктом дослідження є дорожній рух на перегонах вулиць і регульованих перехрестях вулично-дорожньої мережі міста Вінниці.

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

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

Наукова новизна отриманих результатів:

- 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», впрова-

дження 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 ізольованого 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;

- вперше 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.

Практичне значення отриманих 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 ізольованого і координованого перехрестя, які можуть використовуватися як для визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до перехрестя, так і для аналізу роботи регульованих перехрестів за показником максимальної довжини черги.

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, 2020 [2] 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 ТА ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ НА НІЙ РОБОТИ МАРШРУТНИХ АВТОБУСІВ

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 вітчизняних та зарубіжних учених: Врубеля Ю.А., Гаврилова А.А., Гаврилова Е.В., Дзюби О.П., Дрю Д., Єрсова В.І., Іносе Х., Клінковштейна Г.І., Кременця Ю.А., Левашева А.Г., Лобанова Є.М., Лобашова О.О., Печерського М.П., Поліщука В.П., Пржибила П., Світека М., Сільянова В.В., Хамади Т., Хомяка Я.В., Четверухіна Б.М., Шелкова Ю.Д., Шештокаса В.В., Scnabel W. та ін.

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 пропускної 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 велосипедний 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 відносно руху ТЗ 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 функціо-

нувати 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, оскільки саме на них виникають найбільші їх затримки [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, що існує між ними, складно об'єднати у чітку і незаперечну 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), яка охоплює два типи регульованих перехрестів з позиції керування на них: ізольовані перехрестя, і такі, що об'єднані системою координованого керування (координовані перехрестя). Для ізольованих перехрестів усі методи поділено на три групи, зокрема ті, що забезпечують пріоритет у просторі, пріоритет у часі і просторово-часовий пріоритет. На дві групи (часовий і просторово-часовий пріоритет) поділено методи, які забезпечують пріоритет на координованих перехрестях.

Такий поділ на групи певним чином є умовним, оскільки реалізація методів, які забезпечують пріоритет у просторі, не може не відобразитися на зміні параметрів керування світлофорної сигналізації перехрестя, що є його часовим аспектом функціонування. Наприклад, обмеження поворотів на перехресті для непріоритетних потоків одночасно дозволяє або зменшити тривалість циклу, або збільшити тривалість дозволеного сигналу у напрямку руху МА, 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.

1) *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



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

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 зменшити тривалості циклу, або збільшити тривалість дозволеного сигналу у напрямку руху МА.

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 приводять до збільшення пропускної 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 абсолют-

ного 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, автобусам 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 труд-

нощі 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 не повинен бути меншим за 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 світлофорної сигналізації 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 застосо-

вують 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 визначеному 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 пропускну здатності як перетину, так і вулиці загалом.

2) *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 часті 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 пріоритетних і непріоритетних потоків. Просторово- часові методи можуть забезпечувати пріоритетні умови руху і 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.

З іншого боку, буде помилковим один із методів, у якому одночасно найменше недоліків або найбільше переваг, приймати за оптимальний для усіх перехресть, оскільки на кожному з них є різні дорожньо-транспортні умови, що вимагають для цього 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 не більше двох смуг руху в одному напрямку.

Тому для таких умов є потреба розробити метод, який забезпечуватиме просторово-часовий пріоритет на перехрестях, що є особливо актуальним для вуличної мережі міста зі щільною забудовою.

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

Одним із прогресивних шляхів підвищення якості пасажирських перевезень автобусами і 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 стосується швидкості автобуса, а характеризує швидкість транспортного обслуговування. Одночасне використання багатьох матеріальних об'єктів у транспортному обслуговуванні за таких перевезень дало підставу називати швидкі автобусні перевезення системою. Система «швидкі автобусні перевезення» (ШАП) інтегрує такі елементи як спеціальні смуги, технічні засоби, що забезпечують пріоритет на перехрестях, рухомий склад (автобуси великої та особливо великої місткості) і зупинні пункти.

Термін «ШАП» появився в результаті застосування системи автобусних перевезень у Північній Америці та Європі. Однак такі ж системи існують у різних країнах світу під іншими назвами, а саме: автобусні системи високої перевізної здатності, високоякісні автобусні системи, метро-бус, наземне метро, система експрес автобуса та система автобусних шляхів тощо [42]. Хоча назва змінюється залежно від країни, проте основні ознаки спостерігаються в усіх випадках.

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

Зупинні пункти, швидкість автобусів та їх перевізна здатність – є основними складовими, що відрізняють систему ШАП від традиційних автобусних перевезень. Ця система має набагато більше спільного з рейковим пасажирським транспортом, особливо в обслуговуванні пасажирів. До системи ШАП узяті найкращі елементи з метро і рейкового транспорту (швидкісний трамвай). Насамперед це стосується зупинних пунктів, які здебільшого створюються у закритому приміщенні «за типом метро», на яких висадка і посадка пасажирів здійснюється з платформи, а оплата за проїзд відбувається перед посадкою в автобус.

Фактично система ШАП така ж зручна і ефективна, як швидкісний трамвай, однак для її реалізації та експлуатації потрібно значно менше витрат. Впровадження такої системи зазвичай коштує від 4 до 20 разів дешевше ніж швидкісний трамвай і від 10 до 100 раз – за метро [42], хоча за перевізною здатністю близька до них (рис.1.2).

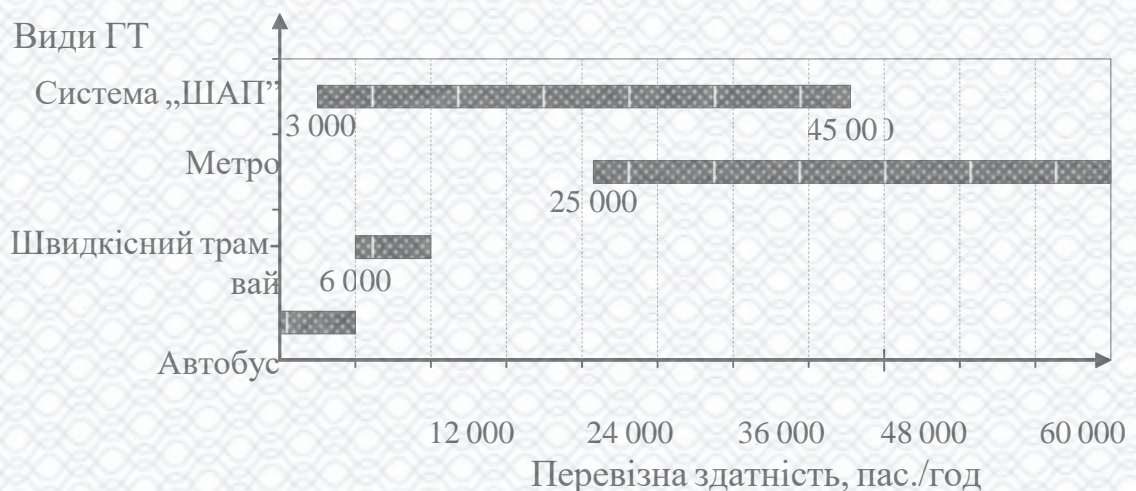


Рисунок 1.2 – Перевізна здатність різних видів ГТ

Крім цього її можна впровадити за досить короткий строк (1–3 роки після розробки проекту). Порівняння різних видів ГТ з точки зору вартості і тривалості їх впровадження наведено на рис. 1.3 [59].

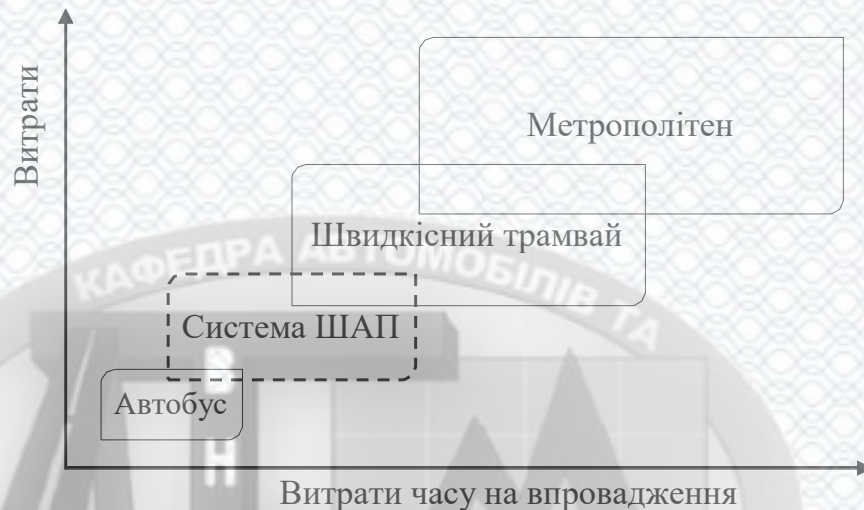


Рисунок 1.3 – Порівняння видів ГТ за вартістю і тривалістю впровадження

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

Одним із найкращих на сьогодні 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. У перевезенні задіяні 841 автобус особливо великої місткості з низькою посадкою, які обслуговують 1,5 млн. пас./добу, де максимальна перевізна здатність в одному напрямку, становить 45 тис. пас./год. Перелік міст світу, у яких функціонують системи ШАП та їх основні характеристики наведено у табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Функціонування системи ШАП та її показники у містах різних країн світу

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
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 зазначалося, є виділені або відокремлені спеціальні смуги для автобусів вздовж маршрутів їх руху. Враховуючи це можна зробити висновок, що наявні спеціальні автобусні смуги на ВДМ є основою для створення системи ШАП та її розвитку.

Висновки до розділу

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. Встановлено, що функції спеціальних смуг мають широке використання і впроваджуються для наземного ГТ (автобусів, тролейбусів, трамваїв), спеца-

втомобілів, 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 яких мають не більше двох смуг руху в одному напрямку відносяться до умов, в яких складно реалізувати просторово-часові методи.

4. Встановлено, що комплексне застосування різних методів забезпечення пріоритетного руху на усій довжині автобусного маршруту реалізується при впровадженні системи «швидких автобусних перевезень» (ШАП), яка відрізняється від традиційних 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 вкрай рідко. Також він не завжди можливий через складні транспортно-планувальні характеристики ВДМ існуючих міст.

Перший підхід використовується значно частіше, однак умови його впровадження сьогодні 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 результати натурних експериментів, до яких входить підрахунок кількості перевезених пасажирів автобусами за одиницю часу до і після ведення пріоритетних умов.

Ефективність цього критерію є виправданою у разі застосування для усього маршруту або для певної його частини. Тому він є непридатним при використанні до однорідних ділянок маршруту (перегонів вулиць). Крім того, неефективність цього рішення проявляється через великі затрати на проведення натурних досліджень та неготовність водіїв до швидкої адаптації у змінах організації руху за подібних експериментів.

У [42] зазначається, що визначальним чинником при впровадженні спеціа-

льних смуг на перегонах вулиць є мінімальна величина пасажиропотоку, яка становить 2000 пас./год. Однак у цих рекомендаціях немає аналітичного обґрунтування щодо оптимальності цього значення, а також цей критерій 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 протилежному 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 перегоні вулиці є 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 перевізних здатностей відповідно до рекомендованої мінімальної інтенсивності 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)	89	3560
Особливо великий	ЛАЗ – А183D1 – (12 м)	100	4000
	ЛАЗ – А191F0 – (13 м)	110	4400
	Богдан – А-231 (Е-2)	160	6400
	ЛАЗ – А292 D1 (18,8 м)	182	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 значен-

ня 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 I, 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 II – визначає саму доцільність введення спеціальних смуг, а критерій III – 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 умов 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 розглядати умови, в яких спеціальні смуги вже функціонують, а здійснювати їх оцінку слід через призму 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 описати поняттям «обслуговування». Зважаючи на те, що підсистема «ДУ»

визначає поведінку і режим руху транспортних потоків, то опис взаємодії її з продукцією системи (перевезенням) доцільно виконувати теж як «обслуговування». Тоді можемо зробити припущення, що дорожні умови (дороги, вулиці, окремі ділянки вулиць чи доріг) – здійснюють *обслуговування* пасажирів, відповідно кожна смуга на проїзній частині вулиці чи дороги *обслуговує* певну кількість пасажирів. Підтвердженням про правильність цієї гіпотези є застосування показника «Перевізна здатність дороги» (пас./год, або т/год), який широко використовують для визначення транспортно-експлуатаційного стану вулиці чи дороги [30].

Після впровадження спеціальних смуг, у системі «ДУ – ТП» проявиться деяка варіативна властивість, тобто у ній відбудеться ряд змін, зокрема у її структурі, що в кінцевому результаті перетворить у іншу систему [7, 9]. Так у підсистемі «ДУ» можна виділити знову дві підсистеми з пріоритетними і непріоритетними дорожніми умовами, тобто пріоритетні ($m_{П}$) і непріоритетні ($m_{Н}$) смуги руху. Аналогічні зміни відбудуться у підсистемі «ТП», де з'являються пріоритетні ($M_{П}$) та непріоритетні ($M_{Н}$) потоки. Такі перетворення у системі «ДУ – ТП» зумовлені обмеженнями, які несуть собою впровадження спеціальних смуг у вуличне середовище (потік $M_{П}$ не може використовувати для руху непріоритетні дорожні умови, і навпаки, потік $M_{Н}$ не може використовувати спеціальну смугу, за виключенням окремих випадків) та зміною мети функціонування системи (забезпечення комфорту водію [12] та ефективних пасажирських перевезень).

Трансформацію стану системи «ДУ – ТП» після впровадження спеціальних смуг можна зобразити у такий спосіб (рис. 2.1.).

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

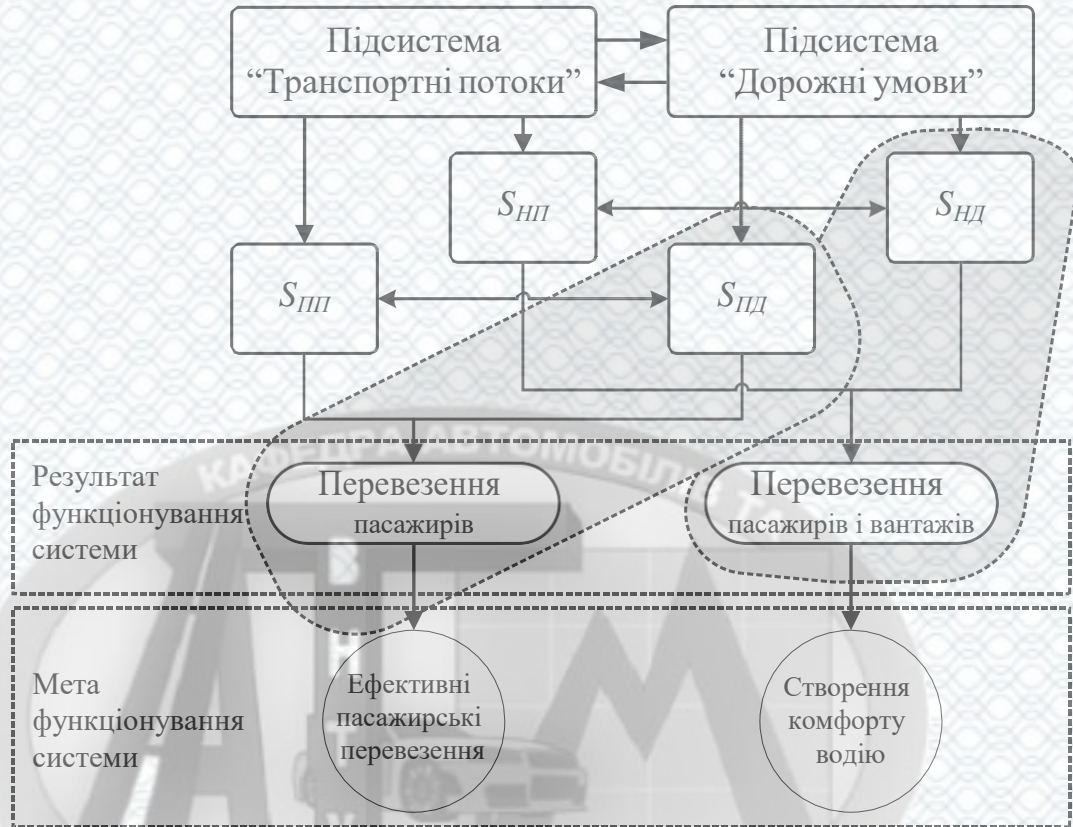


Рисунок 2.1 – Трансформація системи «ДУ – ТП» після впровадження спеціальних смуг: $S_{ТП}$, $S_{НП}$, $S_{ДД}$, $S_{НД}$ – відповідно підсистеми пріоритетних і не-пріоритетних ТП та пріоритетних і не-пріоритетних дорожніх умов.

$$S_{ДД} \geq S_{НД}, \quad (2.1)$$

де $S_{ДД}$, $S_{НД}$ – відповідно підсистеми пріоритетних і не-пріоритетних дорожніх умов.

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

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

- для перегонів вулиць безперервного руху – від 1254 до 5700 пас./год;
- для перегонів вулиць регульованого руху – від 912 до 5928 пас./год.

Такий діапазон значень пояснюється наявністю на перегонах вулиць рі-

зноманітних дорожньо-транспортних умов, які виражаються у даному випадку через пропускну здатність смуги руху та коефіцієнт заповнення.

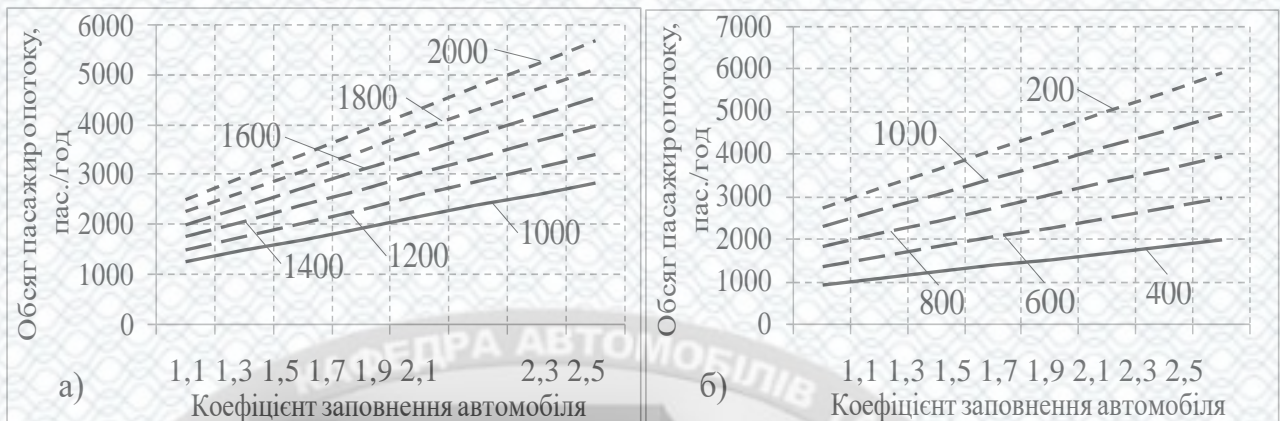


Рисунок 2.2 – Діапазон значень мінімального обсягу пасажиропотоку для перегонів вулиць безперервного (а) та регульованого (б) руху

Широкий спектр значень пропускну здатності смуги руху пояснюється її випадковим характером, ступінь якої залежить від багатьох чинників (швидкості руху, складу транспортного потоку, дорожніх умов і т.д.). Тому 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 ($Y = 1,80$).

Підсумовуючи важливо зазначити, що за допомогою запропонованої емпіричної формули є можливість встановлювати доцільність впровадження 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_H після впровадження спеціальних смуг визначається нижніми та верхніми обмеженнями на інтенсивність неперіоритетного потоку M_H і характеризується нерівністю:

$$400 \leq M_H < 800, \quad (2.1)$$

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

Нижнє обмеження на M_H пояснюють тим, що при $M_H < 400$ 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 обмеження 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. 2.4.



Рисунок 2.4 – Оцінка стану ТП на неперіоритетних смугах

Оцінка потенційних дорожньо-транспортних умов на доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за трьома критеріями, а також процес підбору типів і варіантів спеціальних смуг за різними характеристиками можна сформулювати у вигляді такого алгоритму (рис. 2.5.).

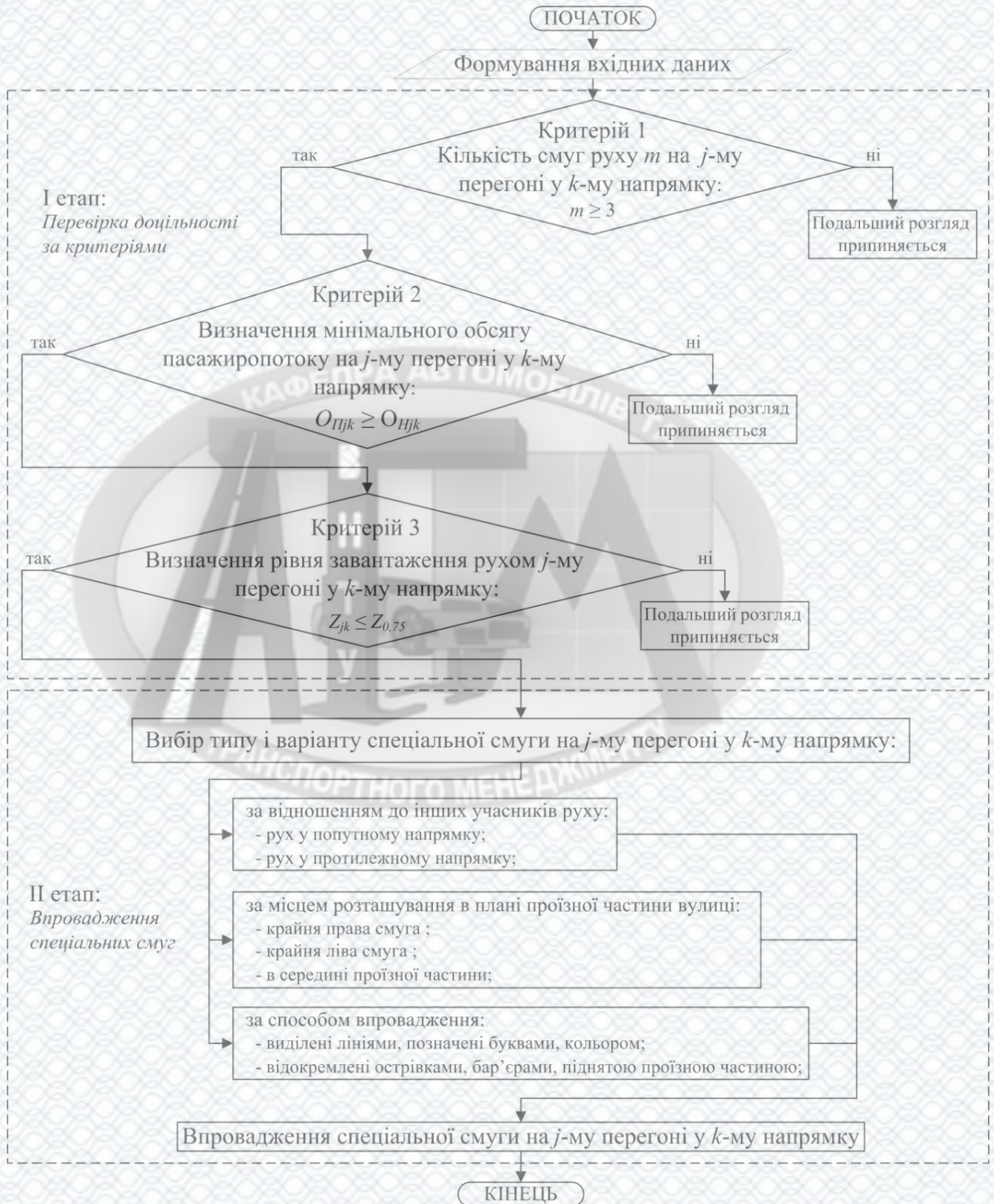


Рисунок 2.5 – Алгоритм впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць

Висновки до розділу

1. Доведено, що використання показника інтенсивності руху автобусів як критерію впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць є непридатним для різних типів автобусів, оскільки за одного і того ж мінімального значення різниця у перевізній здатності може досягати більше 6 тис. пас/год.

2. За результатами теоретичних досліджень встановлено, що доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць необхідно визначати за кількістю смуг руху в одному напрямку, 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 стан потоку на неперіоритетних смугах доцільно визначати рівнем завантаження руху, допустима область якого не перевищує 0,75 завантаження 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

РОЗРОБЛЕННЯ МЕТОДУ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ПРОСТОРОВО-ЧАСОВОГО ПРІОРИТЕТУ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ

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 багатьох чинників і умови їх впровадження мають свої обмеження. З цих причин важливо, щоб їм у таких дорожніх умовах забезпечувався пріоритет 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 не більше двох смуг руху в одному напрямку. Щоб забезпечити такий пріоритет у цих умовах запропоновано метод *«спеціальна смуга у зоні перехрестя»*. Цей метод ґрунтується на створенні в певному напрямку додаткового поширення на підході до перехрестя і після нього, а також облаштування на цих поширеннях, включаючи ділянку на площі перетину між ними, спеціальної смуги для руху пріоритетного транспорту. Створення такого просторового «коридору» у зоні перехрестя забезпечує вільний доступ до стоп-лінії та домінуюче положення у просторі на проїзній частині, при цьому не зменшуючи кількість смуг на його підході для непріоритетного транспорту. За відсутності зупинних пунктів у зоні перехрестя або розташування їх 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 (як правило, для реалізації абсолют-

ного пріоритету).

За реалізацією цього методу у плані перехрестя, спеціальні смуги можна поділити на дві основні групи. До першої групи відносимо ті, які впроваджуються на перехрестях, де зупинні пункти відсутні або розташовані перед ним, а до другої – де зупинні пункти розташовані після перехрестя. Залежно від маневру зміни напрямку руху на перехресті, кожна група поділяється на типи. Окремі типи, за функціональним призначення, поділяються на два різновиди (тільки для автобусів або комбіноване використання з непріоритетними ТЗ, що повертають праворуч). Позначення спеціальних смуг у зоні перехрестя має три цифри. Перша вказує на групу, друга – тип, третя (за наявності) – різновид використання.

На основі цього структурного поділу, при цьому беручи до уваги Х-подібне пересічення, запропоновано два типи спеціальних смуг першої групи та чотири – другої (рис. 3.1 – пішохідні переходи умовно не показані).

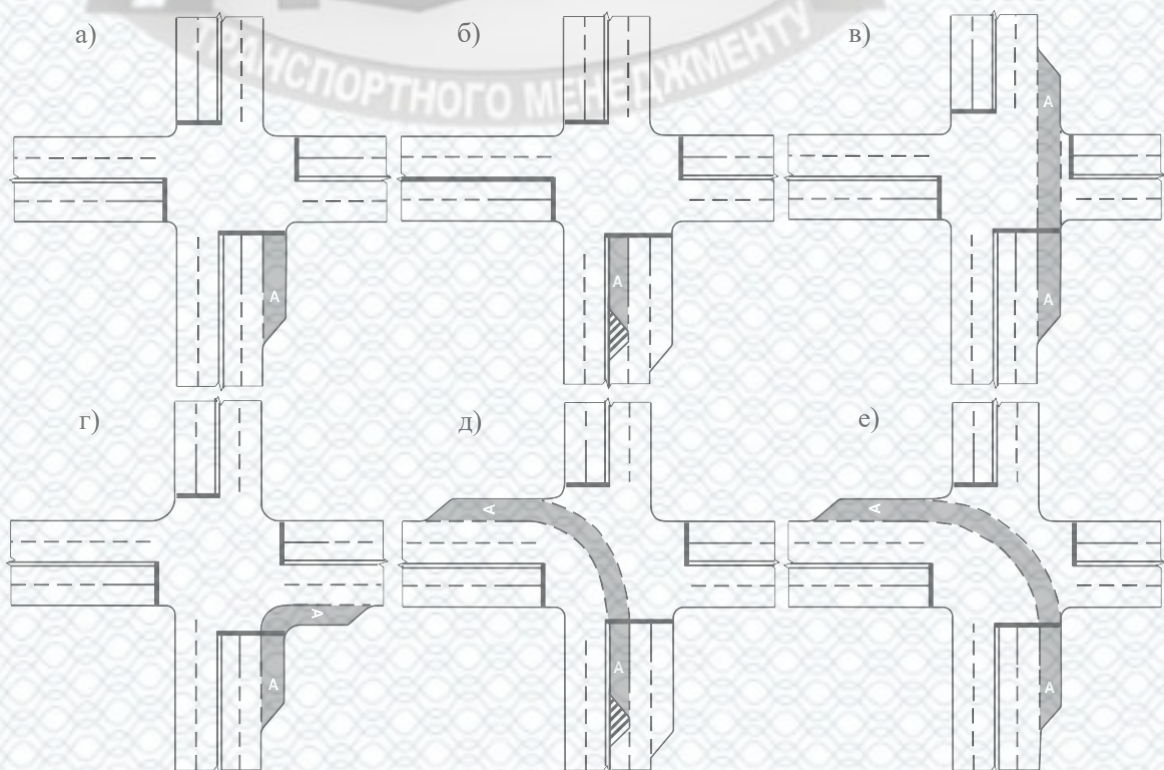


Рисунок 3.1 – Типи спеціальних смуг у зоні перехрестя першої та другої групи: а – тип 1.1; б – 1.2; в – тип 2.1; г – 2.2; д – тип 2.3; е – 2.4.

Спеціальні смуги типу 1.1 доцільно застосовувати для забезпечення пріо-

ритетних умов руху в усіх трьох напрямках (прямо, праворуч і ліворуч) при розташуванні зупинок перед перехрестям, а для руху прямо і повороту праворуч – при їх відсутності. За таких же умов, для повороту ліворуч, доцільно застосовувати тип 1.2. Спеціальні смуги типу 2.1, забезпечують пріоритетні умови проїзду для руху прямо, тип 2.2 – для повороту праворуч, а тип 2.3 і 2.4 – для повороту ліворуч.

За відсутності пішохідних переходів на перехресті деколи спеціальні смуги другої групи доцільно впроваджувати на перехрестях, де зупинки відсутні або розташовані перед ним. Це дозволяє спростити реалізацію пріоритету в часі та забезпечити оптимальну роботу перехрестя.

Щоб забезпечити пріоритет з одного підходу в кількох напрямках (ліворуч, прямо і праворуч), спеціальні смуги другої групи, а саме типи 2.1, 2.2 і 2.4, можуть поєднуватися і впроваджуватися одночасно. Три різні комбінації можливі при впровадженні одночасно двох типів і одне поєднання – при впровадженні усіх трьох (рис. 3.2, а).

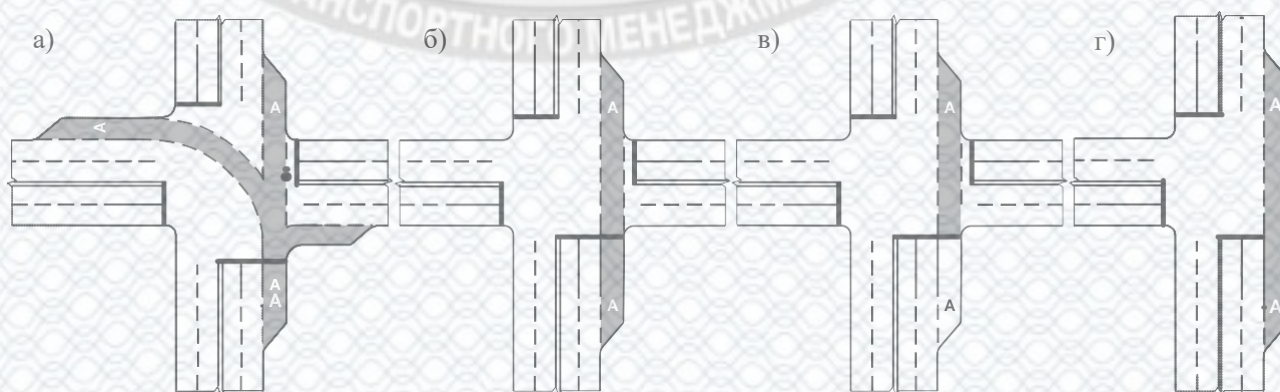


Рисунок 3.2 – Спеціальні смуги у зоні перехрестя:

- а – одночасне впровадження типу 2.1, 2.2, 2.4; б – тип 2.1.1; в – тип 2.1.2;
- г – спеціальна смуга типу 2.1 у зоні Т-подібного перехрестя.

Зрозуміло, що поєднання різних типів спеціальних смуг можна вводити з усіх інших підходів. Однак при таких змінах ускладниться конфігурація зони перехрестя і його загальна схема організації руху. Також це буде знижувати пропус-

кнуну здатність пересічення 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 найнавантаженішим маршрутам з точки зору перевезення пасажирів.

Типи 1.1, 2.1 і 2.2 мають обидва різновиди використання, тобто якщо впроваджено спеціальні смуги типу 1.1.2, 2.1.2 та 2.2.2, то на спеціальну смугу можуть також в'їжджати ТЗ, що повертають праворуч. Як приклад, на рисунку 3.2, б та 3.2, в наведено обидва різновиди спеціальної смуги типу 2.1.

Застосування спеціальних смуг типу 2.2 або типу 1.1 тільки для повороту праворуч, потребує забезпечення пріоритету в часі (з використанням світлофорної сигналізації) лише при наявності інтенсивного пішохідного руху у прямому або перпендикулярному напрямках. За інших умов створений просторовий пріоритет дозволяє забезпечити вільний проїзд перехрестя.

Впровадження спеціальних смуг у межах зони Т-подібного перехрестя відзначаються відмінністю у застосуванні типу 2.1 (рис. 3.2, г), зокрема тим, що його доцільність є виправданою як за відсутності зупинок біля перехрестя, так і при розташуванні їх перед ним чи після нього.

Запропоновані спеціальні смуги обох груп інколи доцільно впроваджувати на перехрестях, підходи яких мають три і більше смуг руху в одному напрямку, при цьому реалізується це як через виділення (резервування) існуючих смуг руху, так і шляхом впровадження додаткових поширень на підході до перехрестя. Причиною цього є умови, в яких не доцільно, згідно критеріїв, впроваджувати спеціальні смуги на перегонах вулиць, які не перериваються на перехрестях. Виходячи з цього, приклад застосування спеціальних смуг першої групи на підході до перехрестя з трьома смугами руху в одному напрямку, 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.

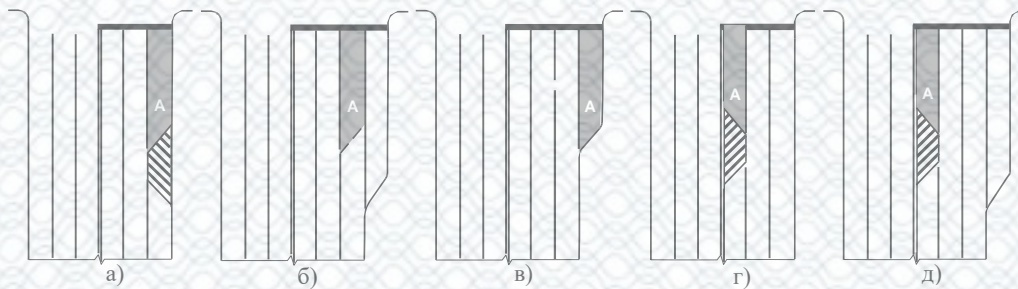


Рисунок 3.3 – Спеціальні смуга типу 1.1 і 1.2 у зоні перехрестя з трьома смугами на його підході: а, б, в – тип 1.1; г, д – тип 1.2

Недоліком резервування смуг є зменшення кількості смуг для неперіоритетних ТЗ та зміна схеми їх проїзду. Тоді як при впровадженні додаткових поширень – збільшується загальна ширина проїзної частини, що в умовах наявності пішохідних переходів, збільшує тривалість дозволеного сигналу для переходу пішоходів від чого зростає тривалість циклу.

Крім забезпечення пріоритету на ізольованих перехрестях, спеціальні смуги доцільно також впроваджувати на перетинах, які поєднані системою координованого керування. Особлива потреба у цьому з'являється тоді, коли зупинні пункти розташовані після двох суміжних перехресть, що об'єднані координованим керуванням, а ділянка координації, в яку вони входять, є з двома смугами руху в одному або обох напрямках. За таких умов, через неузгодженість часу руху автобусів між зупинками та дозволеним сигналом у напрямку координації, можуть виникати затримки на суміжному перехресті. Тобто забезпечити беззупинний рух автобусів між двома сусідніми зупинками, при цьому не порушуючи координованого режиму, є фактично неможливо. Тому для зменшення величини затримок автобусів як на живлячому, так і на суміжному перехрестях доцільно впроваджувати в їх зонах спеціальні смуги типу 2.1.

Таке рішення дозволить звести до мінімуму їх затримки (проїзд перетину як перший автомобіль черги) на перехрестях перед зупинкою в межах ділянки координації, а також створює кращі передумови для забезпечення абсолютно проїзду, шляхом дострокового завершення дозволеного сигналу на другорядних напрямках або його продовження на головному.

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 непріоритетних 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 типів, який узагальнює усі пропоновані. До такого можна віднести тип 2.1, за якого зупинний пункт розташований після перехрестя і пріоритетні умови руху забезпечуються у прямому напрямку.

Процес проходження автобусів спеціальною смугою можна розбити на такі етапи: *«вхід пріоритетного потоку на спеціальну смугу»* – *«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 спеціальної смуги»*. Кожному етапу відповідає свій геометричний елемент спеціальної смуги (рис. 3.4).

Дослідження такої системи дозволяє розглядати одночасно усе транспортно-планувальне рішення та кожен елемент окремо. З огляду на це, розглянемо процес у системі диференційовано, по етапах, і визначимо можливу довжину кожного елемента.

«Вхід пріоритетного потоку на спеціальну смугу». Основну функцію, яку виконує геометричний елемент на цьому етапі, це забезпечення безпечного та плавного виконання маневру відхилення 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 умо-

вах вуличного середовища, величину L^{6x} можна приймати як довжину такої ж ділянки на в'їзді до зупинки у «кишені», яка становить 20 м [8].

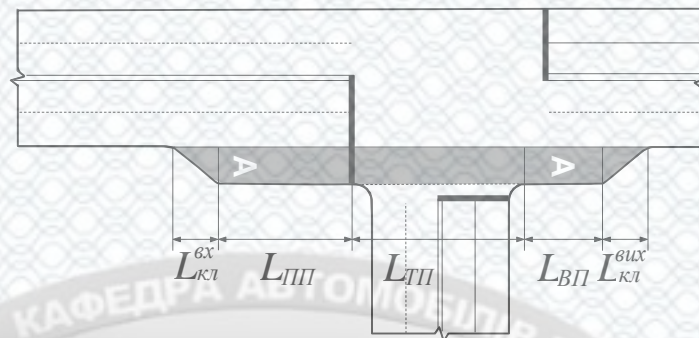


Рисунок 3.4 – Геометричні елементи спеціальної смуги у зоні перехрестя

«Рух пріоритетного потоку спеціальною смугою на підході до перехрестя». На початку цього етапу, як і в попередньому, у певній мірі триває процес поділу потоку на пріоритетний та непріоритетний. Здійснення автобусом маневру відхилення відбувається на елементі клину відгону L^{6x} , а завершується на ділянці підходу до перехрестя $L_{ПП}$. Тому останню умовно можна поділити на дві ділянки $l_{від}$ (ділянка на якій фіксується утворення одноріднішого потоку) та $l_{нс}$ (ділянка підходу до стоп-лінії перехрестя).

Щоб завжди забезпечувався доступ автобусів до зони ділянки $l_{від}$, при цьому не порушувалась рівномірність їх швидкостей, необхідно ділянку $l_{нс}$ запроектувати відповідної довжини. Очевидно, що для цього потрібно визначити максимальну довжину черги ТЗ на смузі, яка межуватиме з поширенням (спеціальною смугою) при режимі світлофорного регулювання, що відповідає піковим значенням інтенсивності руху на підході до перехрестя.

Максимальна кількість ТЗ у черзі, як відомо, утворюється в момент вмикання дозволеного сигналу. Однак важливо враховувати і ті автомобілі, що потрапляють у чергу впродовж дії дозволеного сигналу, тобто наскільки додатково видовжується черга з ТЗ впродовж циклу. Максимальна черга з автомобілів, що видовжилась на підході за цикл – це кількість ТЗ у черзі, що

утворилася на початку дозволеного сигналу і кількість ТЗ, яка прибуває до перехрестя впродовж її роз'їзду до моменту рушання останнього автомобіля з черги, що сформувалась на початку дозволеного сигналу.

При нормальних (не перенасичених) умовах руху на підході (ступінь насичення $\leq 1,0$), черги, які утворилися на початку дозволеного сигналу повністю роз'їжджаються за ефективну тривалість дозволеного сигналу [32]. Хоча, якщо на підході ступінь насичення перевищує 0,65, спостерігаються цикли, за які черги не повністю роз'їжджаються на дозволений сигнал. Інтенсивно це проявляється при ступені насичення більше 0,9 [26].

При перенасичених умовах руху (ступінь насичення $> 1,0$), тобто, коли на підході інтенсивність приїзду перевищує можливості від'їзду, утворені черги не роз'їжджаються за дозволений сигнал фактично завжди, причому може траплятися, що утворена черга за певний цикл роз'їдеться тільки впродовж декількох циклів. За таких умов максимальна довжина черги буде зростати за рахунок автомобілів, що залишилися в черзі із попередніх циклів. Відповідно, найбільша кількість ТЗ у черзі буде після n -го циклу періоду перевантаження. Оскільки якраз такі умови є потенційними умовами утворення затору, то для усунення його проявів необхідно слідувати до забезпечення нормального режиму керування на перехресті, при якому ступінь насичення не повинен перевищувати верхню межу 0,95 [45, 53].

Якщо зупинний пункт знаходиться перед перехрестям, то довжина ділянки l_{nc}

також залежить від інтенсивності прибуття автобусів від величини, якої утворюватиметься відповідна довжина черги, а також тривалості зупинки на посадку висадку пасажирів. Проте цей чинник є визначальним при невеликих значеннях довжини черги неперіоритетних ТЗ на суміжній з поширенням смузі та при значній інтенсивності маршрутних автобусів.

Враховуючи вищезазначене довжина елемента спеціальної смуги на підході до перехрестя L_{III} визначатиметься як:

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

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 спеціальною смугою на території перехрестя». На цьому етапі геометричний елемент спеціальна смуга на території перехресті L_{III} забезпечує просторовий пріоритет руху на самій площі перетину та вказує на оптимальну траєкторію руху при повороті праворуч чи ліворуч, або русі прямо (траєкторія для спеціальних смуг першої групи забезпечується за допомогою розмітки). Такі умови підвищуватимуть швидкість проїзду автобусів площі перехрестя і їх безпеку руху. Довжина елемента L_{III} , залежить від кількості смуг на підході до перехрестя з перпендикулярного напрямку та виду маневру.

«Рух пріоритетного потоку спеціальною смугою після виходу з перехрестя» та «Вихід пріоритетного потоку із спеціальної смуги». З точки зору якісного опису процес руху за ці етапи, доцільно розглядати разом. Впродовж них відбувається вихід потоку з перехрестя, переміщення до зупинного пункту, гальмування та зупинка для висадки/посадки пасажирів, розгін, вихід із спеціальної смуги і виконання маневру злиття.

Довжину елемента, що відповідає першому етапові (елемент спеціальної смуги після виходу з перехрестя L_{BII}) умовно можна поділити на три ділянки. На першій ділянці завершується вихід автобусів з перехрестя та здійснюється рух до зупинного пункту. Довжина цієї ділянки (підходу до зупинки l_{nz}) залежить від інтенсивності маршрутних автобусів і за даними [8] лежить у межах 5–20 м.

Друга ділянка це посадкова площадка l_{nn} , довжина якої залежить від типу та кількості автобусів і може прийматися також згідно з [8]. На третій ді-

лянці (l_{pz}) продовжується розгін автобуса після зупинки та розпочинається вливання у загальний потік. Впродовж другого етапу на елементі виходу потоку з спеціальної смуги $L^{вих}$, виконання маневру злиття входить в основну та завершальну фазу, після чого автобуси рухаються у спільному потоці.

За геометричними характеристиками елементи $L_{ВП}$ *вих кл* є подібними до перехідно-швидкісної смуги розгону, яку застосовують на виході із з'їзду розв'язок в одному і різних рівнях. Слідуючи цій аналогії ділянка l_{pz} є «швидкісним шлюзом» перехідно-швидкісної смуги [6], довжина якої залежить від інтенсивності потоку на головній вулиці та його складу. Однак у випадку, що розглядається довжина ділянки l_{pz} залежить не так від інтенсивності як від того чи момент виконання маневру злиття автобуса співпадає з переміщенням неперіоритетних ТЗ на смугах суміжно із зоною злиття. Це, своєю чергою, залежить від схеми пофазного роз'їзду на перехресті і розподілу інтенсивності за напрямками на підході.

Якщо на підході переважає інтенсивність потоку прямого напрямку і його проїзд за перехрестям співпадає з моментом вливання автобуса, то утворюється найскладніший випадок з точки зору виконання маневру злиття. Оскільки поява прийнятого інтервалу, для його виконання можлива лише 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_{pz} повинна бути значної довжини, і чим вона буде довшою, тим меншою буде різниця швидкостей між автобусом та неперіоритетним ТП, і тим безпечніше відбуватиметься їх злиття. Проте із збільшенням її довжини, зростають капіталовкладення для впровадження і функціонування. Також на елементах ВДМ не завжди можливі значні розширення проїзної частини.

Тому довжина ділянки l_{pz} повинна визначатися з відстані для розгону. А ділянка виходу потоку із спеціальної смуги *вих кл* визначається аналогічно як і входу, тобто як довжина клину відгону на вході. В ущільнених умовах вуличного середовища, величину *вих кл* можна приймати як довжину такої ж ділянки на виї-

зді від зупинки у “кишені”, яка становить 15 м [8]. Визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до ізолюваного перехрестя

Як зазначалося вище, для визначення оптимальної довжини спеціальної смуги на підході до перехрестя, необхідно встановити максимальну кількість ТЗ у черзі на смузі, що межуватиме з нею. «Кількість автомобілів у черзі» та «довжина черги» (середня чи максимальна) – це показники якості функціонування регульованих перехресть, які, відповідно, вимірюються в автомобілях і метрах. Однак з метою стислого викладу матеріалу, у подальшому будемо використовувати здебільшого поняття «довжина черги», з 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 ізолюваного перехрестя з однією смугою руху. Вхідний транспортний потік на ньому є однорідний (100 % легкових автомобілів). Потік насичення становить 1800 авт./год. Залежно від інтенсивності руху тривалість дозволеного сигналу змінюється від 10 до 30 с з інтервалом 4 с. Умови руху на підході до перехрестя характеризуються трьома ступенями насичення: 0,65; 0,9; 1,0. При ступені насичення $X_i = 0,65$ тривалість циклу змінюється відповідно від 39 до 44, при $X_i = 0,9$ – від 54 до 61 і від 60 до 68 при $X_i = 1,0$. Тривалість періоду розрахунку складає – 3600 с (рис. 3.5).

З рис. 3.5 видно, що є велика розбіжність між отриманими результатами, яка становить від 3 до 9 автомобілів відповідно при ступенях насичення 0,65 та 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 за інших двох ступенів насичення. Ці розбіжності в основному пояснюються тим, що в обох формулах випадковість прибуття ТЗ до перехрестя враховується за допомогою емпіричних коефіцієнтів, які отримані із задалегідь заданих статистичних ха-

рактик. У зв'язку з цим виникає необхідність у дослідженні цього показника і розробленні методики для розрахунку максимальної довжини черги ТЗ, результати якої відповідали б її значенням у реальних умовах. При цьому важливо, щоб з її використанням можна було б визначати на скільки максимально збільшується в довжину черга ТЗ у плані підходу впродовж усього циклу. Оскільки саме ці значення черги в метрах визначають оптимальну довжину спеціальної смуги на підході до перехрестя.

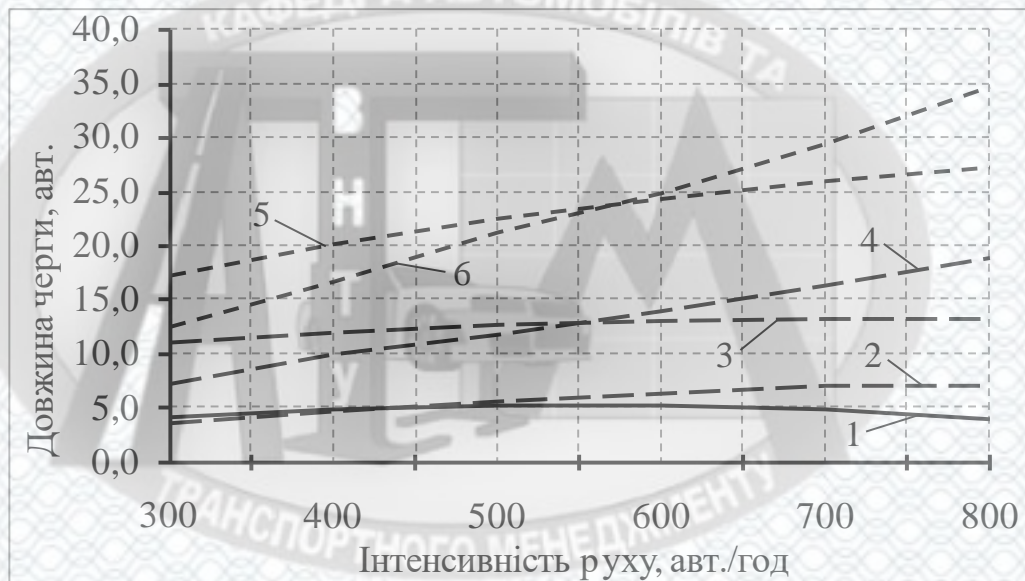


Рисунок 3.5 – Максимальна довжина черги ТЗ:

1; 3; 5 – за НСМ відповідно при $X_i = 0,65, 0,9, 1,0$; 2; 4; 6 – за НБС відповідно при $X_i = 0,65, 0,9, 1,0$

Для розробки цієї методики доцільно використовувати методи імітаційного моделювання, які є поєднанням аналітичного розрахунку та натурального експерименту [12] і дають змогу точніше та детальніше описати закономірності функціонування досліджуваного об'єкта ніж аналітичні методи. Найскладнішим етапом імітаційного моделювання є створення моделі. Із складністю досліджуваного процесу зростають масштаби самої моделі. Тому при її розробці постановку завдання обмежимо лише визначенням максимальної довжини черги, яка утворюється на початку дозволеного сигналу та за увесь цикл (в автомобілях і метрах).

Імітаційна модель підходу(-ів) до ізольованого перехрестя написана мовою програмування *Objective-C* у програмному середовищі *Xcode* (може використовуватися на iOS пристроях (iPhone, iPad)).

Модель реалізована у такий спосіб, що при використанні користувач може легко змінювати вхідні дані, зокрема збільшувати кількість підходів до перехрестя (≤ 4) і вибирати потрібну кількість смуг руху на кожному з них (≤ 3), включаючи схему проїзду.

Вхідні дані в моделі можна поділити за такими категоріями:

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

На рис. 3.6 наведено блок-схему алгоритму моделювання одного підходу до ізольованого перехрестя, яка обмежується однією смугою руху. При збільшенні кількості смуг – алгоритм збільшується на відповідну кількість блоків моделювання, які виконуються паралельно, а при розгляді більше одного підходу, алгоритм, від підходу до підходу, послідовно змінюється залежно від вхідних параметрів.

Весь алгоритм моделювання можна поділити на два етапи. На першому етапі визначається середній інтервал між автомобілями, що проїжджають пе-

перехрестя та момент прибуття першого автомобіля на його підході (поява наступного – визначається на другому етапі відразу після прибуття першого).

Середній інтервал між ТЗ при роз'їзді черги, визначається з потоку насичення, який є його оберненою величиною. Потік насичення розраховується за формулою [45]:

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

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

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

На другому етапі моделюється процес функціонування підходу до перехрестя впродовж періоду розрахунку (дослідження), що визначається користувачем (найчастіше задають одну годину).

Для цього період моделювання розбивається на мінімальні інтервали Δt [5, 29], який у моделі може набувати таких значень: 1,0 с; 0,1 с; 0,01 с; 0,001 с. Цей етап також включає визначення зміни світлофорних сигналів, моментів появи автомобілів на підході, визначення напрямку руху і тип ТЗ, проїзд перехрестя або формування черги, роз'їзд черги та визначення максимальної довжини черги (в автомобілях і метрах).

Визначення напрямку руху і типу транспортного засобу здійснюється випадково з використанням функції *arc4random*, що розподіляє їх рівномірно відповідно до вхідних значень.

Роз'їзд черги в моделі виконується після завершення забороненого сигналу та стартової затримки, величина якої змінюється залежно від типу першого автомобіля. Вплив пішохідного руху на транспортний потік, який при роз'їзді повертає праворуч чи ліворуч в одній фазі, виражається через відповідний коефіцієнт потоку насичення.

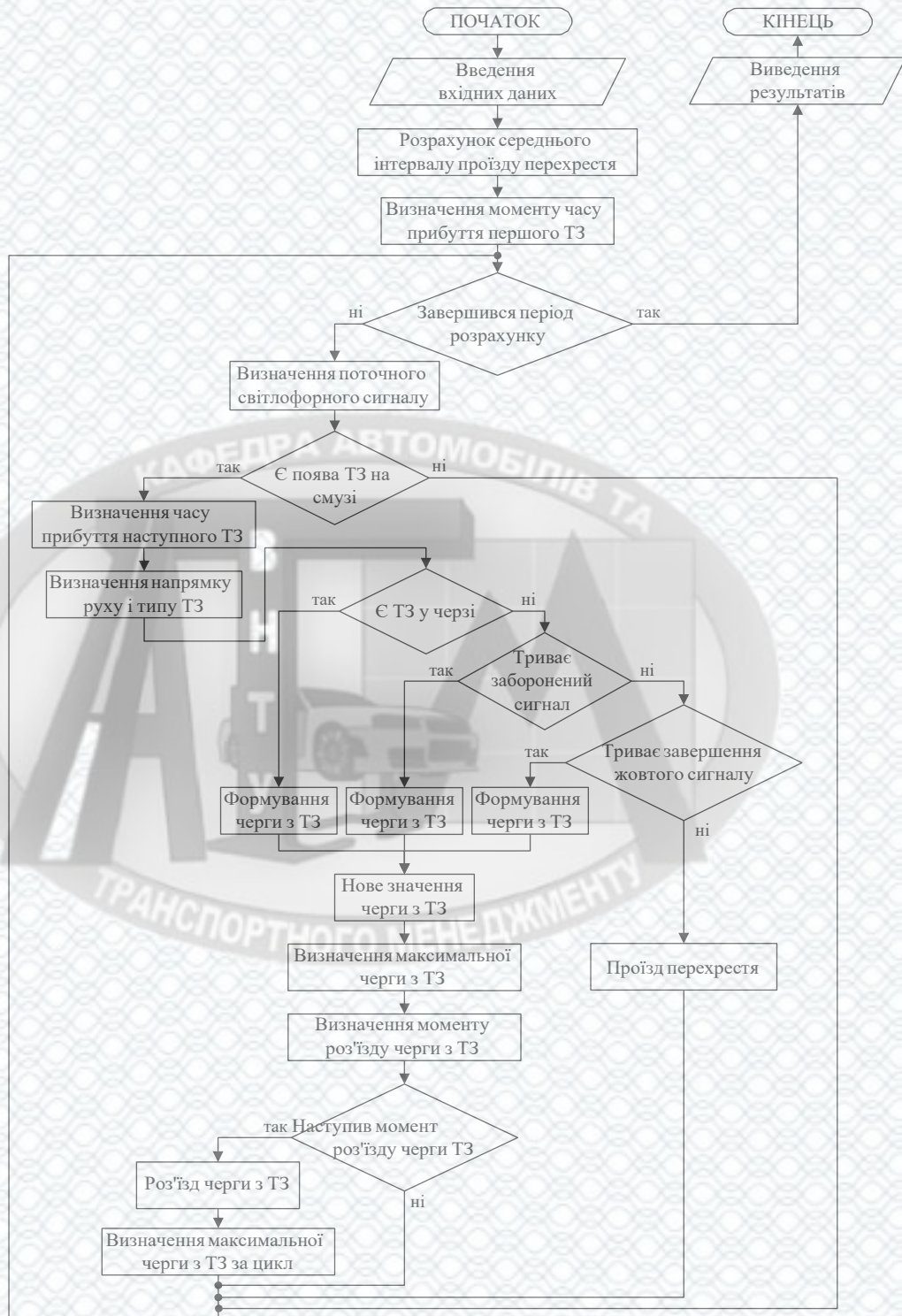


Рисунок 3.6 – Блок-схема алгоритму моделювання одного підходу до ізолюваного перехрестя

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 до-

звоненого 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 Δt (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 $\leq 0,65$ 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 способів 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 реалізовуватися 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

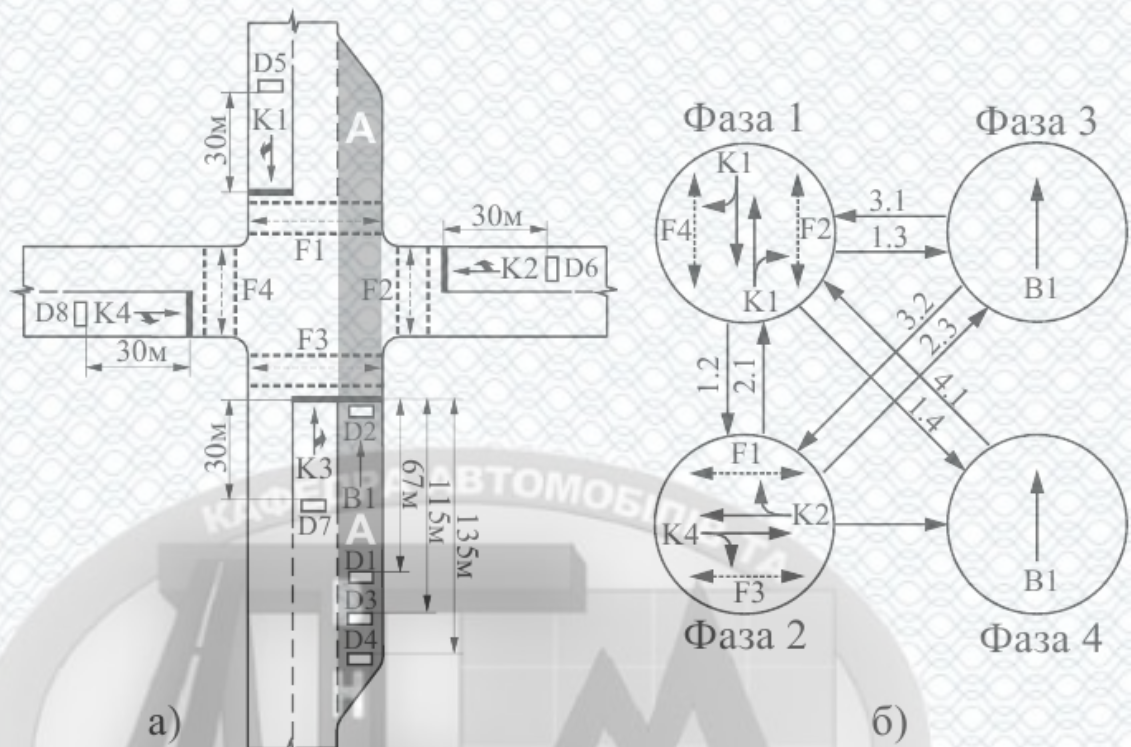


Рисунок 3.7 – Схема Х-подібного перехрестя із спеціальною смугою типу 2.1: а – геометричні параметри, сигнальні групи та розташування детекторів; б – послідовність зміни фаз

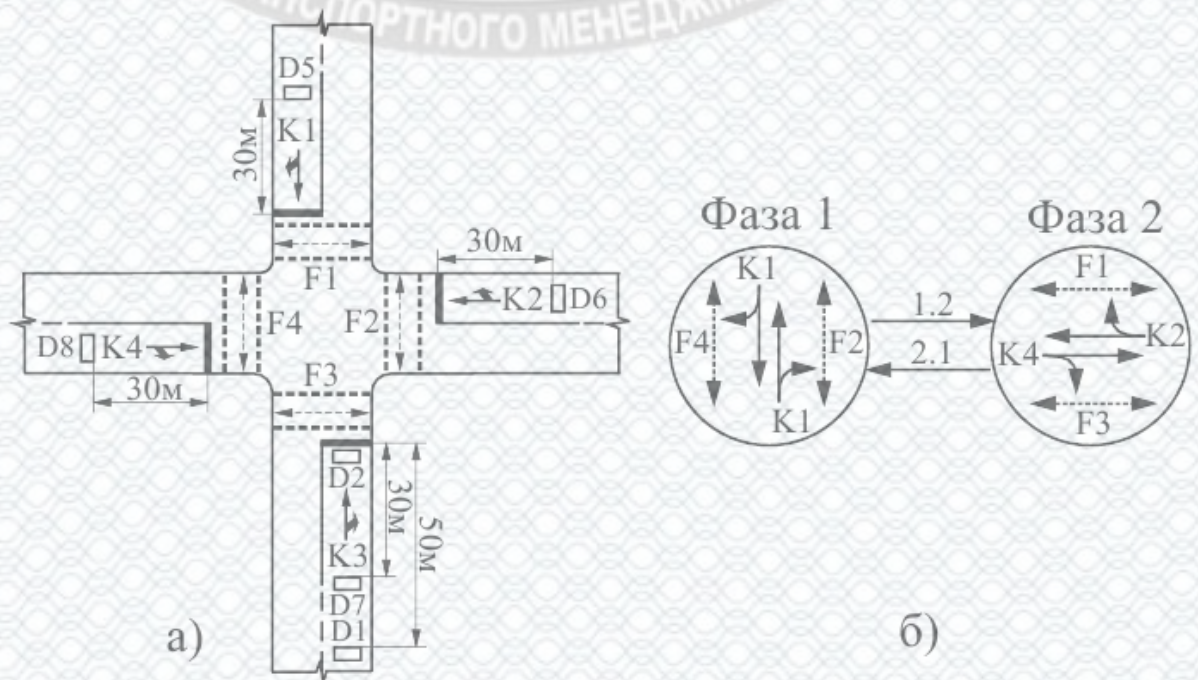


Рисунок 3.8 – Схема Х-подібного перехрестя без спеціальної смуги:
а – геометричні параметри, сигнальні групи та розташування детекторів;
б – послідовність зміни фаз

у 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 ϵ 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 ϵ 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).

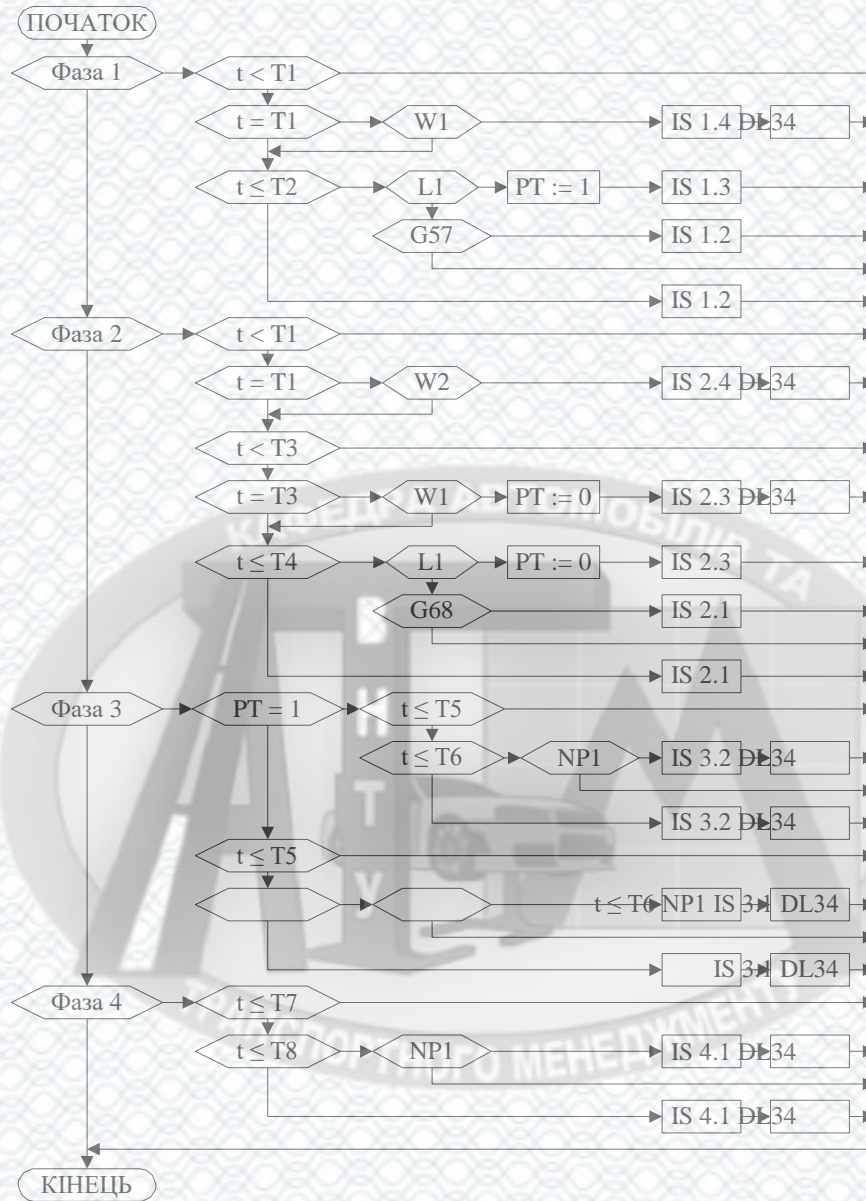


Рисунок 3.9 – Блок-схема алгоритму виклику спеціальної фази для автобуса

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 часового розриву у ТП на усіх підходах – детектори D5–D8. Аналогічна ситуація з детекторами, що використовуються у блок-схемах на рис. 3.21. Зокрема, щоб

виявити часовий розрив у потоці, використовують детектори D5–D8, а для виявлення появи автобуса – детектори D1 та D2.

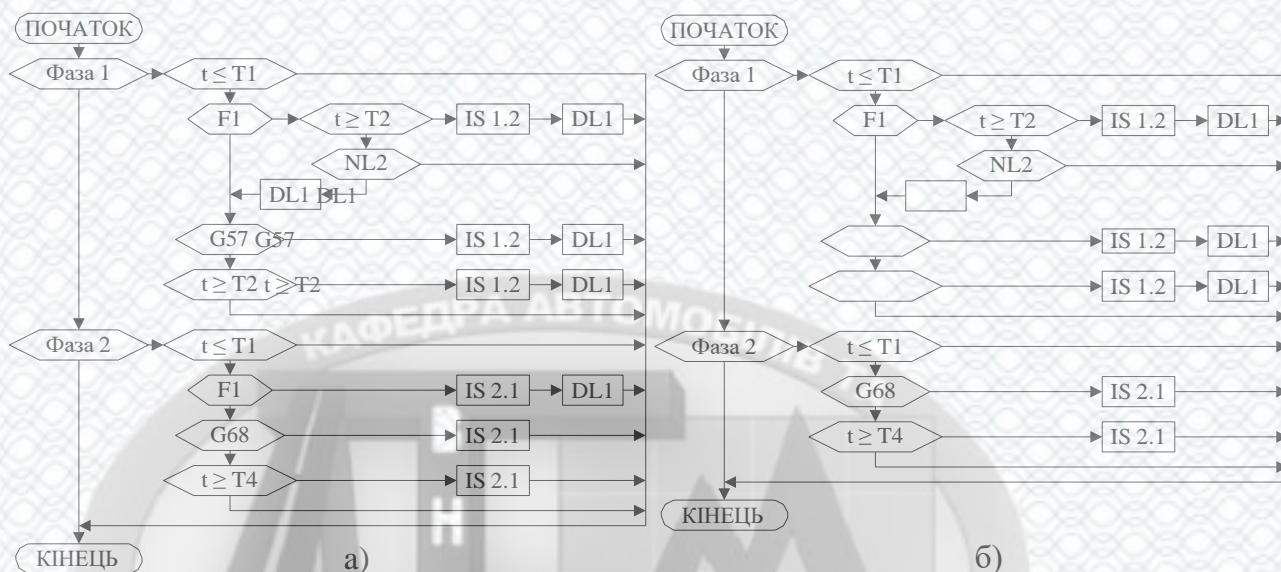


Рисунок 3.10 – Блок-схеми алгоритмів дострокового завершення забороненого (а) і продовження дозволеного сигналу (б)

У блок-схемі алгоритму виклику спеціальної фази використовується одна і та ж автобусна сигнальна група В1 у двох різних фазах (фаза 3 і 4). Це дає змогу забезпечити різну тривалість перехідних інтервалів між фазою, що викликається та іншою фазою (або навпаки). Своєю чергою, це дозволяє реалізувати абсолютний пріоритет проїзду автобусів через перехрестя.

Щоб встановити ефективність алгоритмів при різних умовах руху на перехресті, в моделі змінюється вхідна інтенсивність ТП відповідно до ступеня насичення X , який кількісно характеризує зміну умов руху [4, 18]. При ступені насичення X кожного підходу 0,65, 0,8, 0,95 та 1,10 вхідна інтенсивність ТП

сигнальних груп К1 та К3 відповідно набуває значень 625, 770, 914 та 1058 авт./год, а сигнальних груп К2 і К4 – 343, 422, 501 та 580 авт./год. Паралельно з цим, у моделі змінюється інтервал руху між автобусами, що прибувають до перехрестя і набуває таких значень: 960, 480, 240, 120, 60, 30 с.

Як критерій, для кількісної оцінки ефективності алгоритмів, використовується показник середня затримка автобуса на підході та середня затримка авто-

мобіля 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).

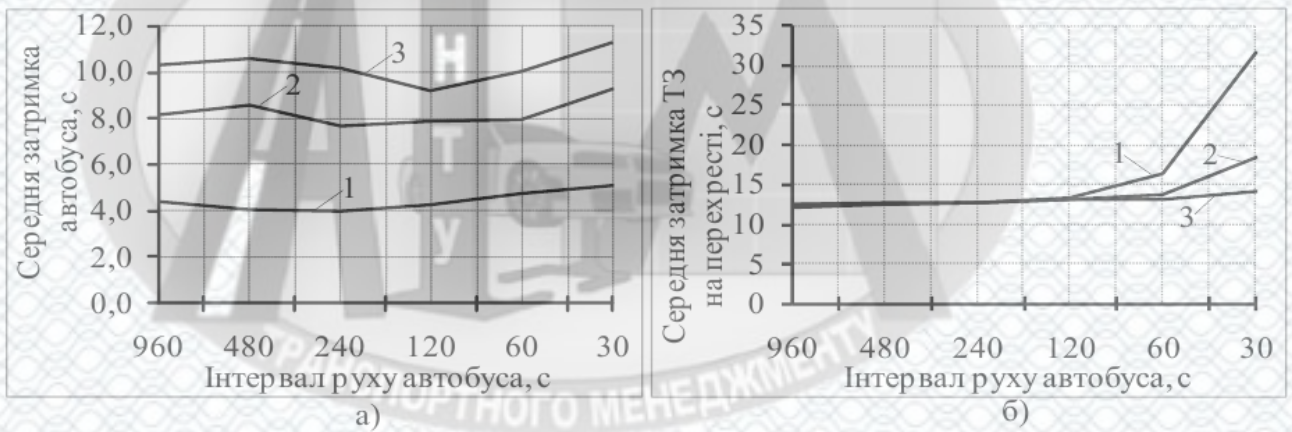


Рисунок 3.11 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,65: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

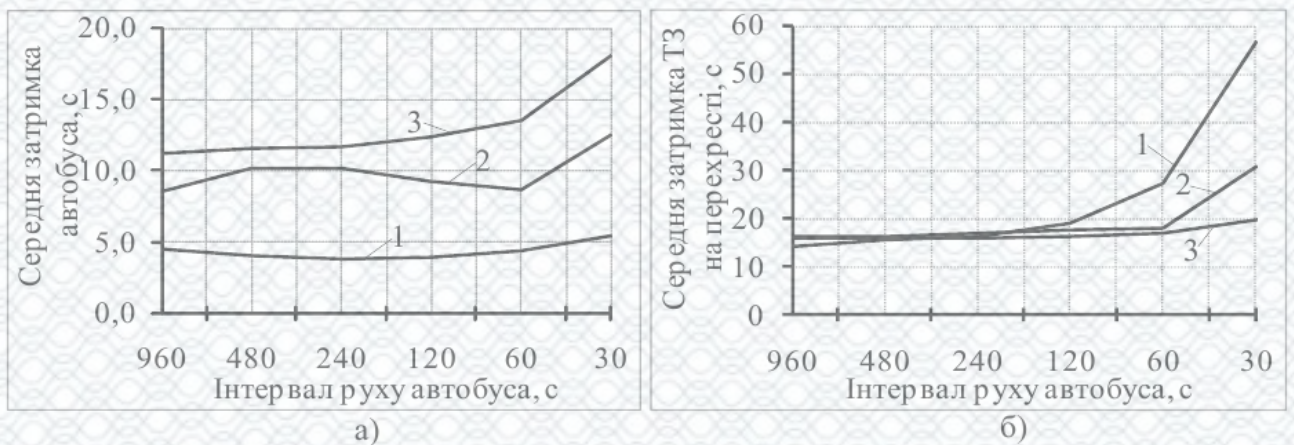


Рисунок 3.12 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,8: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

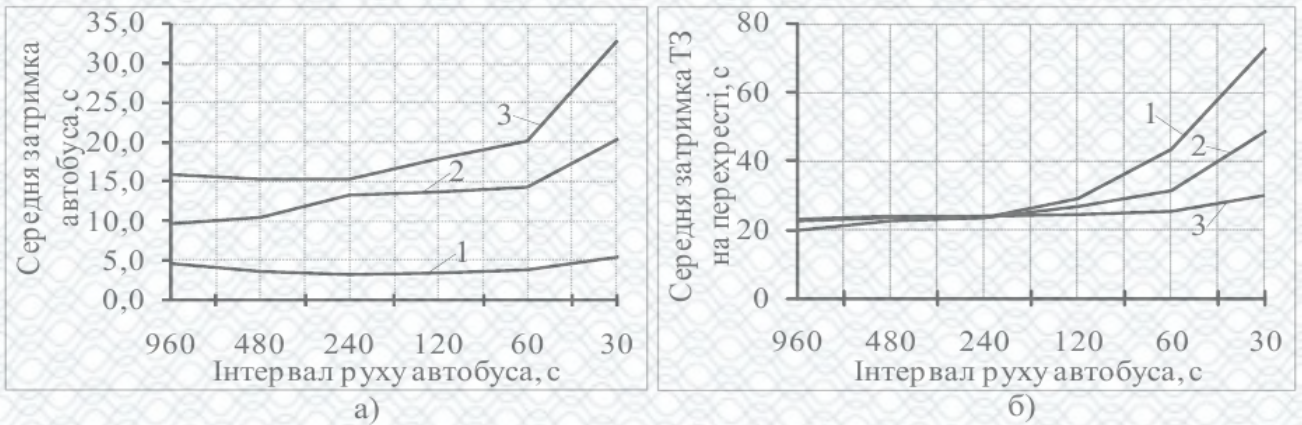


Рисунок 3.13 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 0,95: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

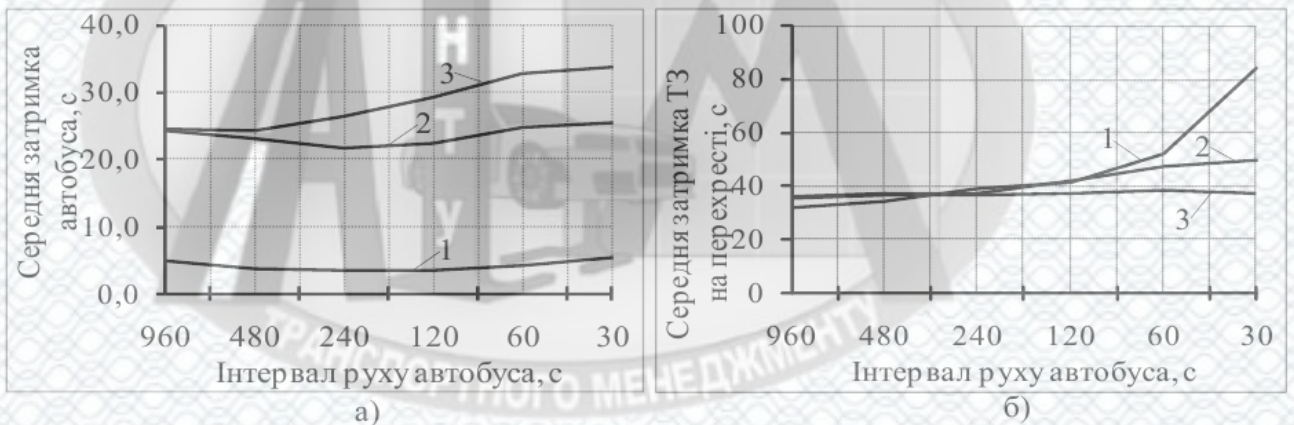


Рисунок 3.14 – Залежність середньої затримки від інтервалу руху автобуса при ступені насичення 1,10: а, б – відповідно затримка автобуса на підході та ТЗ на перехресті; 1, 2, 3 – відповідно алгоритм виклику спеціальної фази, дострокового завершення забороненого та продовження дозволеного сигналів

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 бі-

льшими 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 автобусами 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]. Усереднюючи 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.

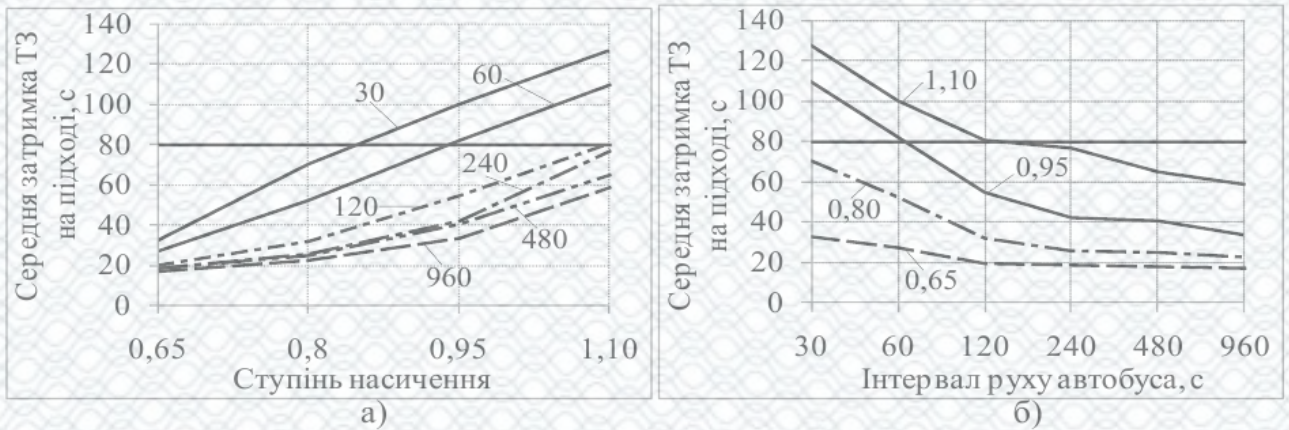


Рисунок 3.15 – Залежність значень середньої затримки ТЗ на підході від ступеня насичення (а) та інтервалу руху між автобусами (б) (цифри на кривих – відповідно інтервал руху і ступінь насичення)

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).

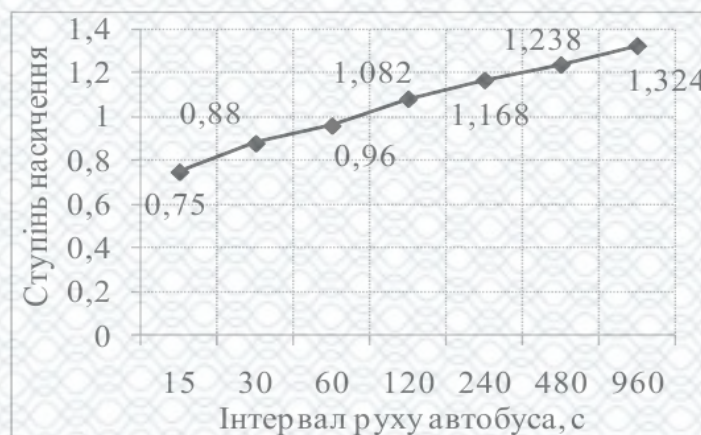


Рисунок 3.16 – Межі області ефективного застосування методу «спеціальна смуга у зоні перехрестя»

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

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 транспортно-му 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 різ-

ні 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, пасажирів та пішоходів) 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 почергово, відповідно до блоку моделювання. До них належить дані про ВДМ, мережу ГТ, просторово-структурні дані, дані про транспортну «поведінку» та дані для калібрування моделі.

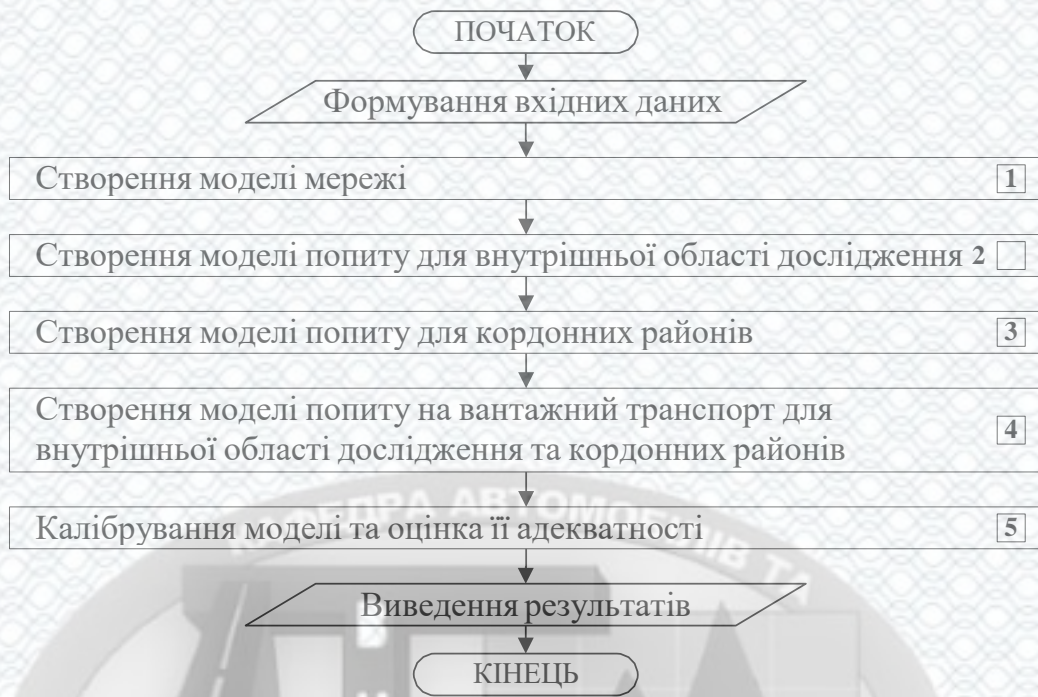


Рисунок 4.1 – Послідовність створення транспортної моделі міста в середовищі VISUM

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 транспорт-

ні 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.).

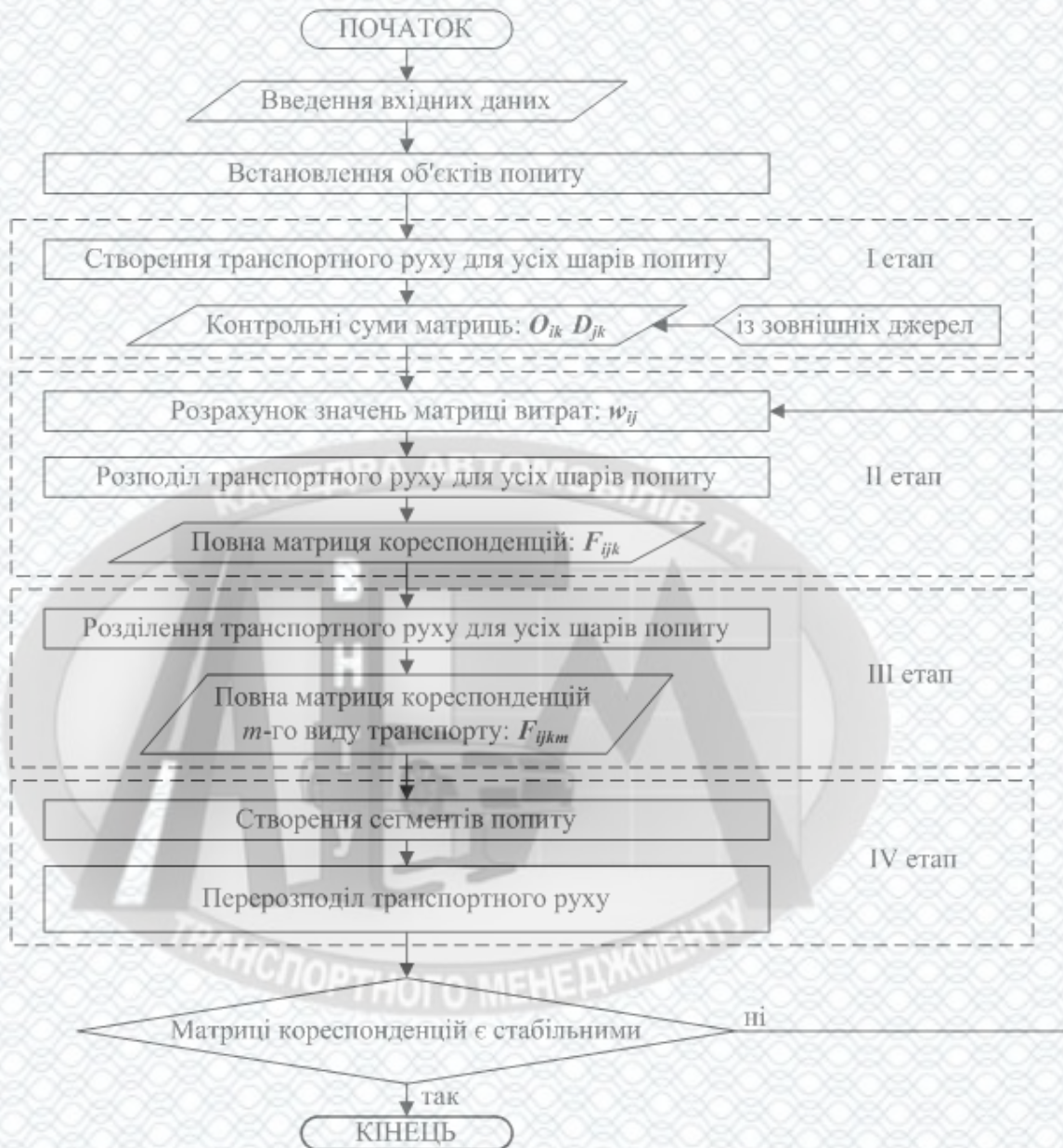


Рисунок 4.2 – Блок-схема алгоритму моделювання попиту на транспорт за чотирьохступеневою моделлю

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. Прикладом 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	ІР ІУ	ІІ					
Ш	ШД							
У	УД							
М	МД							
Дз	ДзД							
І	ІД							

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

понденцій 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.

Завершальним етапом розробки транспортної моделі (блок 5, див. рис. 4.1) є калібрування моделі та оцінка її адекватності. Основною метою калібруван-

ня є підвищення достовірності моделі попиту на транспорт, яка визначає адекватність транспортної моделі міста. Калібрування моделі попиту реалізується шляхом порівняння розрахованих значень (наприклад, інтенсивності транспортних і пасажирських потоків) із даними, що отримані в результаті натурних досліджень. У процесі калібрування необхідно досягти максимальної їх близькості.

Для калібрування попиту на ІТ використовуються значення інтенсивності транспортних потоків на ключових перехрестях міста, що були визначені при натурних дослідженнях у 2012 – 2015 р. В процесі калібрування ІТ також перевіряються параметри CR-функції на основі порівняння натурних і розрахованих швидкостей транспортних потоків на перегонах ВДМ.

Для калібрування попиту на ГТ використовуються значення пасажиропотоків на маршрутах і перегонах (тобто, пасажиропотік на усіх маршрутах, що проїжджають через визначений перегін вулиці). При цьому обсяги пасажиропотоків на кожному маршруті встановлюються за табличним методом [11]. Щоб оцінити адекватність моделі попиту на ІТ та ГТ, а отже, і транспортної моделі міста загалом, використовуються такі статистичні критерії, як середня абсолютна і відносна помилка та коефіцієнт кореляції.

Результатом створення транспортної моделі міста є встановлення різноманітної кількості даних та показників функціонування транспортної системи міста, які можна виводити у графічній і табличній формах в інтерфейсі програмного середовища. До них найперше належать дані про інтенсивність ТП на кожному елементі ВДМ, їх завантаженість, тривалість руху у «вільній» та «навантаженої» мережі, показники маршрутної мережі громадського транспорту (експлуатаційна швидкість, тривалість руху між зупинками, кількість пасажирів, що виходять та заходять на зупинках для кожного маршруту і загалом) тощо.

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
	Автовокзал	Е	ДЕ	696

Продовження таблиці 4.2

Напрямок руху	Назва зупинного пункту	Скорочена назва	Назва перегону між зупинками	Довжина, м
від центру	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 I 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.

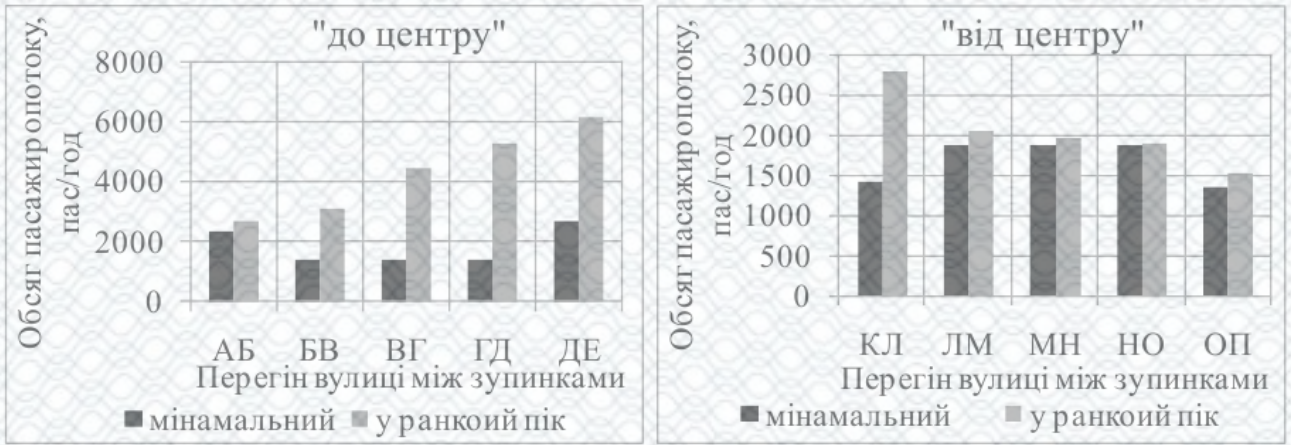


Рисунок 4.3 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм ІІ у ранковий пік

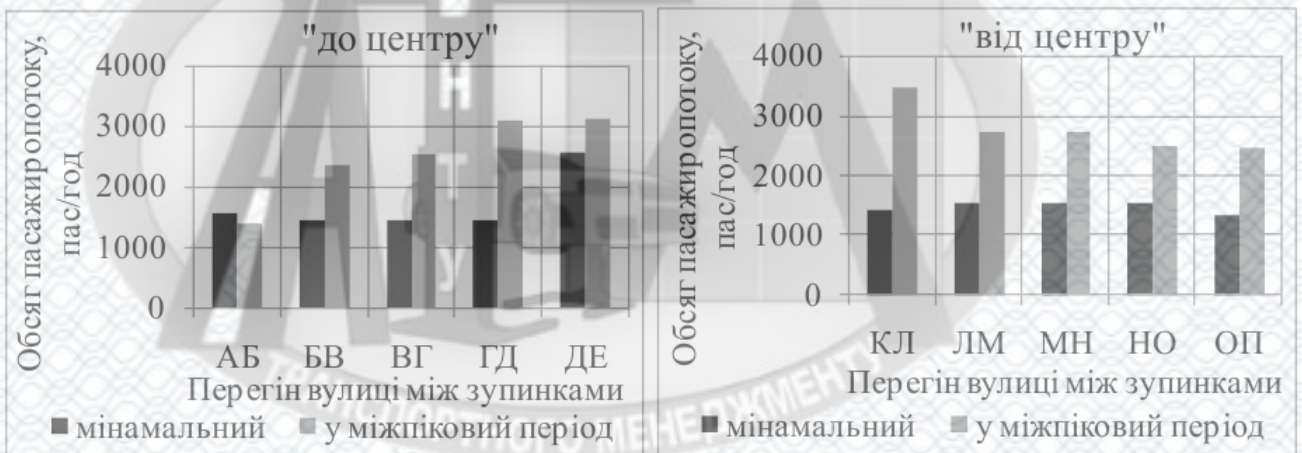


Рисунок 4.4 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм ІІ у непіковий період

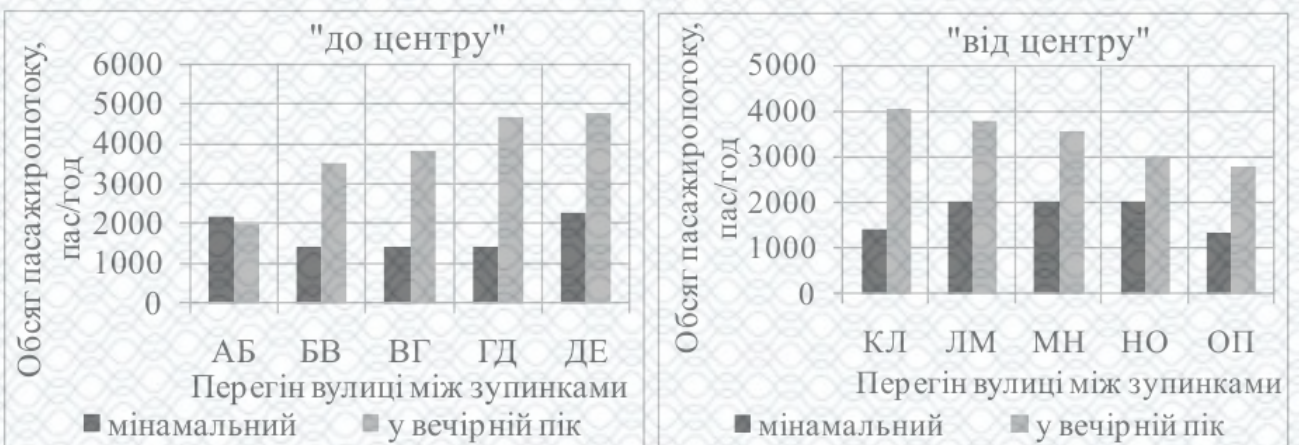


Рисунок 4.5 – Доцільність впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць за критерієм ІІ у вечірній пік

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. 2.4. 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 шляхи 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 пропускної здатності для неперіоритетного потоку.

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

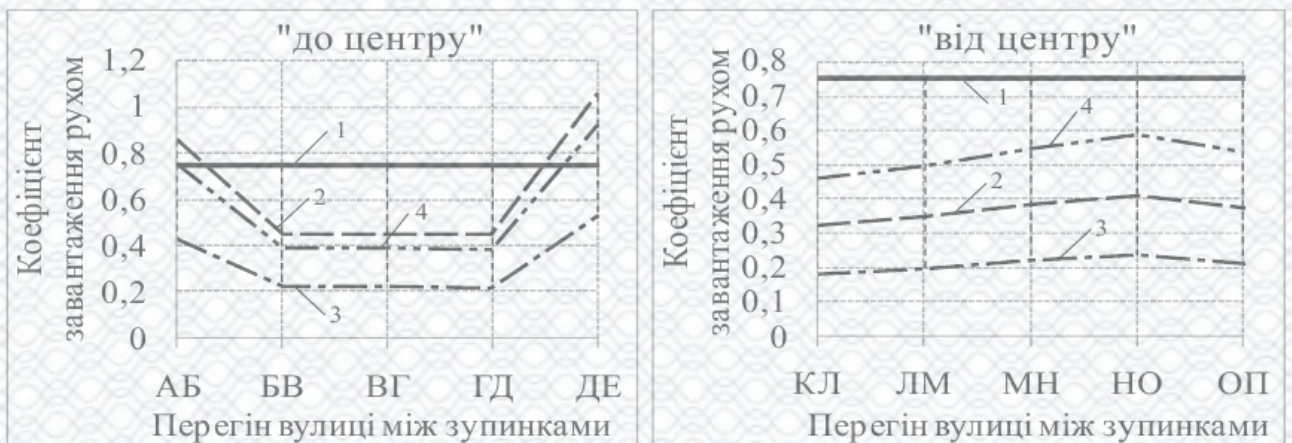


Рисунок 4.6 – Доцільність впровадження спеціальних смуг за критерієм ПІ в напрямку «до центру» та «від центру»: 1 – верхня межа допустимої області завантаження на неперіоритетних смугах; 2 – ранковий пік, 3 – непіковий період; 4 – вечірній пік

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 пришвидшення 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/с²;

k – сповільнення, м/с².

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.

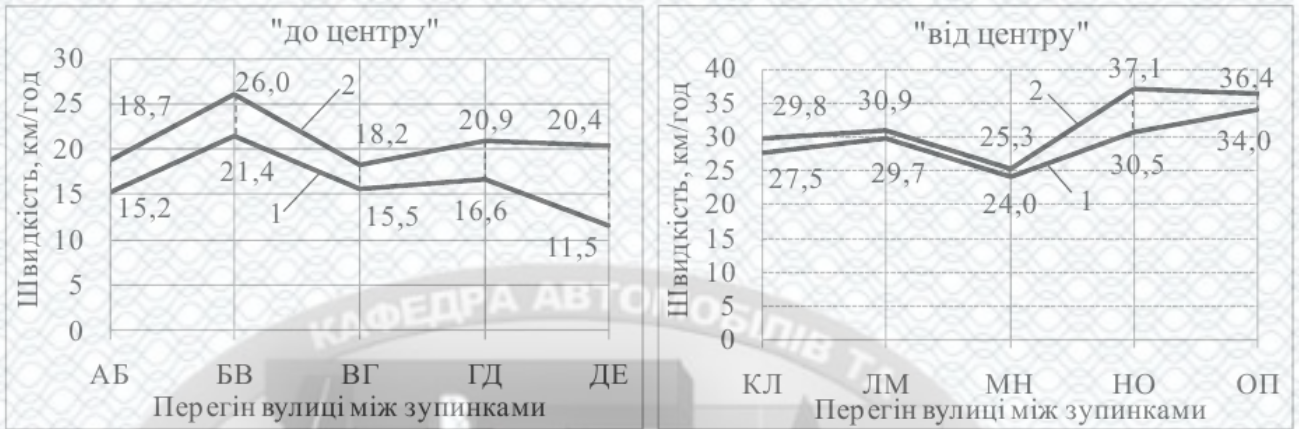


Рисунок 4.7 – Експлуатаційна швидкість автобуса в ранковий пік: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг

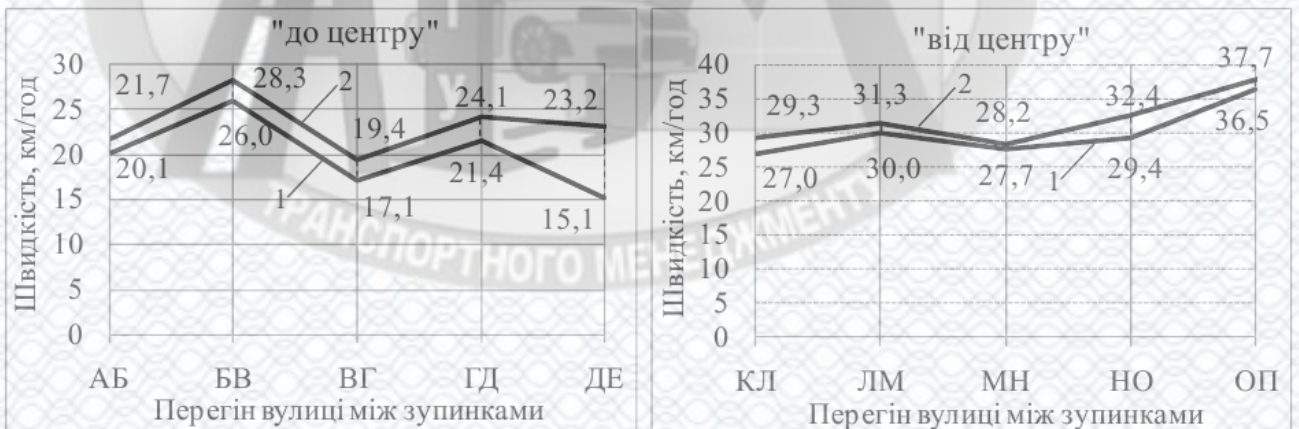


Рисунок 4.8 – Експлуатаційна швидкість автобуса в непіковий період: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг

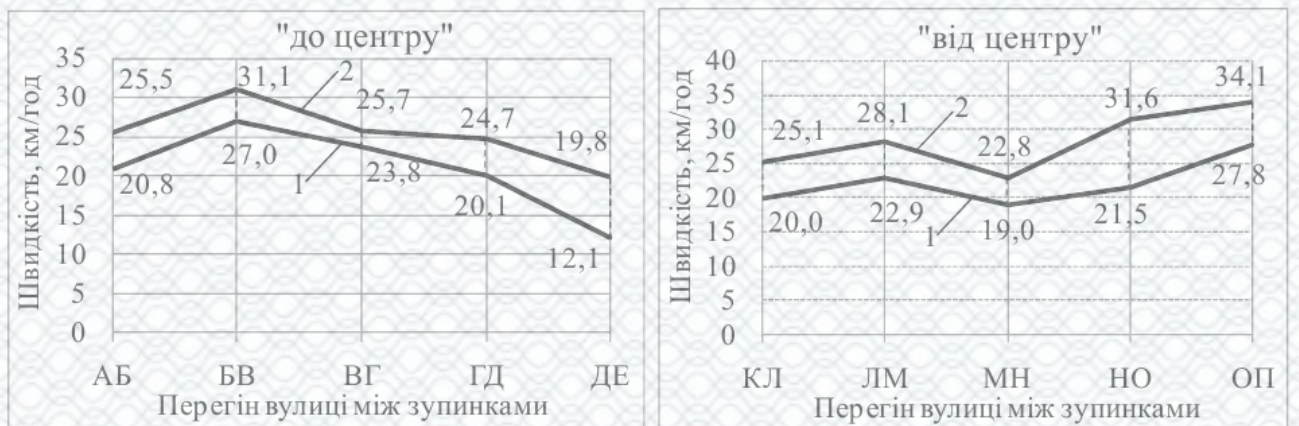


Рисунок 4.9 – Експлуатаційна швидкість автобуса у вечірній пік: 1 – відсутність спеціальних смуг; 2 – наявність спеціальних смуг

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
Критерій II	ранковий пік	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	непик. період	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Критерій III	ранковий пік	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1
	непик. період	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	вечірній пік	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
Експлуатаційна швидкість	ранковий пік	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
	непик. період	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
	вечірній пік	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

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 Аналіз умов праці

В даній роботі розглядаються умови праці при виконанні роботи. 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.

5.2 Організаційно-технічні рішення щодо забезпечення безпечної роботи

5.2.1 Електробезпека

В даному приміщенні наявні такі небезпечні фактори:

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

Виходячи з перелічених факторів згідно ГОСТ 2.1.030-81 вибираємо спосіб захисту – занулення.

Вимоги до електрообладнання:

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

Розрахунок занулення

Живлення обладнання здійснюється від трифазної мережі з заземленою нейтраллю. Потужність обладнання до 4 кВт. Розрахункова, схема занулення зображена на рис.1. Розрахунковий трифазний струм знаходимо за формулою:

$$I_P = \frac{P_n}{\sqrt{3} \cdot U_{л}}, \quad (5.1)$$

де P_n – потужність електродвигуна, кВт;

$U_{л}$ – лінійна потужність мережі, $U_{л} = 380$ В.

$$I_p = \frac{4000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 6.08 \text{ (A)}.$$

Приймаємо три одножильних проводи з міді поперечним перерізом $1,0 \text{ мм}^2$, які прокладені в одній трубі і для яких струмове навантаження $I = 15 \text{ А}$.

Визначаємо номінальний струм плавких вставок F_2 . Пусковий струм електродвигуна мод. А02-41-4.

$$I_n / I_p = 6.5,$$

$$I_n = 6.5 \cdot I_p;$$

$$I_n = 6.5 \cdot I_p = 6.5 \cdot 6.08 = 39.52 \text{ (A)}.$$

Розрахунковий номінальний струм плавкої вставки згідно наведеної формули $\alpha = 2.5 \text{ (A)}$:

$$I_{nc} = I_{ny} / \alpha; \tag{5.2}$$

$$I_{nc2} = 39.52 / 2.5 = 15.8 \text{ (A)}.$$

За шкалою номінальних струмів вибираємо плавку вставку з номінальним струмом 16 А .

Так як у нас загальне навантаження мережі менше $P = 18 \text{ кВа}$, відстані від ТП до місця підключення $l_1 = 100 \text{ м}$, відстань лінії $l_2 = 5 \text{ м}$. Приймаємо масляний трансформатор потужністю $P = 25 \text{ кВа}$, первинною напругою $U = 6 \text{ кВ}$, з'єднання обмотки D/Y_n (трикутник/зірка з нульовим проводом, розрахунковим опором $Z_{T/3} = 0.302 \text{ Ом}$).

Визначаємо робочий струм лінії:

$$I_p = \frac{25000}{\sqrt{3} \cdot 380} = 22 \text{ (A)}.$$

Приймаємо для лінії 4-ри жильний алюмінієвий кабель, що прокладений у повітрі поперечний переріз фазових жил якого $S = 4.0 \text{ мм}^2$, для якого допустиме струмове навантаження $I_{\text{д}} = 27 \text{ А}$ (рис. 5.1).

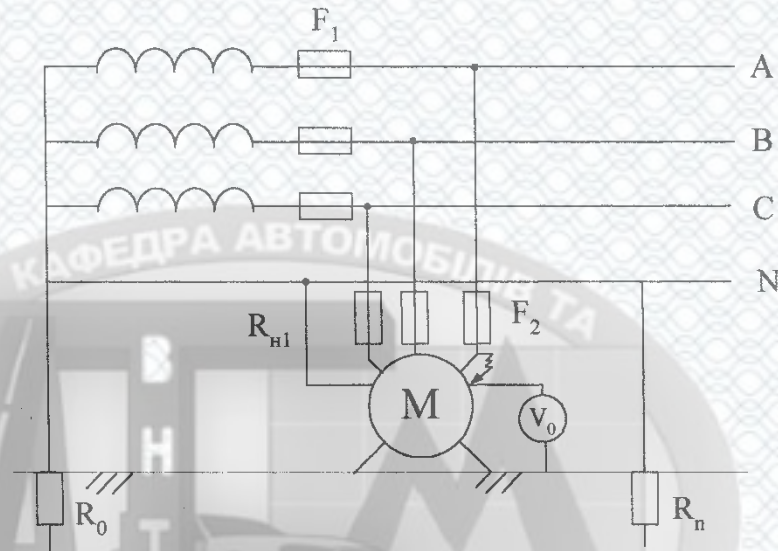


Рисунок 5.1 – Розрахункова схема занулення: F_1 , F_2 - плавкі вставки

За наведеною формулою визначаємо активний опір фазових проводів.

$$R_{\phi} = \sum_{i=1}^n \frac{\rho_i \cdot l_i}{S_i}, \quad (5.3)$$

де i – номер ділянки проводу;

n – кількість ділянок, шт;

l - довжина ділянки, м;

S – площа поперечного перерізу, мм^2 .

Для міді $\rho = 0.018 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$; для алюмінію - $0.028 \text{ Ом} \cdot \text{мм}^2/\text{м}$;

$$R_{\phi} = \frac{0.018 \cdot 5}{1} + \frac{0.028 \cdot 100}{4} = 0.79 \text{ Ом.}$$

Значення індуктивного опору повітряної лінії $X_1 = 0,6$ Ом/км, та внутрішньої $X_2 = 0,3$ Ом/км. Індуктивний опір петлі “фаза-нуль”:

$$X_n = 2 \cdot X_1 \cdot l_1 + 2 \cdot X_2 \cdot l_2, \text{ Ом} \quad (5.4)$$

$$X_n = 2 \cdot (0,6 \cdot 0,1 + 0,3 \cdot 0,005) = 0,123 \text{ Ом.}$$

Враховуючи вимоги ПУЕ, що $R_n \geq 2 \cdot R_{cp}$ приймаємо поперечний переріз нульових проводів $S_{н1} = 4 \text{ мм}^2$, $S_{н2} = 1 \text{ мм}^2$. активний опір нульових проводів:

$$R_n = \frac{0,018 \cdot 5}{1} + \frac{0,028 \cdot 100}{4} = 0,79 \text{ (Ом).}$$

Комплексний опір проводів визначаємо за формулою:

$$Z_n = \sqrt{(R_\phi + R_n)^2 + X_n^2}, \text{ Ом}$$

$$Z_n = \sqrt{(0,79 + 0,79)^2 + 0,123^2} = 1,58, \text{ Ом.}$$

Струм короткого замикання визначаємо за формулою:

$$I_k = \frac{U_\phi}{Z_m / 3 + Z_n}, \quad (5.5)$$

$$I_k = \frac{220}{0,302 + 1,58} = 116,9 \text{ (А.)}$$

Перевіряємо умову вимоги (для плавких вставок):

$$\frac{I_k}{I_n} \geq 3,0,$$

$$\frac{116.9}{16} = 7.3 > 3.0 .$$

Умова виконується, тобто гарантує спрацювання захисту. Визначаємо максимальну напругу дотику:

$$U_{\partial} = I_k \cdot Z_n = I_k \cdot \sqrt{R_n^2 + X_n^2}, [\text{В}],$$

$$U_{\partial} \leq U_{\text{зр}}, [\text{В}].$$

Враховуючи, що індуктивний опір нульового проводу дорівнює половині індуктивного опору петлі фаза-нуль:

$$X_n = X_n / 2 = 0.123 / 2 = 0.0615 (\text{Ом}).$$

$$Z_n \cdot \sqrt{0.79^2 + 0.0615^2} = 0.792 (\text{Ом}).$$

$$U_{\partial} = 116.9 \cdot 0.792 = 92.6 (\text{В}).$$

У цьому випадку напруга дотику перевищує граничне допустимий рівень $U_{\text{гр}} = 36 \text{ В}$ і умова безпеки не виконується, а для забезпечення цієї умови необхідне повторне заземлення нульового проводу:

$$R_n \leq \frac{U_{\text{зр}} \cdot R_0}{I_k \cdot Z_n - U_{\text{зр}}}, \quad (5.6)$$

де R_0 – опір заземлення нейтралі трансформатора, Ом ($R_0 = 4 \text{ Ом}$).

$$R_n = \frac{36 \cdot 4}{92.6 - 36} = 2.54 (\text{Ом}).$$

Розрахунковий питомий опір ґрунту знаходимо за формулою:

$$\rho = \rho_g \cdot \psi, \quad (5.7)$$

де ρ_g – питомий опір ґрунту ділянки виробництва, Ом·м;

ψ – кліматичний коефіцієнт.

Для суглинку: $\rho_B = 30$ Ом·м, $\psi = 1.2$. $\rho = 30 \cdot 1.2 = 36$ Ом·м.

Для вертикальних електродів використовуємо сталеві стержні $d = 14$ мм та довжиною $l = 5$ м, відповідно глибиною закладання $h = 0.8$ м.

$$t = l/2 + h, \quad (5.8)$$

$$t = 5/2 + 0.8 = 3.3 \text{ (м)}.$$

Опір одного вертикального електрода визначаємо за формулою:

$$R_g = 0.366 \cdot \frac{\rho}{l} \cdot \left(\lg \frac{2l}{d} + 0.5 \cdot \lg \frac{4t+l}{4t-l} \right), \quad (5.9)$$

$$R_g = 0.366 \cdot \frac{36}{5} \cdot \left(\lg \frac{2 \cdot 5}{0.014} + 0.5 \cdot \lg \frac{4 \cdot 3.3 + 5}{4 \cdot 3.3 - 5} \right) = 7.88 \text{ (Ом)}.$$

Визначимо кількість вертикальних електродів, що розташовуються в лінію подаючи розрахунок у більш зручному вигляді:

$$n \cdot \eta_g = R_g / R_n, \quad (5.10)$$

$$n \cdot \eta_g = 7.98 / 2.54 = 3.1417.$$

При $n = 4$, $a / l = 1$, $\eta_B = 0.73$,

$$n \cdot \eta_B = 4 \cdot 0.73 = 2.92 \approx 3.1417.$$

Таким чином потрібно встановити 4 вертикальних електроди на відстані $a = 5$ м один від одного.

Для горизонтальних з'єднаних штаб використовуємо смугу площею поперечного перерізу $S_{ш} = 48$ мм, при товщині $b = 4$ мм. Довжина штаби при розміщенні електродів в ряд:

$$l_{ш} = 1.05 \cdot a \cdot (n - 1), \quad (5.11)$$

$$l_{ш} = 1.05 \cdot 5 \cdot (4 - 1) = 15.75 \text{ (м)}.$$

Опір з'єднувальної штаби знаходимо за формулою:

$$R_{ш} = 0.366 \cdot \frac{\rho}{l_{ш}} \lg \frac{2l_{ш}^2}{b \cdot t}, \quad (5.12)$$

$$R_{ш} = 0.366 \cdot \frac{36}{15.75} \lg \frac{2 \cdot 15.75^2}{0.004 \cdot 3.3} = 3.82, \text{ (Ом)}.$$

Опір повторного заземлення нульового проводу знаходимо за формулою:

$$R_n = \frac{R_B \cdot R_{ш}}{R_B \cdot \eta_{ш} + R_{ш} \cdot n \cdot \eta_B}, \quad (5.13)$$

де $\eta_{ш}$ – коефіцієнт взаємного екранування з'єднувальної штаби,

$$R_n = \frac{7.98 \cdot 3.82}{7.98 \cdot 0.77 + 3.82 \cdot 4 \cdot 0.73} = 1.763, \text{ (Ом)}.$$

Напруга дотику при $R_n = 1.763$ Ом визначається за формулою:

$$U_{\partial} = I_k \cdot Z_n \cdot \frac{R_n}{R_0 + R_n}, \quad (5.14)$$

$$U_{\partial} = 116.9 \cdot 0.792 \cdot \frac{1.763}{4 + 1.763} = 28.3, (B)$$

$B < 36 B$

Умова виконується.

5.3 Організаційно-технічні рішення з гігієни праці та виробничої санітарії

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

5.3.1 Санітарні вимоги до приміщення

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 $V=12,8 \text{ м}^3$.

5.3.2 Мікроклімат

Показниками, які характеризують мікроклімат являються:

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

Категорія робіт: легка 1б. 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 робо-

чих місцях не повинна перевищувати 100 Вт/м² 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	
			max.		min.						
			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.

5.3.3 Опалення приміщення

В холодну пору року в приміщенні застосовується комбіноване опалення.

Системи опалення, вид і параметри теплоносія передбачаються з урахуванням теплової інерції огорожуючи 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.

5.3.4 Вентиляція

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.

5.3.5 Освітлення

Освітлення в приміщенні аудиторії приводиться по таблиці 2 СНиП II-4-79. Нормування освітленості і КЕО 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%.

5.3.6 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 частотими									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.

5.3.7 Вібраційна безпека (ГОСТ 12.1.012-90)

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.

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:

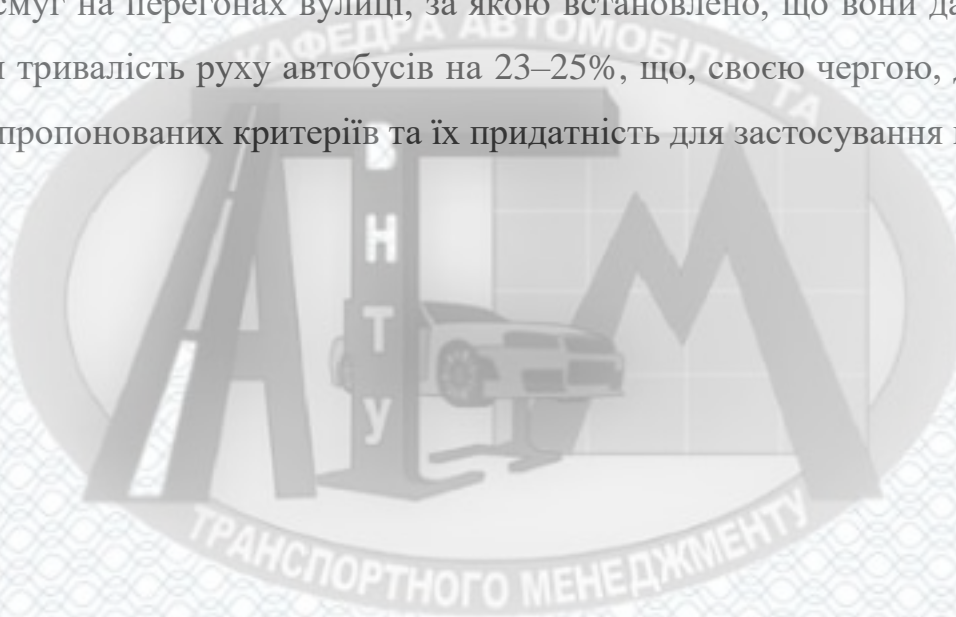
1. Обґрунтовано, що як основний критерій впровадження спеціальних смуг на перегонах вулиць доцільно використовувати не інтенсивність руху автобусів, а мінімальний обсяг пасажиропотоку. Визначено діапазон його значень (від 960– 5434 пас./год) і запропоновано емпіричну формулу для розрахунку цього показника 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 Гіпер- Ер-

ланга 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 ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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. Біліченко В.В. Розробка транспортної моделі міста / В.В. Біліченко, С.В. Цимбал, О.В. Цимбал, М.О. Каськун // Всеукраїнська науково-практична інтернет-конференція «Молодь в науці: дослідження, проблеми, перспективи», – Вінниця: ВНТУ, 2020, Режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/mn/mn2021/schedConf/presentations>
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 хвилі» / 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 дорожным движением. Пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

13. Клишковштейн Г.И. Организация дорожного движения: учеб. для вузов. / Г.И. Клишковштейн, 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. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие. / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 208 с.

19. Петров В.В. Автоматизированные системы управления дорожным движением в городах / В.В. Петров: Учебное пособие. – Омск: Изд-во СибАДИ, 2007. – 104 с.

20. Печерский М.П. Автоматизированные системы управления движением в городах / М.П. Печерский, Б.Г. Хорович. – М.: Транспорт, 1979. – 176 с.

21. Повзун А.И. Об обеспечении приоритетного проезда маршрутного пассажирского транспорта на регулируемых перекрестках / А.И. Повзун, С.В. Кононыхин, Е.В. Руденков // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. Науковий журнал. – 2012. – №1. – С. 23–28.

22. Полищук В.П. Проектирование автоматизированных систем управления на

автомобильных дорогах / В.П. Полищук. – К.: УМК ВО, 1990. – 55 с.

23. 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.

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

25. 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.

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

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

28. 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.

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

30. 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.

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

32. 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.

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

34. Шештокас В.В. Город и транспорт / В.В. Шештокас. – М.: Стройиздат. – 1984. – 176 с.
35. Шелков Ю.Д. Организация дорожного движения в городах: Методическое пособие. / Ю.Д. Шелков. – М.: Научно-исследовательский центр ГАИ МВД России, 1995. – 143 с.
36. 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.
37. 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.
38. Хомяк Я.В. Организация дорожного движения / Я.В. Хомяк. – К.: Вища школа, 1986. – 270 с.
39. Якимов М.Р. Транспортное планирование: создание транспортных моделей городов: монография / М.Р. Якимов. – М.: Логос, 2013. – 188 с.
40. Andrews Larry C. Special functions of mathematics for engineers / Larry C. Andrews. – 2nd. ed. New York: McGraw-Hill, 1992. – 454 p.
41. Beispielsammlung zu den Richtlinien für Lichtsignalanlagen / Forschungsgesellschaft für Straßen - und Verkehrswesen. 2010. – 92.
42. Bus rapid transit. Planning guide. – New York.: 3ed edition, 2007. – 825 p.
43. 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.
44. 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.
45. Gilbert A. Bus rapid transit: Is Transmilenio a miracle cure? / A. Gilbert // Transport Reviews. – 2008. Volume 28, No. 4. – P. 439–467.
46. 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.

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

48. 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.

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

50. 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.

51. 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.

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

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

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

55. 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.

56. 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.

57. *Vehicle occupancy determinators* / Arizona Department of Transportation. Arizona, 1989. – 133 p.

58. Vehicle occupancy study / City of Lincoln, Nebraska, 2006. – 80 p.
59. Vuchic R. Vukan. Urban transit systems and Technology / Vukan R. Vuchic. 2007. – 150 p.





ДОДАТКИ