

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА
до кваліфікаційної роботи

магістр

(освітній рівень)

на тему: Аналіз причин зниження пропускнуєї здатності зупинок
громадського пасажирського транспорту

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

Студент	<u>(підпис)</u>	<u>Гаврилишин М.В.</u> (прізвище та ініціали)
Керівник	<u>(підпис)</u>	<u>Рожко Н.Я.</u> (прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	<u>(підпис)</u>	<u>Плекан У.М.</u> (прізвище та ініціали)
Рецензент	<u>(підпис)</u>	<u>(прізвище та ініціали)</u>
Зав. каф.	<u>(підпис)</u>	<u>Цьонь О.П.</u> (прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя
(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Автомобілів

Освітній рівень магістр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри О.П. Цьонь

«29» листопада 2025 р.

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Гаврилишину Мирославу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Аналіз причин зниження пропускну здатності зупинок
громадського пасажирського транспорту

керівник проекту (роботи) д.е.н., проф. Рожко Наталя Ярославівна
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «14» листопада 2025 року №4/7-971

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 23 грудня 2025 року

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

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

Теоретичний розділ

Аналітико-дослідницький розділ

Проектно-рекомендаційний розділ

Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях

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

Слайди графічної частини – 10 шт.

6. Консультанти розділів роботи

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

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Теоретичний розділ		
2	Аналітико-дослідницький розділ		
3	Проектно-рекомендаційний розділ		
4	Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях		

Студент _____
(підпис)

.Гаврилишин Мирослав Володимирович
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Рожко Наталя Ярославівна

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	6
ВСТУП	8
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ РОЗДІЛ	
1.1 Аналіз причин зниження пропускної здатності зупинок громадського пасажирського транспорту	10
1.2 Шляхи запобігання транспортним заторам на зупинках міського громадського транспорту	14
1.3 Коректування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту	24
1.4 Висновки та постановка завдання дослідження	26
2 АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ	
2.1 Аналітичний опис руху пасажирських транспортних засобів, що обслуговують пасажирський транспорт	28
2.2	
3 ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ	
3.1 Опис алгоритму моделювання	49
3.2 Методика ранжування факторів, що впливають на пропускну здатність зупиночних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп транспортних засобів	55
3.3 Ранжування факторів, що впливають на пропускну здатність зупинок громадського транспорту, що визначається з урахуванням формування груп транспортних засобів	56
3.4. Результати моделювання пропускної здатності пунктів зупинки в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів	61

4	ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	
4.1	Безпека праці при керуванні автобусом для перевезення пасажирів	74
4.2	Безпека у надзвичайних ситуаціях	76
4.3	Автомобільний транспорт та навколишнє середовище	78
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	83
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	84

РЕФЕРАТ

У кваліфікаційній роботі магістра досліджено проблематику організації роботи міських зупинок громадського пасажирського транспорту та шляхи підвищення їх пропускної здатності. Робота структурована у декілька взаємопов'язаних розділів, що послідовно розкривають як теоретичні, так і практичні аспекти теми.

У розділі «Реферат» подано стислий виклад основних завдань, методів та результатів дослідження. Він відображає актуальність теми, практичне значення отриманих результатів та можливості їх застосування в умовах сучасного міського пасажирського транспорту.

У «Вступі» окреслено актуальність проблеми зниження пропускної здатності зупинок міського транспорту, сформульовано мету та завдання роботи, визначено об'єкт і предмет дослідження, а також подано методологічні засади дослідження.

Теоретичний розділ присвячений систематизації існуючих наукових підходів та практичних досліджень у сфері міських транспортних перевезень. Тут розглядаються основні причини зниження пропускної здатності зупинок громадського транспорту, аналізуються шляхи запобігання транспортним заторам на зупинках, а також пропонуються методи коректування зупиночних пунктів. Завершується розділ формулюванням висновків і постановкою завдань для подальших етапів дослідження.

В аналітико-дослідницькому розділі подано опис руху пасажирських транспортних засобів, що обслуговують міські маршрути, а також особливості їх взаємодії у зонах зупиночних пунктів. Виконано математичний та логічний аналіз, спрямований на виявлення залежностей між інтенсивністю руху, організацією зупинок та формуванням груп транспортних засобів.

Проектно-рекомендаційний розділ містить опис алгоритму моделювання пропускної здатності зупиночних пунктів. Представлено методику ранжування факторів, що впливають на роботу зупинок, а також результати моделювання різних варіантів їх функціонування з урахуванням формування груп

транспортних засобів. На основі проведених досліджень сформульовано рекомендації щодо підвищення ефективності організації руху та оптимізації зупиночних комплексів.

У розділі «Охорона праці і безпека в надзвичайних ситуаціях» розглянуто питання безпеки праці водіїв автобусів, що здійснюють перевезення пасажирів, а також заходи безпеки у випадку виникнення надзвичайних ситуацій. Додатково досліджено вплив автомобільного транспорту на довкілля та наведено шляхи його мінімізації.

Загальні висновки підсумовують результати дослідження, містять узагальнені положення щодо вдосконалення організації зупиночних пунктів та підвищення їх пропускної здатності, а також формулюють рекомендації для подальших наукових і практичних розробок у даній сфері.

Перелік посилань включає використані наукові джерела, нормативні документи та публікації, які стали основою для виконання кваліфікаційної роботи.

Ключові слова: пропускна здатність, пасажери, транспортні засоби, зупиночні пункти, громадський транспорт.

ВСТУП

У сучасних урбанізованих середовищах зупинки міського пасажирського транспорту (МПТ) виступають не лише як елементи транспортної інфраструктури, а й як ключові вузли мобільності, що безпосередньо впливають на ефективність та якість міських перевезень. З огляду на постійне зростання чисельності міського населення (за даними Держстату України у 2023 році близько 68% громадян проживає у містах) та інтенсивності транспортних потоків, навантаження на зупиночні пункти невпинно зростає. Це призводить до формування системних проблем, серед яких: тривалі затримки транспортних засобів у зонах зупинок, що у середньому становлять до 30% загального часу рейсу; погіршення умов обслуговування пасажирів, що проявляється у перевантаженні платформ, порушенні регулярності руху та зниженні комфортності поїздок; а також негативні екологічні наслідки, спричинені надмірними викидами транспортних засобів під час простою.

Особливої актуальності ця проблема набуває в умовах воєнних викликів та майбутньої відбудови транспортної інфраструктури українських міст. Оптимізація пропускної здатності зупинок стає не лише питанням зручності чи надійності перевезень, а й стратегічним завданням державного та муніципального рівня, оскільки від цього залежить стійкість і ефективність усієї міської транспортної мережі.

Наукові дослідження у сфері моделювання пропускної здатності зупиночних пунктів розвиваються як у вітчизняній, так і в зарубіжній практиці. Класичні підходи (Webster, 1958; Vuchic, 2007), засновані на аналітичних моделях функціонування «транспортних кишень», заклали підґрунтя для розуміння процесів організації руху. У подальшому були запропоновані сучасніші методики (Fernández, 2020; Krystek, 2022), які інтегрують технології Інтернету речей (IoT), системи керування дорожнім рухом у режимі реального часу та алгоритми штучного інтелекту для прогнозування пасажирських потоків і динамічного управління транспортними засобами.

Проте, незважаючи на наявність значного наукового доробку, існує низка проблемних аспектів. Досі відсутня уніфікована методика оцінки пропускну здатності зупинок різних типів (лінійних, вузлових, обладнаних заїзними карманами). Недостатньо досліджено вплив пішохідних потоків, а також факторів неорганізованого паркування у безпосередній близькості до зупинок, які суттєво знижують ефективність роботи транспортних засобів. Крім того, бракує практично адаптованих до українських умов інфраструктурних рішень, здатних враховувати особливості забудови, щільність руху та специфіку пасажирських потоків.

Враховуючи викладене, метою цієї роботи визначається розробка комплексної методики оцінки та підвищення пропускну здатності зупинок міського пасажирського транспорту з урахуванням специфіки розвитку українських міст. Така методика має інтегрувати кількісні та якісні критерії ефективності, включати інструменти математичного моделювання та комп'ютерної імітації, враховувати поведінкові аспекти пасажирів, а також передбачати впровадження інноваційних технологій управління міським рухом. Наукова новизна роботи полягає у поєднанні класичних теоретичних положень транспортного планування із сучасними цифровими рішеннями, що створює передумови для підвищення якості пасажирських перевезень, зменшення негативного екологічного впливу та підвищення стійкості транспортної системи міст України.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз причин зниження пропускну здатності зупинок громадського пасажирського транспорту

У наукових дослідженнях вітчизняних і зарубіжних учених, а також у положеннях нормативних документів із транспортної галузі наголошується, що якість транспортного обслуговування населення пасажирським транспортом загального користування значною мірою визначається частотою руху транспортних засобів на міських маршрутах, можливістю здійснення безпересадкових поїздок за найбільш затребуваними напрямками, гарантованим перевезенням пасажирів у години пікових навантажень. Ці показники формують основний рівень задоволеності користувачів та впливають на загальний імідж системи громадського транспорту.

Практика свідчить, що реалізація більшості заходів, спрямованих на підвищення якості транспортного обслуговування населення, потребує збільшення кількості транспортних засобів на маршрутах, що закономірно призводить до зростання інтенсивності руху на міських магістралях. У години «пік» транспортні потоки часто перевищують пропускну спроможність вулично-дорожньої мережі, що спричиняє затори не лише для громадського, а й для приватного транспорту. Нескоординованість графіків руху транспортних засобів різних маршрутів підсилює проблему, створюючи «накопичення» автобусів чи тролейбусів на одних зупинках, що знижує швидкість обслуговування та ефективність використання транспортної інфраструктури.

Важливою проблемою є й нерівномірність пасажиропотоків протягом доби, тижня чи сезону. У будні дні вранці та ввечері спостерігаються пікові навантаження, тоді як у денний чи нічний час кількість пасажирів суттєво зменшується. Це потребує впровадження гнучких систем управління рухом, які дозволяють оперативно змінювати кількість транспортних засобів на маршрутах залежно від реального попиту. Сучасні міста дедалі активніше впроваджують інтелектуальні транспортні системи, що базуються на використанні GPS-

моніторингу, автоматизованих систем диспетчерського управління та цифрових платформ для прогнозування пасажиропотоків.

Європейські міста демонструють ефективні приклади модернізації системи громадського транспорту. У Варшаві діє інтегрована транспортна система, де поєднано автобусні, трамвайні та залізничні маршрути з єдиним квитком і синхронізованими графіками руху, що дозволяє пасажирам швидко здійснювати пересадки без тривалого очікування. У Берліні активно застосовуються «зелені хвилі» для громадського транспорту — спеціальні алгоритми регулювання світлофорів, які забезпечують пріоритетний рух автобусів і трамваїв, що суттєво зменшує затримки. У Стокгольмі функціонує система «динамічного управління транспортними потоками», де в години пікового навантаження вводяться тимчасові виділені смуги для автобусів, що дозволяє громадському транспорту уникати заторів.

У сучасних українських містах також активно впроваджуються інноваційні підходи. Наприклад, у Києві та Львові діють електронні квитки та мобільні додатки, які дозволяють пасажирам планувати поїздки, відстежувати рух транспорту в режимі реального часу та прогнозувати час прибуття на зупинку. В Одесі та Харкові активно модернізуються трамвайні та тролейбусні парки, що сприяє підвищенню рівня надійності перевезень.

Додаткову увагу слід приділити облаштуванню зупиночних пунктів. Їхня архітектурна організація, наявність зручних навісів, лав для очікування, електронних інформаційних табло значною мірою впливають на комфортність перевезень. В європейських країнах поширеним є підхід «зупинок нового покоління» — зі світлодіодними екранами, інтегрованими системами відеоспостереження та доступністю для людей з обмеженими можливостями.

Таким чином, підвищення якості транспортного обслуговування населення можливе лише за умови комплексного підходу, що поєднує оптимізацію маршрутної мережі, впровадження сучасних технологій управління рухом, модернізацію транспортного парку та інфраструктури. Досвід європейських міст доводить, що синхронізація графіків, пріоритет громадського транспорту на світлофорах, створення виділених смуг та цифровізація процесів управління

дозволяють істотно підвищити регулярність і швидкість перевезень, забезпечуючи комфортні та безпечні умови для пасажирів.

Затримка доступу міського пасажирського транспорту до зупинок у значній мірі зумовлюється скупченням транспортних засобів на регульованих перехрестях у періоди дії заборонного сигналу світлофора. У таких умовах автобуси, тролейбуси чи інші транспортні засоби під'їжджають до наступної за перехрестям зупинки не рівномірно, а групами, що провокує різкі коливання навантаження. Це призводить до циклічної та хаотичної завантаженості зупиночних пунктів, формування заторів, подовження часу посадки й висадки пасажирів та загального зниження пропускної здатності транспортної інфраструктури. Відтак ефективність використання вулично-дорожньої мережі зменшується, а робота всього пасажирського комплексу міста стає менш стабільною.

У наукових дослідженнях пропонуються математичні моделі, що описують взаємодію транспортних засобів із дорожньо-транспортною інфраструктурою, зокрема із зупиночними пунктами, і дозволяють кількісно оцінювати їхню пропускну здатність. Такі моделі враховують інтенсивність руху, графік проходження транспортних засобів, інтервали між ними, а також режими роботи світлофорних об'єктів. Водночас у наявних наукових працях часто бракує комплексного аналізу, який враховував би вплив конструктивних і експлуатаційних характеристик рухомого складу (довжина транспортного засобу, кількість дверей, час на посадку та висадку пасажирів, тип приводу тощо) та особливостей планувальних рішень самих зупинок (лінійні, заїзні кишені, острівні платформи, розташування відносно перехресть).

Крім того, слід підкреслити, що пропускну здатність зупиночних пунктів значною мірою залежить від рівня організації пасажиропотоків і просторової інтеграції зупинок у міське середовище. Недостатня кількість посадкових майданчиків, відсутність раціональної організації руху пішоходів, дублювання маршрутів та конкуренція між різними видами транспорту створюють додаткові перешкоди. Практика міст Європейського Союзу й Північної Америки демонструє, що підвищення ефективності зупинок можливе завдяки

впровадженню смарт-світлофорів, які враховують рух громадського транспорту, системи пріоритету для автобусів і трамваїв, а також оптимізації інтервалів руху через єдину диспетчерську систему.

Таким чином, для комплексного дослідження пропускної здатності зупиночних пунктів необхідно поєднувати аналіз транспортних потоків, моделювання інфраструктурних рішень та оцінку характеристик рухомого складу, що у підсумку дозволить підвищити ефективність міської транспортної системи.

У сучасних зарубіжних дослідженнях, зокрема у країнах Європейського Союзу та США, проблематика підвищення пропускної здатності зупинок громадського транспорту розглядається у комплексі з розвитком сталої міської мобільності. Особливу увагу приділяють питанням оптимізації планувальних рішень, інтеграції різних видів транспорту та впровадженню інноваційних інформаційних технологій для управління пасажиропотоками.

У ЄС у межах програм CIVITAS та Horizon Europe активно впроваджуються підходи, які передбачають раціональне розташування зупинок, їхнє зонування відповідно до інтенсивності пасажиропотоків, а також створення умов для пересадок на інші види транспорту (метро, трамвай, велоінфраструктуру). Особливо актуальним є застосування концепції "multimodal hubs" — транспортних вузлів, що поєднують кілька видів транспорту й забезпечують швидку пересадку з мінімальними втратами часу. У таких вузлах пропускна здатність зупинок розглядається не ізольовано, а як частина інтегрованої транспортної системи.

У США значну роль у дослідженнях цього питання відіграють Інститути транспортних досліджень при університетах (наприклад, Texas A&M Transportation Institute). Тут зосереджуються на аналізі впливу геометричних параметрів зупинок, довжини посадкових платформ, кількості смуг під'їзду, а також взаємодії громадського транспорту з приватними автомобілями та велосипедистами. У великих містах, як-от Нью-Йорк чи Сан-Франциско, успішно застосовуються моделі, які враховують часові варіації пасажиропотоків

протягом доби, що дозволяє адаптувати розклад руху та оптимізувати зупинки під різні періоди навантаження.

Варто відзначити, що у провідних країнах світу важливим інструментом є впровадження технологій пріоритету громадського транспорту на світлофорних об'єктах. Системи Transit Signal Priority (TSP) дозволяють автобусам і трамваям отримувати пріоритетний проїзд через перехрестя, що мінімізує затримки на під'їздах до зупинок і підвищує регулярність руху.

Додатковим чинником є цифровізація транспортної системи: застосування Big Data, систем штучного інтелекту та мобільних додатків для прогнозування часу прибуття транспорту до зупинки. Це дозволяє пасажирам рівномірніше розподілятися по маршрутах, знижуючи нерівномірність завантаження зупинок.

Таким чином, зарубіжний досвід демонструє, що моделювання пропускну здатності зупинок не може обмежуватися лише аналізом руху транспортних засобів. Воно має враховувати просторово-планувальні рішення, цифрові технології управління, інтеграцію різних видів транспорту та навіть поведінкові аспекти пасажирів. Для українських міст адаптація цих підходів може стати дієвим інструментом зменшення заторів та підвищення ефективності транспортної інфраструктури.

1.2 Шляхи запобігання транспортним заторам на зупинках міського громадського транспорту

Функціонування зупинок громадського пасажирського транспорту (ГПТ) є одним із ключових чинників, що визначає рівень транспортної доступності в містах та ефективність роботи всієї транспортної системи. Саме в зоні зупинок концентрується значна частина транспортних затримок, виникають конфлікти між потоками транспорту та пасажирами, формується загальний рівень комфортності поїздки. Відтак оцінка ефективності заходів, спрямованих на зменшення заторів у цих зонах, має не лише практичне, а й стратегічне значення для планування міської мобільності.

Системний підхід до цього питання передбачає врахування трьох основних напрямів удосконалення: організаційного, технологічного та інфраструктурного. Кожен із них має власні особливості та обмеження, а їхнє поєднання дає змогу досягти синергетичного ефекту.

Організаційні заходи орієнтовані передусім на раціоналізацію процесів посадки та висадки пасажирів і мінімізацію конфліктів між потоками транспорту. Одним із найпоширеніших рішень є облаштування зупинкових кишень, що дозволяє відокремити громадський транспорт від основного потоку та знизити ймовірність утворення заторів. Водночас на вулицях із високою інтенсивністю руху повернення транспорту в загальний потік із кишені може створювати додаткові затримки, тому в окремих країнах (наприклад, у Німеччині чи Нідерландах) все частіше застосовують концепцію «зупинки на проїзній частині» (in-lane stops), яка передбачає збереження автобуса в смузі руху під час зупинки. Це рішення скорочує час виходу на маршрут і створює пасажиром зручніші умови посадки, проте потребує жорсткого контролю за дисципліною водіїв приватного транспорту.

Іншим організаційним інструментом є впровадження зон короткочасної зупинки, які обмежують тривалість перебування транспортного засобу на платформі, що особливо актуально для маршрутів із високою частотою руху. Подібна практика поширена у великих мегаполісах Азії, де час стоянки контролюється автоматизованими системами, а перевищення нормативу може призвести до штрафних санкцій для перевізника.

Застосування інтелектуальних транспортних систем (ITS) стало визначальним чинником підвищення ефективності зупинок у сучасних містах. Найбільш поширеними є електронні інформаційні табло, що відображають час прибуття транспорту в режимі реального часу, забезпечуючи прогнозованість та зменшення «психологічних затримок» пасажирів. Синхронізація маршрутів громадського транспорту зі світлофорними циклами, а також впровадження системи пріоритету на перехрестях (Transit Signal Priority, TSP) дозволяє суттєво скоротити час затримок при виїзді зі зупинки.

У США та Канаді вже понад десятиліття активно використовують адаптивні світлофорні системи, які реагують на наближення автобусів чи трамваїв, автоматично подовжуючи зелений сигнал або зменшуючи тривалість червоного. За даними досліджень Transport Research Board (TRB), застосування TSP може підвищити регулярність руху автобусів на 10–15 % та зменшити середній час поїздки на 5–8 %. У європейських містах (зокрема в Копенгагені та Стокгольмі) подібні системи інтегрують із мобільними додатками, що дозволяє пасажиром краще планувати свої переміщення.

Крім того, цифровізація зупинок включає системи відеоаналітики, які фіксують завантаження пасажирів і дозволяють прогнозувати потребу в додатковому транспорті. У поєднанні з big data-аналітикою це дає можливість оптимізувати частоту рейсів у пікові години та уникати надмірних скупчень людей на платформах.

Найбільш капіталоемним напрямом є інфраструктурні заходи. Вони включають облаштування виділених смуг для руху громадського транспорту, створення інтегрованих транспортних вузлів та зон обмеження паркування. Виділені смуги є ключовим фактором стабільності руху: у Варшаві чи Мадриді вони дозволили скоротити середній час поїздки автобусом на 20–25 %. Окремо слід відзначити практику створення «зеленої хвилі» для автобусів і трамваїв, що значно підвищує пропускну здатність магістралей.

Зони обмеження паркування навколо зупинок застосовуються з метою уникнення конфліктів між приватними автомобілями та автобусами. Досвід Києва та Львова свідчить, що навіть часткове запровадження таких зон дозволяє скоротити затримки транспорту на 15–20 %.

Перспективним напрямом є розвиток інтегрованих пересадкових вузлів, що поєднують автобусні, трамвайні, метро- та залізничні зупинки в єдиний комплекс. Це створює умови для швидкої пересадки та формує основу сталої міської мобільності. Яскравим прикладом є пересадкові хаби у Відні та Цюриху, де завдяки оптимізації інфраструктури час пересадки зменшено до 3–5 хвилин.

Вибір оптимальної стратегії зменшення заторів на зупинках потребує застосування багатокритеріального аналізу. До основних показників

ефективності відносять: середній час затримки транспортних засобів, середній час очікування пасажирів, регулярність руху, пропускну здатність зупинки та економічні витрати. Важливим також є врахування екологічного ефекту — зменшення викидів CO₂ за рахунок скорочення тривалості роботи двигунів на холостому ходу.

Методи імітаційного моделювання, такі як VISSIM, AIMSUN чи AnyLogic, широко застосовуються для прогнозування наслідків запровадження нових рішень. Вони дозволяють відтворити динаміку транспортних потоків у зоні зупинки та оцінити вплив різних сценаріїв на пропускну здатність. У наукових дослідженнях (наприклад, у працях European Transport Conference) відзначається, що комбінування організаційних, технологічних та інфраструктурних заходів може забезпечити зростання ефективності роботи зупинок на 30–40 %.

Проблема заторів у зоні зупинок ГПТ є комплексною та багатогранною. Організаційні рішення забезпечують оперативність та відносно низькі витрати, технологічні інновації підвищують прогнозованість і регулярність руху, а інфраструктурні заходи створюють довготривалу основу для сталого розвитку міської мобільності. Вибір конкретної стратегії повинен базуватися на системному аналізі локальних умов, фінансових можливостей та очікуваного ефекту для пасажирів. Використання сучасних методів моделювання та інтеграція досвіду зарубіжних міст дозволяють сформувати комплексний підхід до управління зупинками, що забезпечить підвищення їхньої пропускну здатності та комфортності для населення.

Таблиця 1.1 – Результати огляду методів підвищення пропускну здатності зупинок міського пасажирського транспорту

Назва методу	особливості	Переваги	Недоліки
Організація виділених смуг для громадського транспорту	Міський громадський пасажирський транспорт,	1. Підвищення ефективності роботи міського пасажирського	1. Зниження загальної пропускну здатності дороги.

	рухаючись виділеною смугою, не стоїть у дорожніх заторах разом з іншими транспортними засобами.	транспорту загального користування. 2. Зменшення середнього часу поїздки одного пасажирів. 3. Зменшення негативного впливу пасажирського транспорту загального користування на навколишнє середовище.	2. Погіршення дорожніх умов для власників автомобілів.
Заборона паркування транспортних засобів на найбільш завантажених ділянках міської території.	Паралельне застосування перехоплюючих паркувань за умови налагодженої роботи міського громадського пасажирського транспорту.	1. Зменшення навантаження на вулично-дорожню мережу та міську транспортну інфраструктуру. 2. Поліпшення екологічних показників міського транспортного комплексу.	1. Погіршення транспортної доступності міської території

Поділ посадочних місць та одному зупиночному пункті	Поділ здійснюється при допомозі спеціальних знаків і огорожень	1. Скорочення витрат часу на посадку та висадку пасажирів. 2. Підвищення пропускної здатності зупинкового пункту. 3. Підвищення продуктивності транспортних засобів міського пасажирського транспорту.	1. Збільшення розмірів і вартості зупинок громадського транспорту. 2. Незручність посадки для пасажирів, які користуються кількома альтернативними маршрутами.
---	--	--	---

У наукових дослідженнях, спрямованих на зменшення негативних наслідків порушень у русі міського громадського транспорту, значна увага приділяється розробці гнучких стратегій управління, здатних адаптуватися до конкретних характеристик транспортної ситуації. Особливо актуальними є так звані стратегії управління в реальному часі, які базуються на використанні сучасних інформаційних технологій та бортових систем моніторингу, зокрема автоматичних лічильників пасажирів (APC) та систем автоматичного визначення місцеположення транспортних засобів (AVL). Використання цих технологій забезпечує можливість оперативного збору та обробки даних, що дозволяє транспортним операторам динамічно реагувати на відхилення від планових параметрів руху, мінімізуючи затримки та підвищуючи стабільність пасажиропотоку.

Однією з найбільш вивчених та практично апробованих стратегій останніх років є стратегія утримання, суть якої полягає у свідомому регулюванні часу

простою транспортного засобу на певних зупинках. Такий підхід дозволяє підтримувати інтервали між послідовними автобусами або трамваями максимально близькими до заданого оптимального значення, що зменшує ризик утворення «групування» (bunching effect) і сприяє більш рівномірному розподілу пасажиропотоку. Водночас існують альтернативні стратегії з протилежним принципом дії — наприклад, експресування або пропуск проміжних зупинок. У цьому випадку транспортний засіб прискорює рух за рахунок зменшення кількості зупинок, що особливо доцільно у разі відставання від графіка чи перевищення середнього пасажиронавантаження.

Окрім утримання та експресування, науковці досліджують також комбінаційні підходи, які інтегрують регулювання часу зупинки, пропуск зупинок та пріоритети на регульованих перехрестях. Зокрема, надання пріоритету громадському транспорту на світлофорних об'єктах розглядається як ефективний інструмент зниження середнього часу поїздки, підвищення регулярності руху та збільшення привабливості громадського транспорту у порівнянні з індивідуальними видами пересування.

Оскільки натурні експерименти у реальних транспортних системах є дороговартісними та складними для організації, важливу роль відіграють моделювання та комп'ютерні симуляції. Мікроскопічні транспортні моделі дозволяють відтворювати поведінку окремих транспортних засобів та пасажирів, оцінювати ефективність різних стратегій управління, прогнозувати наслідки їх впровадження та здійснювати порівняльний аналіз альтернативних рішень. Розвиток таких моделей, зокрема із застосуванням методів машинного навчання та штучного інтелекту, відкриває перспективи створення інтелектуальних систем управління громадським транспортом, здатних у реальному часі адаптувати рух до змін попиту та умов міського середовища.

Сучасні підходи до оптимізації функціонування системи громадського транспорту базуються на концепції динамічного регулювання інтервалів між транспортними засобами з метою зменшення часу очікування пасажирів і підвищення надійності сервісу. Однією з запропонованих стратегій є керування

групами з трьох послідовних автобусів, розташованих на однакових інтервалах уздовж маршруту. Основна мета такої методики полягає у забезпеченні стабільності інтервалів, що дозволяє уникнути скупчення транспортних засобів («ефекту зграї») та зменшити середній час очікування пасажирів на зупинках.

Ця стратегія передбачає застосування двох базових механізмів регулювання. Перший – примусове утримання транспортного засобу на зупинці у випадках, коли його рух випереджає оптимальний графік. Другий – навпаки, пропуск окремих зупинок автобусом, який відстає, що дозволяє йому наблизитися до оптимального інтервалу відносно інших транспортних засобів. Інакше кажучи, принцип експертної системи управління полягає у коригуванні положення «центрального автобуса» у триаді. Якщо цей автобус запізнюється, він може бути переведений уперед шляхом пропуску частини зупинок; у протилежному випадку – затриманий на зупинках.

Реалізація подібної методології стала можливою завдяки використанню сучасних технологій моніторингу руху, зокрема системи глобального позиціонування (GPS), яка забезпечує отримання даних про місцезнаходження транспортних засобів у реальному часі. Це дозволяє операторам динамічно приймати рішення щодо утримання чи прискорення руху окремих автобусів, поєднуючи стратегії очікування та пропуску зупинок. Така інтеграція відповідає концепції керування на рівні станцій, що дозволяє гнучко балансувати між стабілізацією розкладу та зменшенням затримок.

Академічні дослідження у сфері транспортного менеджменту свідчать, що застосування подібних стратегій знижує варіативність інтервалів руху до 20–30 %, що безпосередньо впливає на рівень задоволеності пасажирів та ефективність використання транспортного парку. Більш того, комп'ютерне моделювання показує, що інтеграція стратегій очікування та пропуску зупинок дозволяє уникати «каскадного ефекту» затримок, коли навіть незначне відхилення одного автобуса призводить до порушення регулярності роботи всього маршруту.

Таким чином, подібні стратегії можна розглядати як перспективний напрям у розвитку системи керування міським громадським транспортом. Вони поєднують у собі технологічну інноваційність (GPS-моніторинг, автоматизовані

системи диспетчеризації) та організаційні рішення (динамічне коригування розкладу), що робить їх фундаментальною основою для формування інтелектуальних транспортних систем у великих містах.

У наукових джерелах представлено низку моделей організації очікування, які базуються на використанні даних про розташування транспортних засобів у режимі реального часу. В окремих роботах пропонуються детерміновані квадратичні програми, побудовані за принципом ковзного горизонту, що враховують вплив прийнятого рішення про затримку конкретного транспортного засобу на роботу певної групи попередніх транспортних одиниць. Дослідження доводять, що застосування стратегій очікування сприяє зниженню варіативності часу прибуття, а також дозволяє скоротити середній час очікування пасажирів і загальну тривалість подорожі. Водночас зроблено висновок, що організація двох чи більше станцій очікування вздовж транспортного коридору не є обов'язковою умовою для досягнення бажаного ефекту. Ці висновки суперечать результатам у [22], де Сан та Хікман показали, що зупинка транспортних засобів на кількох контрольних станціях буде кращою, ніж одна зупинка очікування. Більшість контролерів зрештою вирішуються евристично через математичну складність формулювань. У [23] Зольфагарі та ін. розробили математичну модель керування для зупинки, використовуючи інформацію про місцезнаходження автобусів уздовж заданого маршруту в режимі реального часу, яка вирішується за допомогою імітованого відпалу. У [24] дослідники запропонували динамічну стратегію зупинки, де враховується своєчасність раннього руху автобуса на наступній зупинці та оптимізується час очікування на зупинках. Для оптимізації часу очікування запропоновано генетичні алгоритми.

Щодо пропуску зупинок, у [16] Хоат та Бернард дійшли висновку, що ця стратегія ефективно скоротить час подорожі пасажирів у транспортному засобі; однак, розробник моделі повинен бути дуже обережним через збільшення часу очікування тих пасажирів, яких пропускають автобуси на зупинках. Як стратегія керування в реальному часі, пропуск зупинок досліджувався в [5], [6], [11], [17] та [22]. Основна концепція полягає у прискоренні руху автобусів за рахунок пропуску однієї чи кількох зупинок, що дає змогу транспортним засобам

повернутися до запланованого графіка після відхилень або непередбачених затримок. Такий підхід сприяє скороченню сумарного часу очікування пасажирів на зупинках, з урахуванням негативних наслідків додаткових затримок.

У наукових працях провідних дослідників, що займаються проблематикою розвитку міських пасажирських транспортних систем, було висунуто та апробовано низку підходів, спрямованих на підвищення ефективності функціонування міського громадського транспорту. Серед ключових заходів, які отримали практичне підтвердження, варто виокремити два основні напрями: скорочення кількості транспортних засобів на маршрутах шляхом впровадження автобусів підвищеної пасажиромісткості та оптимізацію розкладів руху з метою забезпечення узгодженості між реальною провізною спроможністю рухомого складу та фактичним пасажиропотоком. Обидва підходи дають змогу гармонізувати попит і пропозицію транспортних послуг, що є ключовою умовою сталого функціонування транспортної інфраструктури.

Проте, аналізуючи перспективи розвитку транспортних систем, важливим вбачається ще один напрям, який полягає у впровадженні організаційних заходів, що безпосередньо стосуються управління рухом і підвищення ефективності використання наявного рухомого складу. Цей підхід має перевагу у тому, що він не потребує радикальних змін у конфігурації маршрутної та вулично-дорожньої мережі, а також не вимагає значної трансформації структури транспортного парку. Саме тому його реалізація не є капіталомісткою та може забезпечити відчутний соціально-економічний ефект при мінімальних витратах.

Особливістю запропонованих рішень є їхня технологічна простота та низька обчислювальна складність. Використання системи управління, що базується на наборі простих правил і алгоритмів реального часу, дозволяє знизити залежність від прогнозних моделей попиту й трафіку. Це особливо важливо у випадках, коли немає достовірної інформації про майбутній пасажиропотік або інтенсивність руху. Запропоновані алгоритми вирізняються масштабованістю, тобто можуть ефективно застосовуватися як для невеликих маршрутів, так і для обслуговування великих міських транспортних коридорів. Впровадження таких рішень можливе навіть у разі використання лише базових

технологічних засобів, зокрема систем GPS-моніторингу та оперативного онлайн-зв'язку з водіями.

Водночас у світовій практиці активно розвиваються й більш складні методи управління, зокрема підходи, засновані на гібридному прогнозному керуванні (Hybrid Predictive Control, HPC). У таких дослідженнях формуються математичні моделі простору станів транспортної системи та цільові функції, які враховують час очікування, середню тривалість поїздки, а також наслідки застосування стратегій пропуску зупинок. У результаті продуктивність систем HPC виявилася вищою порівняно з методами, побудованими на нечіткій логіці чи правилах керування. Проте реалізація подібних стратегій вимагає високої якості даних у режимі реального часу та використання складних технологічних засобів, що наразі є доступними лише для обмеженого кола транспортних операторів у високорозвинених країнах.

Таким чином, можна констатувати, що прості організаційні заходи залишаються найбільш доцільними для більшості міських пасажирських систем, з огляду на їхню технологічну доступність та відносно низькі фінансові витрати. Водночас у перспективі, з розвитком інтелектуальних транспортних систем та цифровізації управління, зростатиме актуальність і складніших методологій, зокрема гібридного прогнозного управління, яке здатне інтегрувати в реальний час різнорівневі параметри транспортного процесу.

1.3 Коректування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту

Основні положення та визначення, що стосуються функціонування та класифікації зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту, докладно представлені в наукових працях І.В. Спіріна. Науковець визначає зупиночний пункт як спеціально відведене та обладнане місце на маршруті, що призначене для організованої зупинки транспортного засобу з метою здійснення посадки та висадки пасажирів. Саме цей елемент транспортної інфраструктури виступає

одним із ключових факторів, що визначають комфортність та ефективність перевезень у міських умовах.

За інтенсивністю пасажирообігу пункти зупинки регулярних маршрутів класифікуються наступним чином: зупинки з високим пасажиропотоком (понад 15 пасажирів за інтервал руху автобуса по входу та виходу), із середнім пасажиропотоком (від 5 до 15 пасажирів), а також із низьким пасажиропотоком (менше 5 пасажирів). Такий поділ має суттєве практичне значення, оскільки він безпосередньо впливає на вибір організаційних рішень при проектуванні, модернізації та експлуатації зупиночних комплексів.

У працях провідних учених пропускна здатність зупиночного пункту визначається як здатність об'єкта забезпечувати обслуговування максимально можливої кількості транспортних засобів у межах одиниці часу. Цей показник розглядається як один із найважливіших критеріїв при оцінюванні ефективності роботи громадського транспорту, адже він тісно пов'язаний із ритмічністю руху, рівнем завантаженості маршрутів та ступенем зручності для пасажирів.

Залежно від планувальних рішень та особливостей міських вулиць виділяють кілька категорій зупиночних пунктів. До категорій А і В належать зупинки із двосекційною паралельною конфігурацією, облаштовані спеціальними кишенями для зупинки транспортних засобів, причому вони можуть функціонувати як із виділеними смугами, так і без них. Категорії С і D передбачають послідовне розташування двох секцій для паркування транспортних засобів у спеціально відведених кишенях. Нарешті, категорія Е включає двосекційні зупинки без облаштованих кишень, що є найменш зручними з точки зору організації руху та безпеки.

Ця класифікація, хоча й не є вичерпною, дозволяє виділити найбільш проблемні зупинки, які стають джерелом заторів і знижують пропускну здатність транспортної мережі. Вона виступає базисом для формування інженерно-планувальних рішень, спрямованих на оптимізацію транспортних потоків. Аналіз функціонування зупиночних пунктів у міських умовах можна розглядати як попереднє вивчення прототипів майбутніх проектних рішень, що сприятиме формуванню цілісної концепції модернізації громадського транспорту.

Додатково варто підкреслити, що сучасні тенденції розвитку міського транспорту передбачають інтеграцію інтелектуальних транспортних систем у зупиночну інфраструктуру. До таких інновацій належать системи автоматизованого інформування пасажирів, сенсорні технології підрахунку пасажиропотоку, інтеграція відеоспостереження для забезпечення безпеки, а також використання екологічно чистих матеріалів під час облаштування зупинок. У поєднанні з ефективним управлінням транспортними потоками це дозволяє знизити кількість конфліктних ситуацій на дорогах, мінімізувати затримки та забезпечити стабільність транспортного обслуговування населення.

1.4 Висновки та постановка завдання дослідження

На основі проведеного огляду літературних джерел та здійсненого аналізу, відповідно до висунутої гіпотези, визначено мету дослідження, яка полягає у підвищенні ефективності функціонування міського безрейкового пасажирського транспорту загального користування шляхом оптимізації пропускної спроможності зупиночних пунктів за рахунок формування груп транспортних засобів.

Досягнення поставленої мети потребує розв'язання ряду наукових і практичних завдань, серед яких:

- дослідження теоретичних засад і практичного досвіду проєктування дорожньої інфраструктури міського пасажирського транспорту;
- розроблення аналітичної моделі оцінювання пропускної здатності зупиночних пунктів, яка враховує параметри світлофорного регулювання та забезпечує можливість формування груп транспортних засобів;
- визначення впливу параметрів режимів світлофорного регулювання на ефективність роботи зупинок міського безрейкового транспорту;
- формування методики розрахунку необхідної кількості посадкових майданчиків на зупинках громадського транспорту з урахуванням пропускної здатності, режимів світлофорного регулювання та прийнятих методів організації пасажирообміну;

— проведення оцінки результативності та доцільності впровадження запропонованих рішень у практику функціонування міських транспортних систем.

2. АНАЛІТИКО-ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналітичний опис руху пасажирських транспортних засобів, що обслуговують пасажирський транспорт

Для створення адекватної математичної моделі руху міських пасажирських транспортних засобів, що обслуговують регулярні маршрути, доцільно виходити з низки спрощуючих, але водночас методологічно виправданих припущень. По-перше, розглядається сценарій руху транспортних засобів по виділеній смузі, що дозволяє мінімізувати вплив перехресних транспортних потоків та приватного транспорту. По-друге, транспортний парк, який забезпечує обслуговування маршрутів, включає рухомий склад різних класів — від малих автобусів до великої місткості та тролейбусів, що зумовлює різні параметри динаміки руху, часу розгону й гальмування, а також неоднорідність пасажиропотоку. По-третє, рух між зупинковими пунктами може здійснюватися як без проміжних зупинок, так і з додатковими затримками, що виникають унаслідок особливостей організації дорожнього руху, зокрема через регулювання світлофорними об'єктами, інтенсивність пішохідного руху або взаємодію з іншими транспортними засобами. По-четверте, розташування зупинок у транспортній мережі може відбуватися як у зоні до перехрестя, так і після нього, що істотно впливає на загальний розподіл транспортних затримок. Нарешті, зупинкові пункти можуть бути обладнані заїзними кишенями, здатними забезпечити від одного до трьох посадочних місць для транспортних засобів одночасно, що також визначає пропускну здатність та швидкість обслуговування пасажирів.

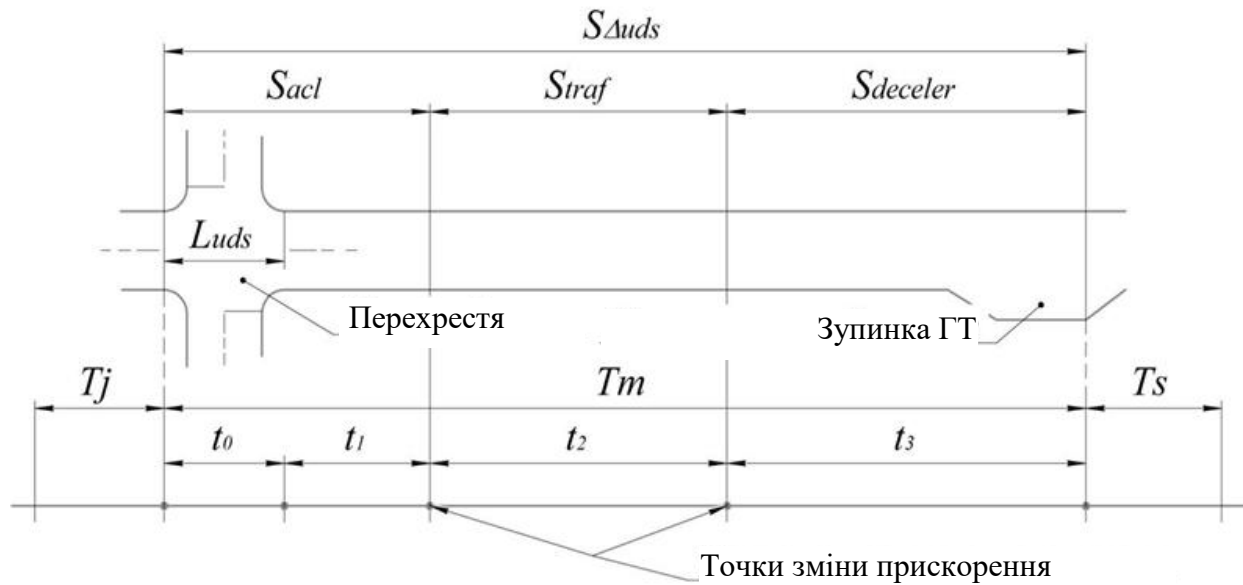
Аналіз сценарію руху групи транспортних засобів на виділеній смузі від перехрестя до зупинки дозволяє виявити ключові часові витрати. Вони складаються з трьох основних компонентів: часу очікування на перехресті в умовах роботи світлофорного регулювання, часу власне руху до зупинки, а також часу простою безпосередньо на зупинці, пов'язаного з процесами посадки та висадки пасажирів. Схематичне відображення цього процесу, представлене на

рисунку 2.1, демонструє залежність загального часу реалізації поїздки від взаємодії зазначених факторів.

З наукової точки зору, математичний опис такого процесу зазвичай ґрунтується на поєднанні елементів теорії масового обслуговування, транспортного моделювання та теорії ймовірностей. Зокрема, зупинковий пункт може бути розглянутий як система з обмеженим числом каналів обслуговування, де транспортні засоби відіграють роль заявок, а тривалість їх обслуговування залежить від інтенсивності пасажиропотоку. Використання стохастичних моделей дозволяє врахувати нерівномірність пасажирських потоків у різні години доби та вплив пікових навантажень. У той же час методи мікромоделювання, які базуються на симуляції руху окремих транспортних одиниць, дають змогу детально відтворити процес взаємодії на перегонах та в зоні зупинки.

Особливої уваги заслуговує фактор синхронізації роботи світлофорних об'єктів із графіками руху громадського транспорту. Доведено, що узгоджене функціонування світлофорів і зупинок може зменшити середні затримки на 12–18 %, що позитивно впливає на регулярність руху й підвищує пропускну здатність транспортної мережі. Крім того, врахування варіативності класів транспортних засобів дозволяє більш обґрунтовано формувати математичні моделі, де окремі параметри (максимальна швидкість, прискорення, довжина зупинки) мають індивідуальні характеристики залежно від типу рухомого складу.

Таким чином, побудова математичного опису руху пасажирського транспорту на регулярних маршрутах потребує поєднання системного аналізу транспортних потоків із використанням інструментарію математичного моделювання. Такий підхід створює основу для подальшої оптимізації схем організації руху, удосконалення інфраструктури зупинок та підвищення якості транспортного обслуговування міського населення.



Малюнок 2.1 – Схема руху транспортного засобу від перехрестя до пункту зупинки

Загальний час, що витрачається на переміщення пасажирських транспортних засобів через ділянку вулично-дорожньої мережі (T_t), що розглядається, може бути визначено за допомогою виразу:

$$T_t = T_m + T_j + T_s, \quad (2.1)$$

де T_t – загальний час переміщення пасажирського транспортного засобу по ділянці маршруту, що розглядається, с;

T_m – час руху транспортного засобу на ділянці маршруту, що розглядається, с;

T_j - час затримки пасажирського транспортного засобу на перехресті, с;

T_s – час затримки пасажирського транспортного засобу на пункті зупинки, с.

Час руху транспортного засобу на ділянці маршруту, що розглядається, може бути визначений з виразу:

$$T_m = t_1 + t_2 + t_3, \quad (2.2)$$

де t_1 - час розгону (прискорення) до заданої швидкості;

t_2 - час рівномірного руху, с;

t_3 – час гальмування до досягнення зупинки громадського транспорту, з.

Формула для розрахунку часу розгону на ділянці між перехрестям та точкою закінчення розгону (t_1) має вигляд:

$$t_1 = \frac{0,278 \cdot V_{cons} - \sqrt{2 \cdot L_{uds} \cdot a_{uds}}}{a_{acl}}, \quad (2.3)$$

де V_{cons} – швидкість руху потоку транспортних засобів на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається, км/год;

L_{uds} – протяжність відрізка колії, розташованого в межах вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), що розглядається, м;

a_{uds} – прискорення пасажирських транспортних засобів у межах розглянутого вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), м/с²;

a_{acl} – прискорення пасажирських транспортних засобів поза розглядуваного вузла вулично-дорожньої мережі досі досягнення середньої швидкості потоку, м/с².

Формула для розрахунку часу рівномірного руху пасажирських транспортних засобів до початку зниження швидкості:

$$t_2 = 3,6 \cdot \frac{S_{traf}}{V_{consl}}, \quad (2.4)$$

де S_{traf} - відрізок шляху, що долається пасажирськими транспортними засобами в умовах рівномірного руху (до початку гальмування), м;

V_{consl} - швидкість руху потоку транспортних засобів на ділянці вулично-дорожньої мережі, що розглядається, км/год.

Значення S_{traf} (рисунки 2.1) можна визначити за формулою:

$$S_{traf} = S_{\Delta uds} - S_{acl} - S_{deceler}, \quad (2.5)$$

де $S_{\Delta uds}$ – відстань перегону, тобто відстань між далеким кордоном вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя), що розглядається, і правою межею зупинки громадського транспорту, м;

S_{acl} – відрізок шляху, що долається пасажирським транспортним засобом від дальньої межі розглянутого вузла вулично-дорожньої мережі (перехрестя) до місця досягнення середньої швидкості руху потоку транспортних засобів (відстань розгону), м;

$S_{deceler}$ – відстань, необхідне зниження швидкості до повної зупинки на зупиночному пункті, м. с.

Формула для розрахунку відстані, що долається при розгоні, має вигляд:

$$S_{acl} = L_{uds} + \frac{\left(\frac{V_{const}}{3,6}\right)^2 - 2 \cdot a_{acl} \cdot L_{uds}}{2 \cdot a_{acl}}, \quad (2.6)$$

Відстань, необхідна пасажирському транспортному засобу зниження швидкості до заданого значення (V_{Ni}), визначається за формулою:

$$S_{deceler} = \frac{\left(\frac{V_{Ni}}{3,6}\right)^2 - \left(\frac{V_{const}}{3,6}\right)^2}{2 \cdot J_{deceler}}, \quad (2.7)$$

де $J_{deceler}$ – середнє уповільнення пасажирського транспортного засобу, зумовлене гальмуванням при зупинці на пункті зупинки або регульованому перетині, м/с².

Формула для розрахунку часу уповільнення ($t_{deceler}$) від середньої швидкості руху потоку транспортних засобів на ділянці вулично дорожньої мережі до швидкості перетину і-им транспортним засобом стоп лінії (V_{Ni}) має вигляд:

$$t_{deceler} = \frac{V_{const} - V_{Ni}}{3,6 \cdot J_{deceler}}, \quad (2.8)$$

Условия движения пассажирских транспортных средств по выделенной полосе в условиях рассматриваемого участка улично-дорожной сети, определяется равенством времени замедления последнего в группе транспортного средства времени разгона впереди идущего транспортного средства:

$$t_{deceler} = t_{aks}, \quad (2.9)$$

де t_{aks} – час розгону транспортного засобу, що йде попереду при звільненні смуги руху, с.

Пропускна здатність зупинки громадського транспорту може бути розрахована відповідно до методики, викладеної в «Посібнику з визначення пропускної здатності автомагістралей» (Highway Capacity Manual) [24].

Пропускну здатність ділянки вулично-дорожньої мережі, що включає регульований перетин і розташований за ним зупинковий пункт, відповідно до Highway Capacity Manual [24] можна описати наступним виразом:

$$Q_N = \frac{3600 \cdot \left(\frac{g}{c}\right) \cdot N_b}{t_c + t_d \cdot \left(\frac{g}{c}\right) + Z_\alpha \cdot C_v \cdot t_d}, \quad (2.10)$$

де Q_N – пропускна здатність ділянки вулично-дорожньої мережі, од/год;

N_b – ефективне число місць на пункті зупинки, од.;

g - тривалість фази роздільного сигналу світлофора, с;

c - повна тривалість циклу регулювання, с;

t_c – час звільнення зупинки громадського транспорту, з;

t_d - час посадки та висадки пасажирів на зупиночному пункті, с;

Z_α – коефіцієнт ймовірності відмови у заявці на обслуговування;

C_v – коефіцієнт варіації часу обслуговування пасажирів зупинному пункті.

У тому випадку, на перегоні між пунктами зупинки відсутня світлофор, то відношення $(g/c) = 1,0$. За даними, отриманими St Jacques і Levinson, включеними в Highway Capacity Manual [24], при часі обслуговування пасажирів більше 20 секунд, коефіцієнт варіації часу обслуговування пасажирів на пункті зупинки (c_v) знаходиться в межах від 0,4 до 0,6.

У Highway Capacity Manual представлений довідковий матеріал для визначення ефективної кількості місць на пункті зупинки N_b для лінійних пунктів різного типу: без об'єктів обгону («on-line») і з об'єктами обгону («off-line»). Вони отримані з емпіричних спостережень на автобусних вокзалах Нью-Йорка та Нью-Джерсі.

У Highway Capacity Manual [24] наведено інформацію про час посадки та висадки пасажирів t_d , який може мати різні значення в залежності від кількості дверей та організації процесу пасажирообміну:

- тільки посадка, двері з одностороннім рухом;
- тільки вихід, двері з одностороннім рухом;
- Івосторонній потік через двері.

Для однієї двері з двостороннім рухом, час посадки та висадки пасажирів t_d можна розрахувати за формулою:

$$t_d = \beta_a \cdot P_a + \beta_b \cdot P_b, \quad (2.11)$$

де β_a – час висадки одного пасажирів;

β_b - час посадки одного пасажирів, с;

P_a - кількість пасажирів, що висаджуються, з одного транспортного засобу в 15-хвилинному інтервалі в піковий час, чол.;

P_b – кількість пасажирів, що входять в один транспортний засіб в 15 хвилинний інтервал у піковий час, чол.

Для двох односторонніх дверей час посадки та висадки пасажирів t_d можна прийняти виходячи з умови:

$$t_d = \max \{(\beta_a \cdot P_a); (\beta_b \cdot P_b)\} \quad (2.12)$$

Час звільнення зупинки громадського транспорту – це середній мінімальний час між виїздом одного пасажирського транспортного засобу із зупиночного майданчика та заходом наступного пасажирського транспортного засобу. Значення цієї величини можна розрахувати за такою формулою:

$$t_c = t_{de-ac} + t_d + \frac{1}{v}, \quad (2.13)$$

де t_{de-ac} – час, який витрачається пасажирським транспортним засобом на уповільнення та прискорення на зупиночному пункті, с;

t_d – час, який витрачається пасажирським транспортним засобом на посадку та висадку пасажирів на зупиночному пункті, с;

v – частота руху пасажирських транспортних засобів на розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі, с.

Теоретичне обґрунтування процесу формування груп пасажирських транспортних засобів, які обслуговують регулярні маршрути міського пасажирського транспорту.

У процесі формулювання мети та завдань дослідження висунуто гіпотезу про те, що зниження заторних ситуацій, що впливають на пропускну здатність зупинок громадського транспорту, можна вирішити шляхом формування пасажирських транспортних засобів в окремі групи. Продуктивність роботи міського пасажирського транспорту загального користування розглянутій ділянці вулично-дорожньої мережі багато в чому визначається пропускнуою спроможністю виділеної смуги (Q_r), регульованих перехресть (Q_j) і пунктів зупинки (Q_s).

Розглянуті складові елементи пасажирської транспортної інфраструктури послідовно взаємодіють із пасажирськими транспортними засобами, отже, загальна пропускну здатність ділянки вулично-дорожньої мережі (Q_N)

визначається елементом, що має мінімальну пропускну здатність. Дане твердження описується нерівністю:

$$\min \{Q_r; Q_j; Q_s\} \geq Q_N, \quad (2.14)$$

Пропускна здатність виділеної смуги руху зазвичай істотно перевищує пропускну здатність зупиночних пунктів і регульованих перехресть. Це пояснюється тим, що в межах виділеної смуги транспортні засоби рухаються безперервним потоком, без додаткових втрат часу на зупинку, уповільнення чи повторний розгін. Натомість на зупиночних пунктах і перехрестях, де застосовується світлофорне регулювання, виникають циклічні перерви руху, що суттєво знижує загальну ефективність транспортного процесу. Саме тому подальші дослідження зосереджуються не на параметрах виділених смуг, а на факторах, що безпосередньо обмежують пропускну здатність транспортної системи — організації руху на перетинах та зупинках громадського транспорту.

У міських умовах затримки на перехрестях та зупиночних пунктах формують основу транспортних витрат часу. Наприклад, у Києві середній час затримки на світлофорних об'єктах може коливатися від 25 до 90 секунд залежно від інтенсивності руху та схеми регулювання. У Львові, де значна частина вулично-дорожньої мережі має вузькі проїжджі частини та високу концентрацію пішохідних потоків, затримки ще більш відчутні: середній час простою на світлофорі у центральній частині міста сягає 60–100 секунд. Такі показники безпосередньо впливають на роботу громадського транспорту, особливо автобусів та тролейбусів, які мають здійснювати регулярні зупинки для висадки й посадки пасажирів.

Середній час затримки транспортного засобу на регульованому перехресті складається з трьох ключових елементів: уповільнення перед зупинкою, часу простою під час дії заборонного сигналу та затримки, пов'язаної з подальшим розгоном до швидкості транспортного потоку. У практичних розрахунках ці параметри можна оцінювати шляхом вимірювань або ж через аналітичні моделі. Наприклад, за методологією Highway Capacity Manual (HCM, США) середня

затримка на світлофорі визначається як функція інтенсивності потоку, співвідношення тривалості дозволяючих та забороняючих фаз сигналу, а також рівня завантаженості смуги руху.

Зупинка транспортного засобу на регульованому перехресті є випадковою подією, імовірність якої визначається відношенням тривалості червоного сигналу до загального циклу світлофора. Наприклад, якщо тривалість червоного сигналу складає 40 секунд при циклі 90 секунд, то ймовірність зупинки транспортного засобу становить приблизно 0,44. Застосування методів теорії ймовірностей і масового обслуговування дозволяє прогнозувати величину затримок для різних сценаріїв організації руху.

Сучасні підходи до дослідження пропускнуої здатності враховують не лише часові затримки, а й просторові фактори. Висадка та посадка пасажирів на зупиночних пунктах може створювати так звані «пляшкові горлечка» у транспортному потоці. Наприклад, коли автобус займає смугу руху під час висадки пасажирів, пропускна здатність цієї смуги тимчасово зменшується майже вдвічі. У містах із високою інтенсивністю руху, таких як Харків чи Дніпро, це призводить до накопичення черг, які поширюються далеко за межі зупинного пункту.

Для підвищення ефективності транспортних систем застосовуються різні інженерні рішення. Одним із прикладів є впровадження виділених смуг для громадського транспорту з «кишеньковими» зупинками, які дозволяють уникати затримок для загального потоку. Інший напрям — оптимізація роботи світлофорних об'єктів за допомогою адаптивних систем керування, що автоматично змінюють тривалість сигналів залежно від поточної інтенсивності руху. У Києві та Одесі вже використовуються такі системи на магістральних вулицях, що дозволило скоротити середній час затримок на 10–15 %.

Таким чином, аналіз пропускнуої здатності зупинкових пунктів і регульованих перетинів має не лише теоретичне, а й практичне значення. Від правильності його проведення залежить не лише швидкість пересування транспортних засобів, а й регулярність руху громадського транспорту, комфорт пасажирів та загальний рівень транспортної доступності міського середовища.

Саме тому сучасні транспортні дослідження базуються на поєднанні класичних методів розрахунку, ймовірнісних моделей та інтелектуальних систем керування, які разом формують основу для оптимізації міських перевезень.

Загальна формула для розрахунку середнього часу затримки транспортного засобу на регульованому перехресті, розроблена з урахуванням вищевикладених положень, має вигляд:

$$t_j = \left(\frac{v}{7,2 \cdot |J_{deceler}|} + c - g + \frac{v}{7,2 \cdot a_{acl}} \right) \cdot \frac{(c-g)}{c}, \quad (2.15)$$

де v - швидкість руху пасажирського транспортного засобу перед зоною уповільнення, км/год.

Затримка транспортного засобу на зупиночному пункті виникає внаслідок сукупних часових втрат, які включають уповільнення під час під'їзду до місця зупинки, тривалість простою у процесі посадки та висадки пасажирів, а також час, необхідний для розгону після виїзду із зупинки до досягнення середньої швидкості транспортного потоку. Подібно до затримок, що виникають на регульованих перехрестях, загальний час перебування транспортного засобу на зупиночному пункті визначається як різниця між фактичними витратами часу на проходження відрізка вулично-дорожньої мережі від моменту початку уповільнення до завершення розгону та витратами часу, які були б необхідні транспортному засобу для подолання тієї ж ділянки зі сталою середньою швидкістю руху транспортного потоку.

Формула для розрахунку величини затримки транспортного засобу на пункті зупинки має вигляд:

$$t_s = t_{de-ac} - \frac{(S_{de} + S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, \quad (2.16)$$

де t_{de-ac} – загальний час нерівномірного руху пасажирського транспортного засобу на в'їзді та виїзді з пункту зупинки, с;

S_{de} – довжина зони в'їзду транспортних засобів на пункт зупинки, м;

S_{ac} – довжина зони виїзду транспортних засобів від пункту становлення, м;

v - швидкість руху пасажирського транспортного засобу перед зоною уповільнення, км/год.

З урахуванням підстановки виразів у формулу 2.16 отримаємо систему підсумкових виразів для розрахунку часу затримки транспортних засобів на пункті зупинки без урахування витрат часу на посадку і висадку пасажирів.

$$t_s = \left\{ \begin{array}{ll} \frac{v}{a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, & \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{de}} + \frac{v}{a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, & \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} \leq 0 \\ \frac{v}{a_{de}} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, & \Delta S_{de} \leq 0, \Delta S_{ac} > 0 \\ \frac{S_{de}}{v} + \frac{S_{ac}}{v} + \frac{v}{2 \cdot a_{de}} + \frac{v}{2 \cdot a_{ac}} - \frac{(S_{de}+S_{ac}) \cdot 3,6}{v}, & \Delta S_{de} > 0, \Delta S_{ac} > 0 \end{array} \right\}, \quad (1.17)$$

Потік пасажирських транспортних засобів на певну ділянку вулично-дорожньої мережі формується із певною середньою інтенсивністю, яка залежить від інтервалу їх руху протягом визначеного проміжку часу на міських регулярних маршрутах, що проходять цією частиною дороги.

Формула для розрахунку середньої частоти руху транспортних засобів має вигляд:

$$\nu_{TC} = \sum_{i=1}^m \left(\frac{1}{I_i} \right), \quad (2.18)$$

де ν_{TC} – частота надходження транспортних засобів на розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі, од/с;

m - кількість маршрутів, що проходять через розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі, од.;

I_i – інтервал руху пасажирських транспортних засобів на i -му маршруті, що проходить через розглянуту ділянку вулично-дорожньої мережі у заданий час, с.

У процесі руху пасажирських транспортних засобів на окремих відрізках вулично-дорожньої мережі може відбуватися спонтанне утворення груп. Формування таких скупчень зумовлюється низкою чинників, серед яких тривалість затримки на регульованих перехрестях, час зупинки під час посадки та висадки пасажирів на зупиночних пунктах, а також інтенсивність руху на розглянутій ділянці.

Поєднання зазначених факторів може призвести до кількох можливих сценаріїв розвитку дорожньої ситуації. Перший сценарій характеризується відсутністю групування транспортних засобів, коли вони рухаються рівномірно та незалежно один від одного. Другий сценарій передбачає утворення груп певної кількості транспортних засобів, які рухаються компактними скупченнями. Третій сценарій пов'язаний із формуванням затору на досліджуваній ділянці дороги.

Виникнення першого сценарію можливе у випадках, коли пропускна спроможність вулично-дорожньої мережі перевищує фактичну інтенсивність руху пасажирських транспортних засобів, а часові затримки на перехрестях та зупинках не перевищують інтервалів надходження транспортного потоку.

Ця умова пишеться системою нерівностей:

$$\begin{cases} Q_N \geq v_{TC} \\ t_j \leq 1/v_{TC}, \\ t_s \leq 1/v_{TC} \end{cases} \quad (2.19)$$

Другий сценарій розвитку ситуації — це утворення груп транспортних засобів обмеженої кількості. Такий процес має місце тоді, коли пропускна спроможність досліджуваної ділянки вулично-дорожньої мережі, а також можливості перетинів із регулюванням руху і зупинок громадського транспорту перевищують частоту надходження пасажирських транспортних засобів на дану ділянку.

Система нерівностей, що характеризує цю умову, має вигляд:

$$\begin{cases} Q_N \geq v_{TC} \\ t_j > 1/v_{TC}, \\ Q_s > v_{TC} \end{cases} \quad (2.20)$$

Реалізація третього варіанту – формування дорожнього затору відбувається за умови, що описується нерівністю:

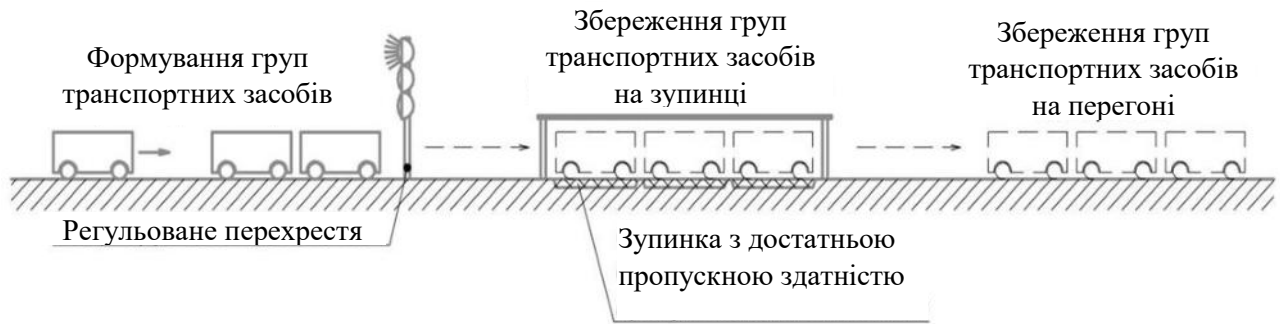
$$Q_N < v_{TC}, \quad (2.21)$$

Очевидно, що з позиції організації роботи пасажирського транспорту реалізація третього сценарію є неприйнятною. У межах цього дослідження доцільно зосередити увагу саме на другому варіанті, який враховує поєднання параметрів затримок на елементах транспортної інфраструктури, пропускної здатності ділянки вулично-дорожньої мережі та інтенсивності надходження транспортних засобів. Аналізуючи співвідношення між тривалістю затримок та частотою руху, можна визначити кількість транспортних засобів, що утворюють групи на відповідних інфраструктурних об'єктах. Розрахунок чисельності транспортних засобів у групах, що формуються, може бути проведений за формулою:

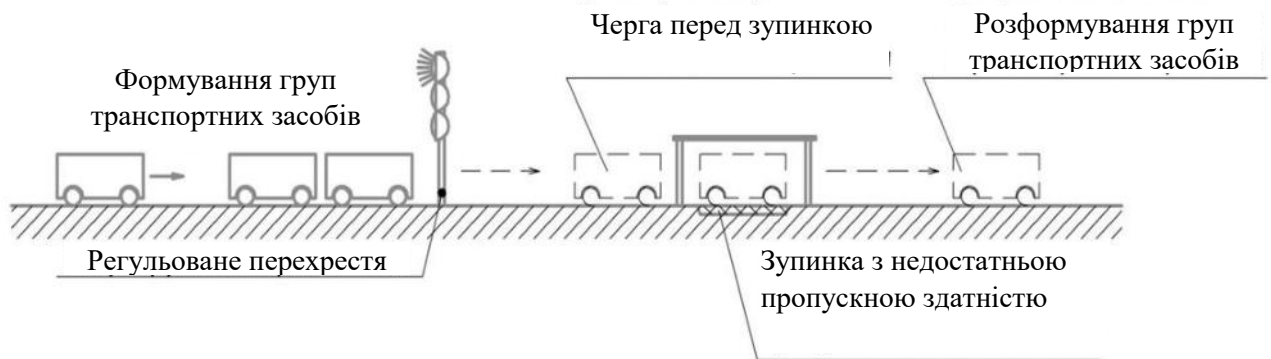
$$n_{групп} = t_j \cdot v_{TC} \quad (2.22)$$

Найвища пропускна спроможність зупинки громадського транспорту досягається тоді, коли кількість посадкових платформ дорівнює або перевищує число транспортних засобів, що одночасно прибувають у складі сформованих груп.

Цей процес проілюстрований за допомогою схем, представлених на малюнку 2.2.



а) формування з наступним збереженням груп транспортних засобів



б) розформування груп транспортних засобів при виїзді від пункту зупинки з недостатньою пропускнуою здатністю

Рисунок 2.2. Схеми формування груп пасажирських транспортних засобів на ділянці вулично-дорожньої мережі

У якості пояснення логіки побудови отриманих нерівностей варто підкреслити, що затримки пасажирських транспортних засобів на регульованих перехрестях і зупиночних пунктах мають специфічні особливості, які впливають як на процес формування груп транспортних засобів, так і на їх подальше розформування.

Формування груп пасажирських транспортних засобів відбувається переважно на регульованих перехрестях, де ключовою умовою цього процесу є те, що інтервал руху транспортних засобів виявляється меншим за тривалість їх затримки на світлофорному об'єкті (умова $t_j > 1/T_3$). Це означає, що протягом періоду дії заборонного сигналу на світлофорі на перетині накопичується певна кількість транспортних засобів, що й утворює групу. Процес починається з того, що перший транспортний засіб у колоні зупиняється на червоний сигнал, після

чого решта транспортних засобів під'їжджає й зупиняється послідовно один за одним, формуючи єдину групу. З появою дозвільного сигналу відбувається початок руху, і транспортні засоби відправляються з певним наростаючим інтервалом, дотримуючись мінімально необхідних дистанцій для безпечного пересування. При цьому група зберігає свою цілісність на наступних ділянках маршруту, зокрема на перегоні між регульованим перехрестям та найближчим зупинним пунктом.

З позицій транспортної науки та організації руху важливо, щоб збереження групи підтримувалося не лише на проміжних ділянках, але й у зонах обслуговування пасажирів. Це досягається тоді, коли пропускна здатність зупиночних пунктів відповідає або перевищує частоту прибуття транспортних засобів. Якщо дане співвідношення не дотримується, відбувається «розрив» групи через неможливість одночасного приймання всіх транспортних засобів, що знижує рівень регулярності перевезень і створює додаткові затримки. Тому важливим елементом організації пасажирських перевезень є забезпечення відповідності між кількістю транспортних засобів у сформованій групі та кількістю доступних посадкових майданчиків на зупинках.

З практичної точки зору найбільш ефективним способом підвищення пропускної здатності зупинок є проектування їх таким чином, щоб кількість посадкових платформ була не меншою за чисельність транспортних засобів, які прибувають у складі однієї групи. Це дозволяє уникнути накопичення транспортних засобів на зупинці, зменшує ймовірність виникнення затримок у русі та сприяє підвищенню регулярності транспортного обслуговування. Таким чином, оптимізація параметрів зупиночних пунктів є невід'ємною складовою забезпечення ефективності функціонування системи пасажирських перевезень у міських умовах (рисунки 2.2а).

У ситуації, коли на досліджуваній ділянці вулично-дорожньої мережі розташовано зупинковий пункт із обмеженою пропускною спроможністю, що зумовлено недостатньою кількістю посадкових майданчиків, виникає затримка у процесі обслуговування транспортних засобів. Ті автобуси чи тролейбуси, які не вмістилися на зупинці одночасно, змушені чекати своєї черги, продовжуючи рух

лише після того, як транспортний засіб попереду завершить посадку та висадку пасажирів і звільнить майданчик. У результаті кожен наступний транспортний засіб накопичує додаткову затримку, що включає не лише час посадки та висадки пасажирів, але й проміжок очікування, пов'язаний із в'їздом та виїздом попередніх машин із зупинкового пункту.

Через цю особливість формується ефект поступового розриву між транспортними засобами, який збільшується в процесі їх від'їзду. Поки перший транспортний засіб групи залишає зупинку, наступний накопичує додаткову затримку, а транспортні засоби, що йдуть ще далі, опиняються на значній відстані від початкового складу групи. Таким чином, група транспортних засобів, яка утворилася на попередньому регульованому перетині або іншому елементі дорожньої інфраструктури, втрачає цілісність і фактично розформовується.

Подібні процеси розформування груп мають суттєвий вплив на якість функціонування пасажирського транспорту, оскільки призводять до зростання нерівномірності інтервалів руху, утворення “хвиль” транспортних засобів, зниження стабільності графіка руху та зменшення середньої швидкості сполучення. У наукових дослідженнях міських транспортних систем підкреслюється, що недостатня пропускна здатність зупинок є однією з ключових причин втрати регулярності пасажирських перевезень і формування додаткових заторів у межах зупиночних зон.

Отже, для уникнення негативних наслідків та забезпечення стабільності руху необхідно оптимізувати структуру зупинкових пунктів, передбачаючи кількість посадкових майданчиків, що відповідає реальним обсягам транспортних потоків та чисельності транспортних засобів у сформованих групах. У випадку ігнорування цієї вимоги ефективність роботи пасажирського транспорту знижується, що підтверджується аналітичними та практичними спостереженнями (рисунок 2.26).

Очевидним є той факт, що під час дії фази зеленого сигналу світлофорного регулювання на розглянутому напрямі руху у зоні перехрестя не відбувається утворення груп пасажирських транспортних засобів, оскільки на цьому етапі

забезпечується їх безперешкодний і рівномірний рух. У цей період надходження автобусів та тролейбусів на ділянку вулично-дорожньої мережі має характер випадкового процесу, інтенсивність якого наближається до середньої частоти руху транспортних засобів.

Якщо ж тривалість зеленої фази суттєво перевищує, більш ніж удвічі, тривалість усього циклу світлофорного регулювання, а також перевищує частоту надходження транспортних засобів у дану зону, виникає дисбаланс у русі. У такій ситуації кількість транспортних засобів, що рухаються незалежно один від одного, перевищує чисельність тих, які сформувалися у групи. Це створює підвищене навантаження на зупиночні пункти, оскільки пасажирські потоки обслуговуються нерівномірно, а час перебування транспортного засобу на зупинці збільшується.

Подібні умови можуть стати причиною виникнення заторів у зоні зупинки, особливо у пікові години, коли пасажиропотік є максимальним. Для запобігання цьому необхідно передбачати організацію додаткових посадкових майданчиків або застосування гнучких схем управління сигналами світлофора, які забезпечують оптимальний баланс між тривалістю фаз регулювання та інтенсивністю транспортного потоку.

Отже, одним із ключових завдань моделювання руху є визначення такого співвідношення фаз світлофорного регулювання, яке унеможливило б виникнення надлишкового навантаження на зупиночні пункти. Додатково до цього доцільно враховувати варіативність пасажирських потоків протягом доби та впроваджувати адаптивні системи управління рухом, які дозволяють оперативно реагувати на зміни інтенсивності руху й тим самим знижувати ризик перевантаження інфраструктури.

Для визначення пропускної здатності елементів дорожньої інфраструктури, що розглядаються в роботі: регульованого перехрестя (Q_j), зупинки громадського транспорту (Q_s) і сукупної пропускної здатності ділянки вулично-дорожньої мережі (Q_N), що розглядається, можуть бути використані вирази, наведені у відомих літературних джерелах [20].

Пропускна здатність регульованого перетину може бути визначено за формулою [20]:

$$Q_j = \frac{x_p \cdot (g-2)/c \cdot s_b}{f_b}, \quad (2.23)$$

де Q_j - пропускна здатність смуги на регульованому перетині, од./год;
 x_p - максимально-допустимий ступінь насичення регульованого перетину;
 g - тривалість фази роздільного сигналу світлофора, с;
 (g^{-2}) – ефективна тривалість фази дозвільного сигналу світлофора (прийнятий час затримки початку руху 2 с), с;
 c - повна тривалість циклу регулювання, с;
 s_b – потік насичення виділеної лінії руху транспортних засобів, од./год;
 f_b – коефіцієнт еквівалентності для пасажирських транспортних засобів, легкий. авт./автобус.

Прийняте значення максимально допустимого ступеня насичення регульованого перетину становить $x_p = 0,9$. [20]

Значення ідеального потоку насичення виділеної смуги руху при русі прямолінійному напрямку становить $s_b = 1900$ авт/год. Встановлені значення коефіцієнта еквівалентності (f_b) для міських пасажирських транспортних засобів наведено у таблиці 2.1 [24].

Таблиця 2.1 - Коефіцієнт еквівалентності для автобусів

Клас (категорія) пасажирських транспортних засобів	Коефіцієнт еквівалентності (f_b) для пасажирських транспортних засобів, легкий. авт./автобус
Автобус малого класу	1,5
Автобус середнього класу	3
Тролейбус	4,5

Пропускна здатність зупинки громадського транспорту може бути визначена з виразу [105]:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + t_d}, \quad (2.24)$$

де Q_s - пропускна здатність зупинки громадського транспорту, од/год;

n – кількість посадочних майданчиків на пункті зупинки, од.;

t_s – час затримки транспортних засобів на пункті зупинки без урахування витрат часу на посадку і висадку пасажирів, с;

t_d – витрати часу на посадку та висадку пасажирів одного транспортний засіб, с.

Загальний час посадки та висадки пасажирів (t_d) на пункті зупинки залежить від кількості дверей та організації процесу пасажирообміну. Розрахунок значення цієї величини проводиться у разі формулам 2.23 і 2.24.

З урахуванням підстановки виразів підсумкові вирази для розрахунку пропускної здатності зупинки громадського транспорту мають вигляд:

При посадці з двостороннім рухом:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + (\beta_a \cdot P_a + \beta_b \cdot P_b) / m}, \quad (2.25)$$

де β_a – час висадки одного пасажирів;

β_b - час посадки одного пасажирів, с;

P_a - кількість пасажирів, що висаджуються, з одного транспортного засобу в 15-хвилинному інтервалі в піковий період, чол.;

P_b – кількість пасажирів, що входять в один транспортний засіб у 15 хвилинному інтервалі в піковий період, чол.;

m – кількість дверей транспортного засобу, які використовуються для посадки та висадки пасажирів, од.

При посадці через два односторонні двері:

$$Q_s = \frac{3600 \cdot n \cdot x_p}{t_s + \max\{(\beta_a \cdot P_a); (\beta_b \cdot P_b)\}}, \quad (2.26)$$

Розрахункова пропускна здатність ділянки вулично-дорожньої мережі, що включає регульоване перетин і розташований за ним зупинковий пункт може бути визначена з виразу [24]:

$$Q_N = \min\{Q_j; Q_s\}, \quad (2.27)$$

Аналіз математичних виразів, представлених у цьому розділі, дозволив виявити основні регульовані чинники, які впливають процеси формування груп пасажирських транспортних засобів. До таких чинників ставляться: - тривалість фази дозвільного сигналу світлофора (g); - Повна тривалість циклу регулювання (c); - довжина зони в'їзду транспортного засобу на пункт зупинки (S_{de}); - Довжина зони виїзду транспортного засобу із зупинки громадського транспорту (S_{ac}); - Організація пасажирообміну на зупиночному пункті (через одні двері з двостороннім рухом або через дві двері з одностороннім рухом);

На основі результатів моделювання було встановлено кількість посадкових майданчиків, яка дозволяє забезпечити одночасне обслуговування транспортних засобів у межах кожної сформованої групи. З огляду на це, параметр «кількість посадкових майданчиків» було виключено зі складу регульованих чинників, що впливають на процес формування груп пасажирських транспортних засобів.

У результаті здійснено математичний опис руху пасажирського транспорту на відрізку вулично-дорожньої мережі з виділеною смугою руху, який включає регульовані перехрестя та зупинні пункти. Побудовано математичну модель пропускної здатності зупинки громадського транспорту, розташованої на ділянці мережі з виділеною смугою та світлофорним регулюванням. У межах моделі визначено ключові чинники, що справляють визначальний вплив на параметри формування груп пасажирських транспортних засобів і на ефективність роботи зупинки громадського транспорту.

3. ПРОЕКТНО-РЕКОМЕНДАЦІЙНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Опис алгоритму моделювання

Алгоритм оцінювання пропускної здатності зупинного пункту побудований на базі теоретичних положень, викладених у другому розділі дослідження. Виконане моделювання дозволило визначити такі поєднання параметрів дорожньої інфраструктури та організації руху, які забезпечують узгодженість фактичної пропускної здатності зупинного пункту з інтенсивністю руху пасажирського транспорту.

Як вихідні дані для моделювання використаний комплекс параметрів, які, виходячи з характеру розв'язуваних завдань, доцільно розділити на три групи.

Перша група: параметри, що мають однакові значення для більшості міських пасажирських транспортних систем. Перелік даних параметрів та їх значення, встановлені на основі аналізу інформації, поданої у літературних джерелах та за результатами натурних спостережень, представлені у таблиці 3.1.

Друга група: нерегульовані параметри, що визначаються умовами організації роботи транспортних засобів на лінії, особливостями маршрутної мережі та характером транспортних кореспонденцій населення.

Перелік параметрів цієї групи, а також можливий діапазон зміни їх значень наведено у таблиці 3.2.

Таблиця 3.1 – Параметри моделювання пропускної здатності ділянки вулично-дорожньої мережі, що мають постійні значення

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Середня швидкість руху пасажирських транспортних засобів на перегонах між пунктами зупинки перед зоною уповільнення	v , км/год	42,0

Середнє уповільнення пасажирських транспортних засобів перед перехрестям (зупинним пунктом)	$a_{de}, \text{м/с}^2$	1,2
Середнє прискорення пасажирських транспортних засобів після перехрестя (зупинного пункту)	$a_{ac}, \text{м/с}^2$	1,0
Потік насичення смуги руху транспортних засобів	$S_b, \text{од./год}$	1800
Максимально- допустимий ступінь насичення регульованого перетину	$x_p, \text{од.}$	0,9
Час висадки одного пасажира	$\beta_a, \text{с}$	2
Час посадки одного пасажира	$\beta_b, \text{с}$	3

Таблиця 3.2 – Нерегульовані параметри, що визначаються умовами організації роботи транспортних засобів на лінії, особливостями маршрутної мережі та характером транспортних кореспонденцій населення

Параметр	Одиниці вимірювання	Значення
Середня частота надходження транспортних засобів на розглянуту ділянку	$\nu_{TC}, 1/\text{с}$	0,01–0,06

вулично-дорожньої мережі		
Середня кількість пасажирів, що висаджуються з одного транспортного засобу у 15-хвилинному інтервалі в піковий час	P_a , люд.	5–20
Середня кількість пасажирів, що входять до один транспортний засіб у 15-хвилинному інтервалі в піковий час	P_b , люд.	5-20
Коефіцієнт еквівалентності (визначається класом та категорією використовуваних транспортних засобів)	f_b , легк.авт/авт	-

Третя група: регульовані параметри, що безпосередньо впливають на пропускну здатність розглянутого зупинного пункту.

До даних параметрів віднесені:

- тривалість фази дозвільного сигналу світлофора (g , с);
- повна тривалість циклу регулювання світлофорного об'єкта (c , с);
- довжина зони в'їзду транспортного засобу на зупиночний пункт (S_{de} , м);
- довжина зони виїзду транспортного засобу із зупинного пункту (S_{ac} , м);
- організація пасажирообміну на зупиночному пункті (через одні двері з двостороннім рухом або через двоє дверей з одностороннім рухом);
- кількість посадочних майданчиків на пункті зупинки, (n , од.).

У процесі реалізації алгоритму, після введення вихідних даних, що включають дані трьох вищевказаних груп, послідовно виконується розрахунок числових значень наступних показників:

- часу затримки транспортного засобу на регульованому перетині;
- відстані, що долається транспортним засобом у процесі уповільнення;
- відстані, що долається транспортним засобом у процесі прискорення;

Визначається відповідність відстані, яка долається транспортним засобом у процесі уповільнення довжини зони гальмування перед зупинковим пунктом, а також відповідність відстані, що долається транспортним засобом у процесі прискорення довжини зони розгону після зупинного пункту. З співвідношення порівнюваних величин, проводиться розрахунок часу уповільнення транспортного засобу перед зупинковим пунктом і часу розгону після зупинного пункту.

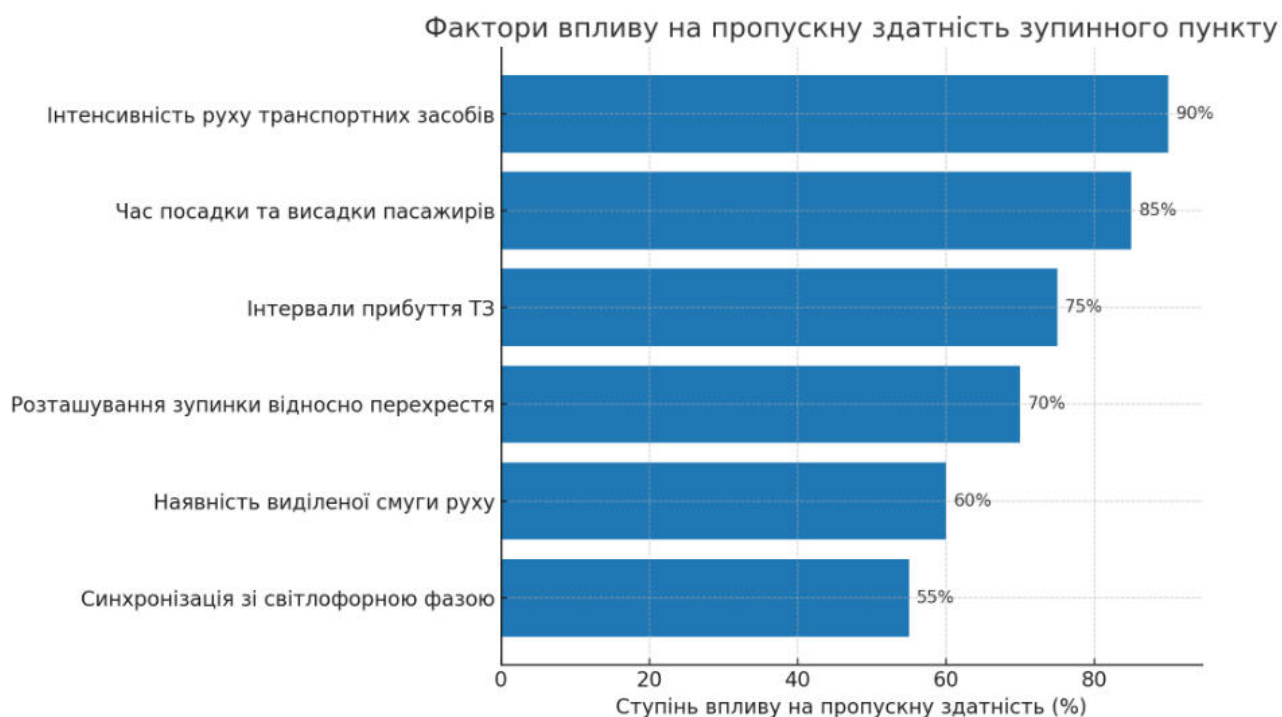


Рисунок 3.1 – Фактори впливу на пропускну здатність зупинного пункту

Виходячи із середнього рівня пасажирообміну на розглянутому зупинному пункті, виконується розрахунок витрат часу, необхідних для виконання операцій посадки та висадки пасажирів одним транспортним засобом. Загальний час затримки транспортного засобу на зупинці визначається як сума складових, що включають уповільнення перед зупинкою, час безпосередньої зупинки із

виконанням посадки та висадки пасажирів, а також подальший розгін до робочої швидкості. Таким чином, модель враховує як технічні параметри транспортного засобу, так і інтенсивність пасажиропотоку, що відображає реальні умови функціонування системи.

На наступному етапі моделювання послідовно визначаються основні показники пропускну здатності. По-перше, обчислюється пропускна здатність смуги руху на регульованому перехресті, розташованому безпосередньо перед зупинним пунктом, з урахуванням заданих параметрів світлофорного циклу та співвідношення тривалостей його фаз. По-друге, визначається пропускна здатність самого зупинного пункту, що залежить від прийнятої кількості посадкових майданчиків та способу організації пасажирообміну. У випадках, коли для зупинки передбачено кілька майданчиків, забезпечується можливість синхронного обслуговування транспортних засобів, що істотно зменшує середні затримки.

Пропускна здатність досліджуваної ділянки вулично-дорожньої мережі розраховується як мінімальне значення між двома вищезгаданими параметрами, оскільки саме «вузьке місце» визначає загальний рівень пропускну спроможності системи. Наприклад, навіть у випадку високої пропускну здатності смуги руху перехрестя, недостатня кількість зупинкових майданчиків може обмежувати фактичну продуктивність ділянки, спричиняючи накопичення транспортних засобів.

На завершальному етапі проводиться перевірка умов формування груп транспортних засобів. Для цього використовується система нерівностей, що відображає співвідношення між інтенсивністю руху, тривалістю фаз світлофорного регулювання та можливістю синхронного обслуговування транспортних груп. Встановлення відповідності цим умовам є критично важливим, оскільки саме узгоджені групи транспортних засобів забезпечують рівномірність пасажиропотоку та ефективність використання інфраструктури.

Практичне значення цього підходу полягає у можливості оптимізації організації дорожнього руху в умовах міських агломерацій. Наприклад, у пікові години, коли інтенсивність пасажиропотоку значно зростає, результати

модельовання можуть бути використані для зміни тривалості світлофорних фаз або введення додаткових посадкових майданчиків на ключових зупинках. У менш завантажені періоди, навпаки, доцільним є збереження коротших фаз світлофорного циклу та мінімальної кількості майданчиків, що дозволяє раціонально використовувати ресурси транспортної системи.

Таким чином, у випадку невиконання хоча б однієї з нерівностей, що описують умови формування груп транспортних засобів, робиться висновок про їх відсутність. У цьому разі необхідною є перевірка можливості виникнення дорожнього затору, що може бути спричинений перевантаженням інфраструктурного об'єкта. Якщо умови формування затору виконуються, проводиться коригування параметрів елемента транспортної системи, який є основним джерелом затримок. Найчастіше таким елементом виступає зупинковий пункт або світлофорний об'єкт. При цьому коригуванню підлягають параметри тривалості фаз світлофорного регулювання та кількість посадкових майданчиків на зупинковому пункті. Це дозволяє підвищити гнучкість системи організації руху та мінімізувати ризик накопичення транспортних засобів у черзі.

Якщо умови формування затору не виконуються, то можна зробити висновок про задовільний рівень пропускну здатності зупинкового пункту, який забезпечує безперебійне функціонування без утворення груп транспортних засобів. Це вказує на раціональність прийнятих рішень з організації пасажирообміну, а також свідчить про ефективність взаємодії між зупинковим пунктом та регульованим перетином.

У випадку, коли система нерівностей підтверджує факт формування груп транспортних засобів на регульованому перетині, проводиться розрахунок кількості транспортних засобів, що одночасно входять до складу групи. Після цього перевіряється відповідність отриманих значень кількості посадкових майданчиків на зупинковому пункті фактичним потребам. Якщо виявляється невідповідність, то виконується додаткове коригування кількості майданчиків та повторний розрахунок.

Завершальним етапом є визначення рекомендованої кількості посадкових майданчиків на зупинковому пункті та обчислення інтегрального показника

пропускної здатності ділянки вулично-дорожньої мережі. Цей показник враховує не лише технічні параметри руху, але й просторово-планувальні характеристики зупинкових пунктів та режим роботи світлофорних об'єктів. Результати такого аналізу дозволяють формувати науково обґрунтовані рекомендації для підвищення ефективності функціонування міського безрейкового пасажирського транспорту, що особливо актуально в умовах зростаючої інтенсивності руху та необхідності забезпечення високої якості транспортного обслуговування населення.

3.2 Методика ранжування факторів, що впливають на пропускну здатність зупиночних пунктів, що визначається з урахуванням формування груп транспортних засобів

У попередньому розділі було виділено чотири основні параметри, що визначають процеси формування груп пасажирських транспортних засобів та впливають на можливість їх синхронного обслуговування на зупинному пункті. Враховуючи, що результати моделювання дозволяють встановити пропуску здатність зупинного пункту, а також визначити необхідну кількість посадкових майданчиків для її забезпечення, постає завдання формалізації отриманих залежностей. Повний опис усіх можливих станів системи у вигляді п'ятивимірної поверхні є складним як з точки зору трудомісткості обчислень, так і через труднощі інтерпретації результатів. Тому виникає потреба у зниженні розмірності аналізованої задачі та спрощенні структури моделі.

З цією метою доцільно здійснити ранжування ключових параметрів, яке дозволить визначити ступінь їхнього впливу на пропуску здатність зупинного пункту. Для цього використовується методика аналізу крайніх значень змінних факторів. Зокрема, розрахунок проводиться в умовах, коли один із параметрів набуває мінімальних та максимальних значень, тоді як інші зберігаються на середньому рівні. Такий підхід забезпечує можливість виявити найбільш значущі параметри та встановити їхню пріоритетність у впливі на досліджувану систему.

Результати ранжування відображаються у вигляді впорядкованої послідовності параметрів відповідно до зростання значень пропускної здатності, яку вони формують. Це дає можливість здійснити скорочення простору параметрів і побудувати спрощені моделі залежностей, що зберігають інформативність та забезпечують зрозуміле представлення результатів.

Практичним прикладом може слугувати ситуація, коли для міського автобусного зупинного пункту аналізуються такі параметри, як інтенсивність прибуття транспортних засобів, час посадки та висадки пасажирів, довжина зупинкової смуги та кількість автобусів у групі. Якщо моделювання показує, що найбільший вплив на пропускну здатність має тривалість операцій посадки-висадки, то саме цей параметр виноситься на перший рівень пріоритетності. Натомість параметри, вплив яких виявився незначним (наприклад, довжина зупинкової смуги у межах допустимих значень), можуть бути згруповані або навіть виключені з подальшого аналізу.

Таким чином, ранжування параметрів є не лише інструментом скорочення розмірності досліджуваної системи, а й методологічною основою для підвищення наочності та практичної цінності результатів моделювання. Застосування цього підходу дозволяє ефективніше проектувати зупинні пункти, оптимізувати кількість посадкових майданчиків та забезпечувати більш високу якість транспортного обслуговування пасажирів.

3.3 Ранжування факторів, що впливають на пропускну здатність зупинок громадського транспорту, що визначається з урахуванням формування груп транспортних засобів

Ранжування факторів, що визначають пропускну здатність зупинних пунктів міського пасажирського транспорту, здійснено на основі методики, описаної вище, із застосуванням прикладних даних, отриманих для вибірки маршрутів міської транспортної системи м. Челябінськ. Метою аналізу було встановлення залежностей між параметрами формування груп транспортних засобів і фактичною пропускну здатністю ділянки вулично-дорожньої мережі.

Для розрахунків визначалися усереднені значення нерегульованих параметрів (таблиця 3.2), що дало змогу побудувати більш стійку модель транспортного процесу та уникнути впливу випадкових коливань. В якості досліджуваної ділянки було обрано фрагмент Комсомольського проспекту — від перехрестя з вулицею Сонячною до перехрестя з вулицею Молдовською. Важливою особливістю даної ділянки є наявність виділеної смуги для руху громадського транспорту, регульованого світлофором перехрестя та зупинного пункту, розташованого на відстані близько 130 метрів від перехрестя. Така конфігурація створює додаткові умови взаємодії транспортних потоків і впливає на реальну пропускну здатність вузла.

За маршрутом проходить шість автобусних напрямків міського транспорту та один тролейбусний. Це забезпечує інтенсивність руху, достатню для коректного аналізу утворення транспортних груп. Натурні спостереження проводилися у години максимальних пасажиропотоків у робочі дні з 15 вересня по 15 жовтня 2023 року, що дало можливість зафіксувати репрезентативні умови функціонування системи. Зібрані дані були доповнені інформацією перевізників щодо фактичного випуску рухомого складу, інтервалів руху та коефіцієнтів нерівномірності пасажиропотоків. Сукупність цих відомостей забезпечила можливість комплексного аналізу й уточнення параметрів моделі. Узагальнені результати спостережень подані у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати дослідження нерегульованих параметрів, що визначаються умовами організації роботи транспортних засобів на ділянці вулично-дорожньої мережі міста Тернопіль

Параметр	Значення
Кількість маршрутів, од	6
Середньозважена кількість пасажирів, висаджуються з одного транспортного засобу в хвилинний інтервал у піковий час, чол.	7

Кількість пасажирів, що входять в одне транспортне засіб у 15-хвилинному інтервалі в піковий час	8
Середньозважений коефіцієнт еквівалентності (визначається класом та категорією використовуваних транспортних засобів)	2,8
Швидкість руху транспортного засобу перед зоною уповільнення, км/год	42
Організація посадки та висадки пасажирів	Через два двері з одностороннім рухом

Отримані дані мають важливе прикладне значення. По-перше, вони дозволяють оцінити вплив взаємного розташування елементів транспортної інфраструктури (зупинних пунктів, перехресть, виділених смуг) на ефективність роботи громадського транспорту. Наприклад, розташування зупинки на відстані менш ніж 150 метрів від перехрестя часто створює так званий «ефект блокування», коли накопичення автобусів у зоні зупинки перешкоджає їх своєчасному виходу на перехрестя, знижуючи загальну пропускну здатність ділянки. По-друге, моделювання на основі натурних даних дозволяє виявити критичні фактори, які потребують регулювання — серед них час простою на зупинках, інтервали прибуття транспортних засобів та синхронізація їхнього руху зі світлофорними циклами.

Таким чином, проведений аналіз демонструє, що застосування методики ранжування факторів забезпечує можливість не лише кількісної оцінки пропускну здатності, але й виявлення структурних обмежень у роботі системи громадського транспорту. Отримані результати можуть бути використані для удосконалення організації руху, оптимізації розташування зупинок та впровадження пріоритету для громадського транспорту на регульованих перехрестях. Це, у свою чергу, сприятиме зменшенню затримок і підвищенню якості транспортного обслуговування пасажирів у міських умовах.

Ранжування регульованих параметрів, що впливають на пропускну здатність ділянки вулично-дорожньої мережі, виконано відповідно до методики, представленої у третьому розділі кваліфікаційної роботи. Дані, необхідні виконання ранжирування, представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 - Результати ранжирування регульованих параметрів, що впливають на пропускну здатність ділянки вулично-дорожньої мережі

Параметр	Діапазон зміни параметра		Середнє значення параметра	Діапазон зміни пропусної здатності зупинки громадського транспорту, од/год.		Ранг
	min	max		min	max	
Тривалість зеленого сигналу світлофора, с	15	60	37,5	78	203	1
Повна тривалість світлофорного циклу, с	60	120	90	159	203	2
Довжина зони виїзду ТЗ на зупинку ГТ.	10	20	15	201	206	3
Довжина зони виїзду ТЗ на зупинку ГТ.	10	20	15	201	206	3

У результаті проведеного дослідження визначено ключові параметри, що чинять найбільш істотний вплив на пропускну здатність зупинних пунктів громадського транспорту з урахуванням процесів формування груп транспортних засобів і створення умов для їх синхронного обслуговування. До таких параметрів належать тривалість фази сигналу світлофорного регулювання та загальна тривалість циклу роботи світлофорного об'єкта. Вони безпосередньо

визначають можливості узгодження руху транспортних засобів і забезпечення стабільності процесу пасажирообміну.

Додатковим параметром, який має суттєве значення, є організація процесу посадки та висадки пасажирів на зупинному пункті. Цей фактор зумовлює необхідність проведення моделювання для двох базових варіантів організації пасажирообміну. Перший варіант передбачає посадку пасажирів через дві двері з одностороннім рухом, що характерно для автобусів великого та середнього класів. Така схема забезпечує більш високу швидкість обміну пасажирів і, відповідно, підвищену пропускну здатність зупинки. Другий варіант передбачає посадку через одні двері з двостороннім рухом, що типово для автобусів середнього та малого класів. У цьому випадку швидкість пасажирообміну є нижчою, що збільшує тривалість перебування транспортного засобу на зупинці та знижує загальну ефективність обслуговування.

Натомість параметри, пов'язані з довжиною зони в'їзду та виїзду транспортних засобів із зупинного пункту, продемонстрували незначний вплив на пропускну здатність системи. Це дозволяє приймати їх на рівні середньостатистичних значень і виключати з числа факторів, що формують досліджуваний простір моделювання. Такий підхід дає змогу оптимізувати розрахункову модель, зосередивши увагу на параметрах, які справді визначають ефективність функціонування зупинних пунктів.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості їх використання для вдосконалення транспортного планування в міських умовах. Наприклад, для зупинок із високим пасажиропотоком доцільно передбачати використання автобусів великої місткості з двома дверима та односторонньою схемою пасажирообміну. Водночас для маршрутів середнього завантаження оптимальним рішенням може бути застосування автобусів меншого класу з однією дверима, за умови відповідного налаштування параметрів світлофорного регулювання. У такий спосіб досягається баланс між ефективністю перевезень, комфортом пасажирів та раціональністю використання транспортної інфраструктури.

3.4. Результати моделювання пропускної здатності пунктів зупинки в умовах формування груп пасажирських транспортних засобів

З метою визначення параметрів світлофорного регулювання, які здатні забезпечити необхідний рівень пропускної здатності зупинних пунктів у випадках формування груп пасажирських транспортних засобів та організації умов для їх синхронного обслуговування, було проведено комплексне моделювання. Основним завданням дослідження стало встановлення характеру впливу параметрів циклу світлофорного регулювання на пропускну здатність зупинки за умови наявності такої кількості посадкових майданчиків, що гарантує одночасне обслуговування всіх транспортних засобів, сформованих у групу.

Аналіз чинних схем організації руху на регульованих перехрестях міських територій показав, що тривалість повного циклу світлофорного регулювання зазвичай варіюється в межах від 60 до 120 секунд. Тривалість роздільної фази істотно залежить від загальної тривалості циклу й зафіксована у межах від 15 до 90 секунд. Для досягнення репрезентативності результатів у моделюванні прийнято дискретність зміни параметрів: для тривалості циклу – 20 секунд, для тривалості роздільної фази – 15 секунд. Такий підхід дозволяє дослідити весь діапазон можливих варіацій і сформувати більш детальну картину впливу параметрів регулювання на транспортні потоки.

У ході моделювання здійснено розрахунок низки ключових показників: пропускної здатності зупинного пункту; кількості посадкових майданчиків, необхідних для обслуговування всіх прибуваючих транспортних засобів; відповідності умов формуванню груп транспортних засобів; кількості транспортних засобів у групах за умови їх фактичного утворення.

Окремо було змодельовано два варіанти організації процесу пасажирообміну. У першому випадку розглядався варіант посадки через двоє дверей за умови одностороннього руху пасажирів, що забезпечує відносно швидке завантаження та розвантаження транспортних засобів. У другому випадку аналізувалася посадка через одні двері з двостороннім рухом пасажирів,

яка, зазвичай, супроводжується збільшенням тривалості операцій посадки-висадки та може знижувати ефективність обслуговування.

Практична цінність проведених розрахунків полягає в можливості адаптації параметрів світлофорного регулювання для конкретних умов функціонування зупинних пунктів. Наприклад, у випадку високої інтенсивності пасажиропотоку доцільно збільшувати тривалість роздільної фази, водночас забезпечуючи достатню кількість посадкових майданчиків, аби уникнути виникнення транспортних затримок. Натомість у менш завантажених районах ефективним може бути використання коротших циклів регулювання з мінімальною кількістю майданчиків.

Отримані результати моделювання дозволяють сформулювати методичні рекомендації для органів міського планування та транспортних підприємств щодо вибору оптимальних параметрів світлофорного регулювання та організації посадкових майданчиків. Це сприяє підвищенню якості транспортного обслуговування, скороченню часу перебування транспортних засобів на зупинках і зменшенню ймовірності утворення заторів у зоні зупинного пункту.

Результати моделювання, визначені для першого варіанта, наведено у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Результати моделювання максимальної пропускної здатності зупинного пункту залежно від параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків (посадка через два двері з одностороннім рухом)

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільної фази, с	Пропускна здатність зупиночного пункту, од/год	К-ть посадкових майданчиків на зупиночному пункті, од	Формування груп транспортних засобів / к-ть ТЗ в групі
1	2	3	4	5

60	15	117	2	Так/2
	30	244	3	Так/2
	45	387	5	Ні/-
80	15	88	2	Так/2
	30	189	3	Так/3
	45	290	4	Так/2
	60	391	5	Ні/-
100	15	70	2	Так/2
	30	151	3	Так/3
	45	232	3	Так/3
	60	313	4	Так/2
	75	394	5	Ні/-
120	15	59	2	Так/2
	30	126	3	Так/3
	45	194	3	Так/3
	60	261	4	Так/3
	75	325	4	Так/2
	90	395	5	Так/2

У таблиці 3.5 виділено кольором ті рядки, у яких подано значення тривалості роздільної фази світлофорного регулювання, що забезпечує формування груп транспортних засобів такої чисельності, яка відповідає кількості посадкових майданчиків. Це, у свою чергу, гарантує можливість обслуговування всіх транспортних засобів, що прибувають на зупинний пункт.

Дослідження показали, що зазначена умова виконується у випадках, коли відношення тривалості роздільної фази світлофорного регулювання до загальної тривалості циклу не перевищує 0,4. Водночас результати моделювання свідчать, що у разі, коли дане співвідношення перевищує поріг 0,4, під час дії роздільної фази на зупинку прибувають транспортні засоби, які не формують узгоджених груп. Для їхнього обслуговування виникає необхідність у використанні більшої

кількості посадкових майданчиків, ніж це передбачено для транспортних груп, що утворюються під час дії забороняючої фази світлофорного циклу.

На основі отриманих даних побудовано графіки, що відображають залежності пропускної здатності зупинного пункту від тривалості роздільної фази світлофорного регулювання за умов організації посадки пасажирів через дві двері з одностороннім рухом. При цьому кількість посадкових майданчиків визначалась із дотриманням вимоги уникнення утворення дорожніх заторів перед зупинним пунктом, що є ключовим чинником у забезпеченні стабільної роботи транспортної системи.

Зазначені графіки наведено малюнку 3.2.

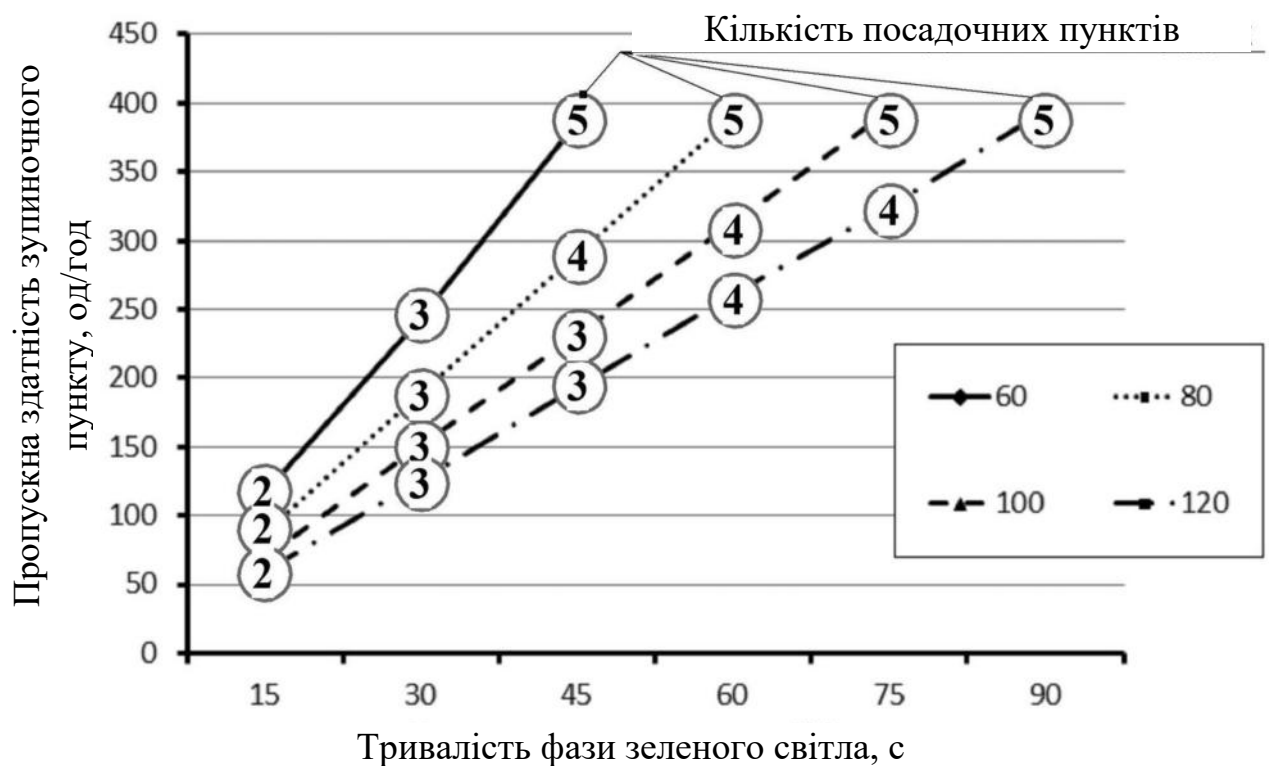


Рисунок 3.2 – Залежності пропускної здатності зупинного пункту від тривалості роздільної здатності фази світлофорного регулювання при посадці пасажирів через дві двері з одностороннім рухом (автобуси середнього класу)

Результати моделювання, що були отримані у процесі аналізу організації пасажирообміну за схемою посадки та висадки пасажирів через двері з двостороннім рухом, представлені у таблиці 3.6. Як і у попередній таблиці 3.5, у ній спеціальним кольоровим виділенням позначені рядки, що відображають

значення тривалості роздільної фази світлофорного регулювання, які забезпечують утворення груп транспортних засобів такої чисельності, що відповідає наявній кількості посадкових майданчиків. Це дає можливість гарантувати безперебійне обслуговування всіх транспортних одиниць, що прибувають до зупинного пункту. Встановлено, що для даного варіанта організації пасажирообміну така відповідність досягається за умови, коли співвідношення між тривалістю роздільної здатності фази світлофорного регулювання та повною тривалістю циклу не перевищує значення 0,3.

З наукової точки зору, цей результат підтверджує важливість урахування часових параметрів світлофорного регулювання під час проєктування транспортної інфраструктури, зокрема зупинних пунктів масового пасажирського обміну. Дослідження показує, що параметри циклічної роботи світлофорів безпосередньо впливають на можливість синхронізованого обслуговування транспортних потоків та зменшення затримок у русі. У разі, коли тривалість роздільної фази перевищує граничне значення, виникає дисбаланс між кількістю транспортних засобів, що накопичуються, і можливістю їх своєчасного обслуговування зупинним пунктом, що може призводити до заторів, збільшення часу очікування пасажирів і зниження загальної ефективності транспортної системи.

Отримані дані мають практичне значення для оптимізації міських пасажирських перевезень. Вони можуть бути використані при розробці алгоритмів адаптивного регулювання світлофорних об'єктів, які враховують динаміку руху транспортних засобів громадського транспорту. Застосування таких підходів дозволяє досягти більш рівномірного розподілу пасажиропотоків, мінімізувати ймовірність перевантаження окремих ділянок дорожньої мережі та підвищити загальний рівень комфорту й безпеки пасажирів.

Таблиця 3.6 – Результати моделювання максимальної пропускної здатності зупинного пункту залежно від параметрів світлофорного регулювання та кількості посадкових майданчиків (посадка через одні двері з двостороннім рухом)

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільної фази, с	Пропускна здатність зупиночного пункту, од/год	К-ть посадкових майданчиків на зупиночному пункті, од	Формування груп транспортних засобів / к-ть ТЗ в групі
1	2	3	4	5
60	15	116	2	Так/2
	30	378	6	Так/3
	45	565	8	Ні/-
80	15	110	3	Так/3
	30	282	4	Так/3
	45	424	6	Так/3
	60	565	8	Так/2
100	15	105	3	Так/3
	30	212	4	Так/4
	45	348	5	Так/4
	60	444	6	Так/3
	75	565	8	Так/2
120	15	88	3	Так/3
	30	176	4	Так/4
	45	290	5	Так/5
	60	391	6	Так/4
	75	472	7	Так/3
	90	565	8	Так/2

Отримані дані дозволили візуалізувати залежність пропускної спроможності зупинного пункту від тривалості інтервалів світлофорного регулювання для умов посадки пасажирів через єдині двері при двосторонньому русі. Оптимальна кількість посадкових майданчиків була розрахована з урахуванням вимоги повного усунення ризику виникнення дорожніх заторів перед зупинним пунктом. Візуальне представлення цих залежностей наведено на рисунку 3.3.

Проведене дослідження дає змогу визначити параметри світлофорного регулювання, необхідні для досягнення цільових показників пропускної спроможності. Інноваційність запропонованого підходу полягає у відході від традиційних методів. Замість поодинокого обслуговування транспортних засобів, пропонується формування групових транспортних потоків з подальшим їхнім синхронним обслуговуванням. Це досягається шляхом створення спеціалізованої інфраструктури зупинного пункту, що включає розширену кількість посадкових майданчиків, адаптованих для одночасної обробки групи транспортних засобів.

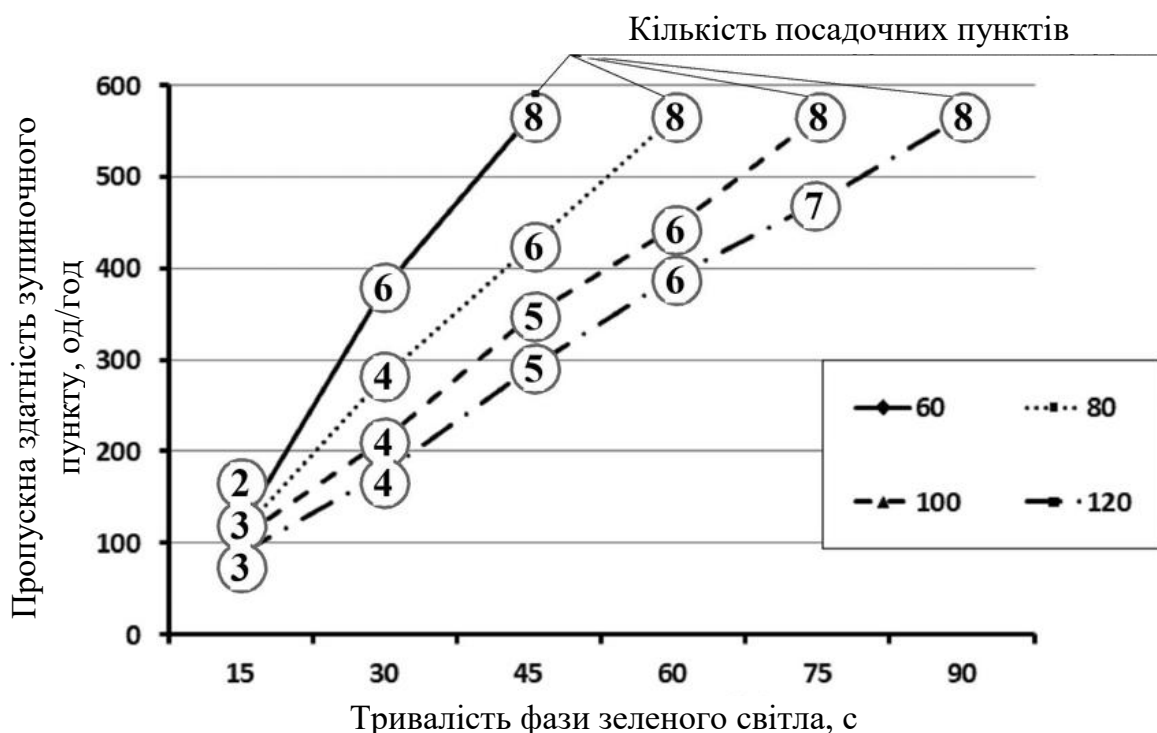


Рисунок 3.3 – Залежність максимальної пропускної здатності зупинного пункту від тривалості роздільної здатності фази світлофорного регулювання при посадці пасажирів через одні двері з двостороннім рухом (автобуси малого класу)

Однією з ключових передумов реалізації даного підходу є забезпечення достатнього рівня пропускної здатності смуги руху на регульованому перехресті. Для перевірки виконання цієї умови було застосовано розроблену математичну модель, яка дала змогу отримати кількісні результати, що демонструють залежність фактичної пропускної здатності смуги від параметрів роботи світлофорного регулювання. Ці результати дозволяють не лише оцінити ефективність функціонування транспортного потоку за різних режимів керування, але й визначити оптимальні значення тривалості сигналів світлофора для забезпечення стабільного та безпечного руху. Узагальнені результати розрахунків наведені в таблиці 3.7, яка слугує основою для подальшого аналізу й обґрунтування управлінських рішень у сфері транспортної організації.

Таблиця 3.7 - Залежність пропускної здатності регульованого перетину від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання

Повна тривалість циклу, с	Тривалість дозвільної фази, с	Частка дозвільної фази від повної тривалості циклу, од	Пропускна здатність смуги на регульованому перехресті, од/год
1	2	3	4
60	12	0,2	90
	24	0,4	198
	36	0,6	306
	48	0,8	414
80	16	0,2	95
	32	0,4	203
	48	0,6	311
	64	0,8	419
100	20	0,2	97

	40	0,4	205
	60	0,6	313
	80	0,8	421
120	24	0,2	99
	48	0,4	207
	72	0,6	315
	96	0,8	423

У дослідженні як вихідні параметри використано повну тривалість циклу світлофорного регулювання та тривалість роздільної фази, яка забезпечує пропуск транспортних засобів певного напрямку. Поєднання цих величин дозволяє отримати відносний показник — частку роздільної фази у загальному циклі. Цей коефіцієнт виступає інтегральним вхідним параметром, що визначає ефективність світлофорного регулювання з погляду пропускної здатності транспортної мережі та організації пасажирообміну. Такий підхід дає змогу формалізувати вплив керування світлофорами на процес функціонування зупинок громадського транспорту, враховуючи як часові затримки, так і можливість синхронізації руху.

Другою групою даних, критично важливою для практичної реалізації запропонованої методики, є залежність пропускної здатності зупинного пункту від кількості посадкових майданчиків. Ці залежності отримано за допомогою математичного моделювання, що враховує організацію пасажирообміну. Модель опрацьовувалася для двох основних варіантів: двосторонній рух пасажирів через одні двері та односторонній пасажирообмін через два двері. Результати моделювання зведені у таблицю 3.8, яка наочно демонструє вплив організації руху пасажирів і кількості зупиночних майданчиків на загальну пропускну здатність пункту.

На підставі аналізу отриманих результатів зроблено висновок щодо виконання третього завдання дослідження. Побудовані залежності дозволяють

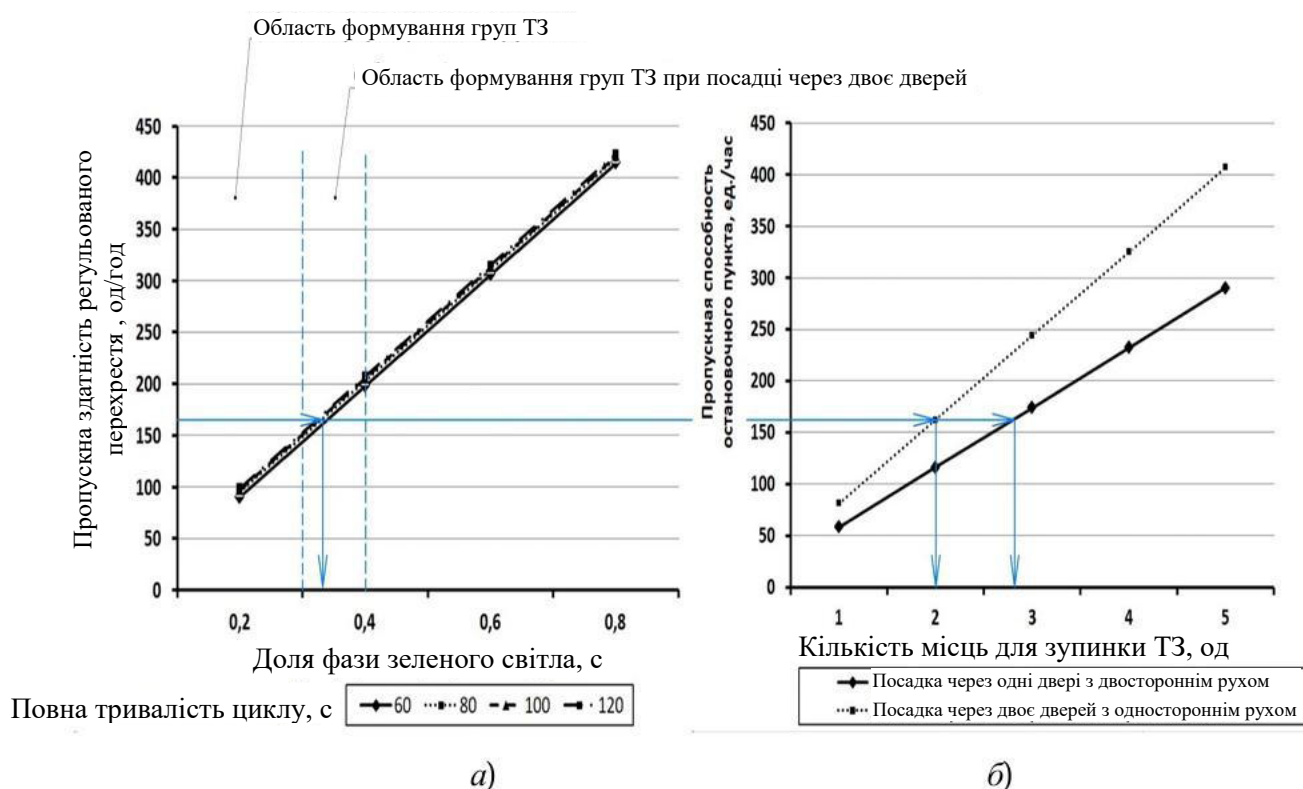
визначати оптимальні параметри світлофорного регулювання, які забезпечують максимально можливу продуктивність роботи зупинок громадського транспорту. Особливу увагу приділено тому, що у процесі враховано явище мимовільного групування транспортних засобів та їх синхронного прибуття до зупинок, що у міських умовах є надзвичайно поширеним. Практичне значення результатів дослідження полягає у можливості застосування моделі під час удосконалення транспортної інфраструктури великих міст України. Наприклад, у Києві, де інтенсивність руху автобусів і тролейбусів на головних магістралях (проспект Перемоги, Харківське шосе) часто призводить до скупчення кількох транспортних засобів на одній зупинці, оптимізація світлофорного регулювання може знизити затримки, синхронізувавши прибуття транспортних засобів до зупинки та рівномірно розподіливши пасажиропотоки. У Харкові, де транспортні вузли в центральній частині міста (наприклад, площа Конституції чи площа Свободи) характеризуються високою концентрацією маршрутів, використання запропонованої моделі може допомогти при проектуванні багатоплатформових зупинок, які забезпечують швидкий пасажирообмін навіть у пікові години. Аналіз частки роздільної фази світлофорного циклу дозволяє розрахувати оптимальні інтервали, коли пасажирський транспорт отримує пріоритет, що особливо актуально для розвитку системи швидкісного громадського транспорту.

У Львові, де вузькі вуличні коридори історичної частини міста створюють додаткові обмеження для громадського транспорту, впровадження таких методик може сприяти скороченню часу простою на зупинках та зниженню навантаження на дорожню мережу. Це важливо і з точки зору екології, адже зменшення затримок знижує рівень викидів від транспорту.

Таким чином, розроблений підхід можна розглядати як інструмент для інтеграції класичних методів транспортного моделювання з інтелектуальними транспортними системами. Це створює умови для впровадження пріоритету громадського транспорту на світлофорних об'єктах, підвищення ефективності використання інфраструктури та поліпшення якості транспортного обслуговування населення.

Таблиця 3.8 - Залежність пропускної здатності зупинного пункту від кількості посадкових майданчиків

К-ть посадочних майданчиків		1	2	3	4	5
Пропускна здатність зупинного пункту	Посадка через одні двері з двостороннім рухом	58	116	174	232	290
	Посадка через дві двері з одностороннім рухом	81	162	244	325	407



а) – залежність пропускної здатності регульованого перетину від співвідношення тривалості фаз світлофорного регулювання

б) – залежність пропускної здатності зупинного пункту від кількості посадкових майданчиків

Рисунок 3.4 – Визначення параметрів світлофорного регулювання, що забезпечують пропускну здатність зупинного пункту відповідної інтенсивності руху транспортних засобів

На підставі даних, поданих у таблицях 3.7 та 3.8, побудовано графіки, подані на малюнку 3.4. Комбіноване застосування даних графіків дозволяє визначити параметри світлофорного регулювання, і кількість посадочних майданчиків на зупиночному пункті, що забезпечують задану пропускну здатність ділянки вулично-дорожньої мережі.

Спільне використання графічних методів аналізу передбачає паралельне побудування осей ординат, які характеризують пропускну здатність регульованого перехрестя та зупинного пункту громадського транспорту, причому масштабні коефіцієнти для обох осей встановлюються ідентичними з метою забезпечення коректності порівняння. На отриманих графіках проводиться горизонтальна лінія, яка відповідає максимально можливій інтенсивності руху пасажирських транспортних засобів у досліджуваних умовах. Абсциси точок перетину цієї лінії з кривими пропускну здатності відображають, з одного боку, мінімально допустиму частку тривалості фази світлофорного регулювання відносно загального циклу, а з іншого – необхідну кількість посадкових майданчиків на зупиночному пункті, що гарантують досягнення заданого рівня пропускну здатності.

Отримані значення частки роздільної здатності фази світлофора безпосередньо визначають можливість формування груп транспортних засобів певної чисельності, яка має узгоджуватися з кількістю посадкових майданчиків на зупинці. Якщо розрахункова величина цієї частки становить менше ніж 0,3, то умови формування груп виконуються незалежно від обраної схеми пасажирообміну. За значень у межах 0,3–0,4 забезпечення необхідного рівня пропускну здатності можливе лише за умови організації одностороннього пасажирообміну з використанням двох дверей транспортного засобу. Це свідчить про важливість врахування взаємозв'язку між параметрами

світлофорного регулювання та геометрією зупинного пункту при моделюванні транспортних потоків.

Оскільки режим роботи світлофорного регулювання має системний вплив на усі транспортні потоки, що проходять через регульоване перехрестя, актуальним є пошук балансованих рішень. Одним із них виступає оптимізація кількості посадкових майданчиків на зупинному пункті за умов фіксованих параметрів світлофорних фаз. Це дозволяє мінімізувати затримки руху та підвищити ефективність використання існуючої дорожньої інфраструктури. У випадку ж, коли розглядається зміна самих параметрів світлофорного регулювання (наприклад, тривалості фаз, структури циклу чи пріоритету громадського транспорту), необхідно проводити комплексну оцінку впливу таких змін на динаміку руху всієї транспортної системи у межах даного перетину.

З академічної точки зору, такий підхід відповідає концепції багатокритеріальної оптимізації транспортних процесів, де враховуються не лише показники пропускної здатності окремих вузлів, а й інтегральні характеристики транспортної мережі загалом. Це підкреслює доцільність використання математичного моделювання, методів імітаційного експерименту та спеціалізованого програмного забезпечення для прогнозування впливу зміни параметрів світлофорного регулювання і конфігурації зупинок на ефективність функціонування міського безрейкового пасажирського транспорту.

Таким чином, удосконалення організації зупинних пунктів у взаємозв'язку зі світлофорним регулюванням є важливим напрямом підвищення пропускної здатності вулично-дорожньої мережі. Практичні результати таких рішень сприяють скороченню часу поїздок, зниженню рівня заторів, а також покращенню умов перевезення пасажирів у міському середовищі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ І БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Безпека праці при керуванні автобусом для перевезення пасажирів

Згідно Типової інструкції з охорони праці для водія автобуса до самостійної роботи в якості водія автобуса допускаються особи, які пройшли:

- вступний інструктаж;
- інструктаж з пожежної безпеки;
- первинний інструктаж на робочому місці;
- навчання безпечним методам і прийомам праці не менше ніж по 10 годинній програмі (для робіт, до яких пред'являються підвищені вимоги безпеки - 20 годинною програмою);
- інструктаж з електробезпеки на робочому місці і перевірку засвоєння його змісту з присвоєнням кваліфікаційної групи I.

Для виконання обов'язків водія автобуса допускаються особи, що мають посвідчення на право керування даною категорією транспорту, не мають медичних протипоказань для даної професії, які досягли 20 річного віку.

Вимоги безпеки перед початком роботи:

1. Переконатися в справності одягу. Перед початком роботи водій зобов'язаний пройти перед рейсовий медичний огляд.
2. Переконатися у повній справності автобуса і перевірити технічний стан автобуса та його зовнішній вигляд.
3. У разі виявлення несправностей на лінію не виїжджати до повного їх усунення та повідомити про це адміністрацію транспортного відділу.
4. Заправку автобуса паливом проводити після зупинки двигуна. Під час заправки машини паливом пасажирів перебувати в салоні автобуса забороняється. На території автозаправної станції не допускається: курити, проводити будь-які ремонтно-регулювальні роботи, заливати паливо в сторонні ємності, відкривати кришки бензобака металевими предметами.

Вимоги безпеки під час роботи:

1. Перш ніж почати рух з місця зупинки (стоянки) або виїхати з гаража, переконатися, що це безпечно для робітників та інших сторонніх осіб та подати попереджувальний сигнал.

2. Бути уважним та обережним при русі з місця заднім ходом. При недостатній оглядовості або видимості слід скористатися допомогою іншої особи.

3. Швидкість руху вибирати з урахуванням дорожніх умов, видимості і оглядовості, інтенсивності та характеру руху транспортних засобів і пішоходів, особливостей та стану автобуса.

4. Виконувати вимоги безпеки руху і вказівки регулювальників дорожнього руху відповідно до Правил дорожнього руху.

5. Залишати автобус дозволяється тільки після вжиття заходів, що виключають можливість його руху під час відсутності водія.

6. При ремонті автобуса на лінії дотримуватися запобіжних заходів: з'їхати на узбіччя дороги, включити задній світло при поганій видимості, зупинити автобус за допомогою гальмівної системи, включити першу передачу, підкласти під колеса упори. При роботі на узбіччі під машиною перебувати з протилежного боку проїжджої частини. Не допускати до ремонту автобуса осіб, які не мають на це право.

7. Водієві автобуса не дозволяється:

- керувати автобусом в стані алкогольного сп'яніння або під впливом наркотичних засобів;
- виїжджати в рейс (на лінію) в хворобливому стані або при такому ступені втоми, яка може вплинути на безпеку руху;
- передавати керування автобусом іншим особам;
- виконувати буксирування автобуса з метою пуску двигуна, а також з пасажирями в салоні автобуса;
- протирати двигун ганчір'ям, змоченим бензином і курити в безпосередній близькості від системи живлення двигуна і паливних баків.

8. При пересуванні та постановці автобуса на посадку технічного обслуговування необхідно стежити за правильним положенням коліс

відносно напрямних ребер оглядової канави, естакади. Встановлений на пост автобус надійно загальмувати стоянковим гальмом і поставити під колеса упори, а на автобусі з механічною коробкою передач, крім того, включити нижчу передачу.

9. При ремонті автобуса утримувати робоче місце в чистоті і не захащувати сторонніми предметами. Зливати масло і воду тільки в спеціальну тару.

Вимоги безпеки після закінчення роботи:

1. Після повернення з лінії разом з механіком транспортного відділу перевірити автобус. У разі необхідності скласти заявку на поточний ремонт з переліком несправностей, що підлягають усуненню.

2. Автобус очистити від бруду та пилу, поставити у встановлене місце, переконатися тому, що немає можливості виникнення пожежі і затягнути важіль стоянкової гальмівної системи.

3. Здати дорожнього (маршрутного) листа диспетчеру або відповідальній особі.

4. Після закінчення роботи руки і обличчя вмити теплою водою з милом, по можливості прийняти душ. Застосовувати для миття хімічні речовини забороняється.

4.2 Безпека у надзвичайних ситуаціях

Надзвичайною ситуацією на автомобільному пасажирському транспорті є аварійна ситуація, яка може виникнути в основному при дорожньо-транспортній пригоді.

У разі причетності до дорожньо-транспортної пригоди водій зобов'язаний:

1. Негайно зупинити транспортний засіб і залишатись на місці пригоди.

2. Увімкнути аварійну сигналізацію і встановити знак аварійної зупинки.

3. Не переміщати транспортний засіб і предмети, що мають відношення до пригоди.

4. Вжити можливих заходів для подання першої медичної допомоги потерпілим, викликати карету швидкої медичної допомоги, а якщо це неможливо, звернутися за допомогою до присутніх і відправити потерпілих до лікувального закладу.

5. У разі неможливості виконати дії, викладені в пункті 4, відвезти потерпілого до найближчого лікувального закладу своїм транспортним засобом, попередньо зафіксувавши розташування слідів пригоди, а також положення транспортного засобу після його зупинки; у лікувальному закладі повідомити своє прізвище та номерний знак транспортного засобу (з пред'явленням посвідчення водія або іншого документа, який засвідчує особу реєстраційного документа на транспортний засіб) і повернутися на місце пригоди.

6. Повідомити про дорожньо-транспортну пригоду органи поліції, записати прізвища і адреси очевидців, чекати прибуття працівників поліції.

7. Вжити всіх можливих заходів для збереження слідів пригоди, огороження їх та організувати об'їзд місця пригоди.

8. До проведення медичного огляду не вживати без призначення медичного працівника алкоголю, наркотиків, а також лікарських препаратів, виготовлених на їх основі (крім тих, які входять до складу офіційно затвердженої аптечки).

Аварійна ситуація при проведенні технічного обслуговування чи ремонті може виникнути у разі падіння вивішеного автобуса, падіння з висоти, ураження електричним струмом та інше.

При виникненні такої ситуації слід негайно припинити роботу, виключити обладнання, огородити небезпечну зону, не допускати до неї сторонніх осіб. Повідомити про те, що сталося, керівника робіт. Якщо є потерпілі — надати їм першу медичну допомогу; при необхідності викликати "швидку допомогу".

При виникненні несправності в роботі двигуна, прийняти вправо, з'їхати на узбіччя дороги і зупинити автобус. Рух продовжити тільки після усунення виниклої несправності.

Несправну машину брати на буксир за допомогою спеціальних пристосувань можна тільки після дозволу інспектора Державної інспекції з безпеки дорожнього руху.

4.3. Автомобільний транспорт та навколишнє середовище

Транспорт є однією з найважливіших галузей суспільного виробництва і покликаний задовольняти потреби населення та суспільного виробництва в перевезеннях. Одночасно транспорт є одним з основних забруднювачів навколишнього природного середовища. Так, тільки один автомобіль у середньому на рік викидає разом з випускними газами близько 800 кг окису вуглеводню, приблизно 40 кг оксидів азоту та понад 200 кг різноманітних вуглеводів. Тому запобігання шкідливому впливу всіх видів транспорту на навколишнє природне середовище є одним із найголовніших завдань природоохоронної діяльності держави.

Основні правові норми, які закріплюють правові заходи по охороні навколишнього природного середовища від шкідливого впливу транспорту, містяться в Законах України від 26 червня 1991 року «Про охорону навколишнього природного середовища» [23], від 16 жовтня 1992 року «Про охорону атмосферного повітря» та від 10 листопада 1994 року «Про транспорт». Крім того, щодо окремих видів транспорту є спеціальні нормативні акти, які також закріплюють правові заходи екологічної безпеки транспортних засобів.

Основними напрямками охорони навколишнього природного середовища на транспорті є зниження токсичності та нейтралізація шкідливих речовин, які містяться у викидах та скидах транспортних засобів, а також поступовий перехід на нові види енергії та пального. Ці напрямки посідають певне місце в чинному законодавстві. Відповідно до закону «Про охорону навколишнього природного середовища» (ст.56) [23] на підприємства, установи, організації, що здійснюють проектування, виробництво, експлуатацію та обслуговування автомобілів, літаків, суден, інших пересувних засобів, установок та виробництво і постачання пального, покладені певні обов'язки щодо забезпечення екологічної безпеки

транспортних засобів. Так, вони зобов'язані розробляти та здійснювати заходи по знищенню токсичності та знешкодженню шкідливих речовин, що містяться у викидах та скидах транспортних засобів, переходу на менш токсичні види пального, додержання режиму експлуатації транспортних засобів та інші заходи, спрямовані на запобігання й зменшення викидів та скидів у навколишнє природне середовище забруднюючих речовин та додержання встановлених рівнів фізичних впливів.

При експлуатації транспортних засобів в атмосферне повітря викидаються відпрацьовані гази, що містять забруднюючі речовини, а також відбувається шкідливий вплив їх фізичних факторів. З метою охорони навколишнього природного середовища від забруднення та шкідливого впливу фізичних факторів транспортних засобів для кожного типу пересувних джерел, що експлуатуються на території України, встановлюються нормативи вмісту забруднюючих речовин у відпрацьованих газах та шкідливого впливу їх факторів. Ці нормативи розробляються з урахуванням наявності технічних рішень щодо зменшення утворення забруднюючих речовин, зниження рівня шкідливого впливу фізичних факторів, очищення відпрацьованих газів та економічної доцільності. Порядок розробки і затвердження цих нормативів встановлюється Міністерством охорони навколишнього природного середовища України і Міністерством охорони здоров'я України. Виробництво та експлуатація транспортних засобів, у яких вміст забруднюючих речовин у відпрацьованих газах перевищує нормативи або рівні шкідливого впливу фізичних факторів, забороняються.

Чинне законодавство України передбачає певні вимоги щодо охорони довкілля при ввезенні транспортних засобів на територію України. Так, з метою поліпшення екологічної ситуації в країні з 1 січня 1997 року дозволяється ввезення на митну територію України лише тих легкових автомобілів (код ТН ЗЕД 87.03), які обладнані пристроєм для нейтралізації ядучих фракцій випускних газів (каталізатором). З 1 січня 2003 року експлуатація легкових автомобілів, не обладнаних каталізатором, забороняється.

Відносно транспортних засобів, що перетинають пункти пропуску через державний кордон України, обов'язково здійснюється екологічний контроль за додержанням екологічних норм та правил транспортними засобами. Цей контроль проводиться безпосередньо на кордоні державними інспекторами з охорони навколишнього природного середовища Міністерства охорони природнихресурсівУкраїни.

Згідно з Правилами ввезення транспортних засобів на територію України [40] забороняється ввезення в Україну для постійного користування механічних транспортних засобів, які на момент ввезення були виготовлені п'ять і більше років тому.

Усі транспортні та інші пересувніз асоби, що експлуатуються на території України, мають бути піддані державному контролю за додержанням екологічної безпеки транспортних засобів. Нині державний контроль у забезпеченні додержання вимог законодавства про охорону навколишнього природного середовища на транспорті здійснюється радами та їх виконавчими і розпорядчими органами,Міністерством охорони навколишнього природного середовища України, його органами на місцях, органами місцевого самоврядування та іншими спеціально уповноваженими державними органами.

У разі порушення екологічного законодавства керівники транспортних організацій та власники транспортних засобів несуть юридичну відповідальність за додержання нормативів гранично допустимих викидів та скидів забруднюючих речовин і гранично допустимих рівнів фізичних впливів на навколишнє природне середовище, встановлених для відповідного типу транспорту, а також за інші порушення екологічних вимог на транспорті.

Встановлюється наступний порядок вирахування збору за забруднення навколишнього середовища:

- суми збору, що стягуються за викиди стаціонарними джерелами забруднення, за скидання й розміщення відходів, обчислюються платниками самостійно щокварталу наростаючим підсумком з початку року виходячи з фактичних обсягів викидів, нормативів збору й установлених по місцезнаходженню цих джерел коригувальних коефіцієнтів;

- суми збору, що стягуються за викиди пересувними джерелами забруднення, обчислюються платниками самостійно щокварталу наростаючим підсумком з початку року, виходячи з кількості фактично використаного пального і його виду, на підставі нормативів збору за ці викиди й певних по місцю податкової реєстрації платників коригувальних коефіцієнтів;

- суми збору, що стягуються за скидання у водні об'єкти, обчислюються платниками самостійно щокварталу наростаючим підсумком з початку року на підставі затверджених лімітів, виходячи з фактичних обсягів скидів, нормативів збору й певного по місцезнаходженню джерела забруднення коригувального коефіцієнта.

Значним забруднювачем довкілля є транспортна галузь, зокрема її рухомі засоби (автомобілі), що використовують як пальне різні види нафтопродуктів, а також стаціонарні об'єкти матеріально-технічного забезпечення (склади паливо-мастильних матеріалів, заправні станції, станції технічного обслуговування, майстерні тощо). Значної шкоди довкіл्लю завдають відпрацьовані гази автомобілів, пально-мастильні матеріали, зливні води після миття автомобілів та їх агрегатів, пари різних шкідливих речовин, кислот, матеріалів, які використовуються в технологічних процесах ремонту автомобілів. Через великі обсяги використання пального автотранспорт забруднює навколишнє природне середовище токсичними компонентами: на рівні 25 відсотків - солями свинцю, на рівні 50 відсотків - оксидом вуглецю. У 24 великих містах України, зокрема в Києві, Харкові, Севастополі, Одесі, шкідливі викиди в атмосферне повітря наслідок роботи автотранспорту перевищують 50 відсотків загальної кількості.

Потужним забруднювачем довкілля в області є транспорт. Протягом останніх років викиди шкідливих речовин від транспорту склали 84 тис.т, що на 9% більше, ніж за попередні роки. Значна питома вага 89% (75 тис.т) викидів шкідливих речовин припадає на автотранспорт. Найбільша частка 77% (58 тис.т) викидів забруднюючих речовин припадає на автотранспорт, який працює на бензині. Від автомобілів, що використовують дизельне паливо, потрапило в атмосферу 11 тис.т, стиснений та зріджений газ – 6 тис.т.

Основними токсичними компонентами, якими забруднюється повітря області від автотранспорту, є оксид вуглецю – 58 тис.т або 77%, не метанові леткі органічні сполуки – 9 тис.т (11%), діоксин азоту – 7 тис.т (9%), крім того діоксин вуглецю – 833 тис.т. Обсяг викидів забруднюючих речовин від автотранспорту в цілому по області у розрахунку на душу населення становить 44,7 кг та щільність викидів у розрахунку на квадратний кілометр території – 2,8 т, тоді як по містах обласного підпорядкування ці показники значно більші.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ ДО КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

У кваліфікаційній роботі проведено комплексне дослідження проблеми зниження пропускної здатності зупинок міського пасажирського транспорту та розроблено науково обґрунтовані підходи до її підвищення. В ході аналізу літературних джерел і практичного досвіду було виявлено ключові фактори, що впливають на ефективність функціонування зупиночних пунктів, серед яких – параметри світлофорного регулювання, кількість посадкових майданчиків та організація пасажирообміну.

Розроблено математичну модель, що дозволяє визначати оптимальні параметри пропускної здатності зупинки з урахуванням режимів світлофорного регулювання та формування груп транспортних засобів. Виконане моделювання підтвердило доцільність урахування явища синхронного прибуття кількох транспортних засобів та його вплив на затримки пасажирів.

Практичне значення дослідження полягає у можливості використання отриманих результатів органами міського планування та транспортними підприємствами. Запропоновані методичні рекомендації дозволяють оптимізувати організацію зупинок, скоротити час очікування та підвищити рівень комфортності й безпеки перевезень.

Таким чином, сформовані у роботі теоретичні положення, аналітичні результати та рекомендації створюють основу для подальших наукових досліджень і практичних розробок, спрямованих на модернізацію міських транспортних систем, підвищення їх ефективності та задоволення потреб населення у якісному транспортному обслуговуванні .

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Sun and M. Hickman, “The holding problem at multiple holding stations,” in Proc. 9th Int. Conf. CASPT, San Diego, CA, 2004. [23] Y. Shi and R. Eberhart, “A modified particle swarm optimizer,” in Proc. IEEE Int. Conf. Evol. Comput., Piscataway, NJ, 1998, pp. 69–73.
2. Al-Mudhaffar, A., Nissan, A., & Bang, K.-L. (2016). Bus stop and bus terminal capacity. *Transportation Research Procedia*, 14, 1762–1771. <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2016.05.142>.
3. Asfoor, H. M. A., & Averyanov, Y. I. (2021, October). Bus Stop Points for Urban Passenger Transport and the Factors That Influence Their Capacity. In 2021 International Conference on Advance of Sustainable Engineering and its Application (ICASEA) (pp. 137-140).
4. Asfoor, H. M. A., Averyanov, Y. I., & Golenyaev, N. S. (2023, September). Improving the Bus Stops Capacity Depending on Capacity of Bus Lane and Regulated Intersection Capacity. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 1232, No. 1, p. 012050). IOP Publishing.
5. Averyanov, YI, Asfoor, HMA, & Golenyaev, NS (2021, March). Influence of the Speed of Motion of Public Motor Transport and the Time of the Green Signal of the Light Traffic on the Formation of Their Transport Flow. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 666, No. 4, p. 042085). IOP Publishing.
6. B. P. Gokulan and D. Srinivasan, “Distributed geometric fuzzy multiagent urban traffic signal control,” *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 11, no. 3, pp. 714–727, Sep. 2010.
7. B. Yu and Z. Yang, “A dynamic holding strategy in public transit systems with real-time information,” *Appl. Intell.*, vol. 31, no. 1, pp. 69–80, Aug. 2007.
8. Bobinger, R., Flowerdew, R., Hammond, T., Himanen, A., & Keller, H. (1991). Context and framework of Drive transportation evaluation. In Proc. Drive Conference (pp. 389-412). Elsevier Amsterdam.
9. C. E. Cortés, D. Sáez, F. Milla, A. Núñez, and M. Riquelme, “Hybrid predictive control for real-time optimization of public transport systems’ operations

based on evolutionary multi-objective optimization,” *Transp. Res. C, Emerging Technol.*, vol. 18, no. 5, pp. 757–769, 2010. MILLA et al.: BUS-STOP CONTROL BASED ON FUZZY RULE FOR OPERATION OF PUBLIC TRANSPORT SYSTEM 1403

10. C. E. Cortés, V. Burgos, and R. Fernández, “Modelling passengers, buses and stops in traffic microsimulation: Review and extensions,” *J. Adv. Transp.*, vol. 44, no. 2, pp. 72–88, Apr. 2010.

11. Chakroborty P, Deb K, Srinivas B 1998 Network-Wide Optimal Scheduling of Transit Systems Using Genetic Algorithms *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering* T 13 5 pp 363-376.

12. Construction Project Management by Controlling the Time, Cost and Quality / H. M. A. Asfoor, A. A. T. Al-Jandeel, K. Kozhevnikov, A. Lykova // *Lecture Notes in Civil Engineering*. – 2022. – Vol. 231. – P. 319-327.

13. D. Sáez, C. E. Cortés, F. Milla, A. Núñez, M. Riquelme, and A. Tirachini, “Hybrid predictive control strategy for a public transport system with uncertain demand,” *Transpormetrica*, vol. 8, no. 1, pp. 61–86, 2012.

14. D. Teodorovic and P. Lucic, “Schedule synchronization in public transit using the fuzzy ant system,” *Transp. Planning Technol.*, vol. 28, no. 1, pp. 47–76, Feb. 2005.

15. Dell’Olio L, Moura J, Ibeas A 2006 Bi-Level Mathematical Programming Model for Locating Bus Stops and Optimizing Frequencies *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 23 31. 125

16. E. Mamdani, “Applications of fuzzy algorithms for simple dynamic plant,” *Proc. IEEE*, vol. 121, no. 12, pp. 1585–1588, Dec. 1974.

17. F. van den Bergh and A. Engelbrecht, “A new locally convergent particle swarm optimizer,” in *Proc. IEEE Int. Conf. Syst. Man Cybern.*, 2002, pp. 96–101.

18. Fernandez R., Tyler N. Effect of passenger–bus–traffic interactions on bus stop operations // *Transportation Planning and Technology*. – 2005. – T. 28. – №. 4. – C. 273-292.

19. Fernandez, R. (1999). Design of bus-stop priorities. *Traffic Engineering and Control*, 40, 335-339.

20. Fernandez, R., & Planzer, R. (2002). On the capacity of bus transit systems. *Transport reviews*, 22(3), 267-293.
21. G. Fang, N. Ming, and Q. Ha, "Automatic fuzzy membership function tuning using the particle swarm optimization," in *Proc. IEEE Pacific-Asia Workshop Comput. Intell. Ind. Appl.*, 2008, vol. 2, pp. 324–328.
22. G. Lin, P. Liang, P. Schonfeld, and R. Larson, "Adaptive control of transit operations," U.S. Dept. Transp., Washington, DC, Final Rep. MD-26 7002, 1995.
23. Ghasemlou K, Aydın M M, Yıldırım M S 2015 Comparison of delay time models for oversaturated traffic flow conditions at signalized intersections *international journal of advanced science and technology* T 8 pp 9-18. 109. Robbins G. Increasing Bus Speed through Improved Stop Spacing / G. Robbins. - San Francisco Municipal Railway - San Francisco, CA., 1988.
24. Highway Capacity Manual 2000. - Transportation Research Board, National Research Council. - Washington, D.C., USA, 2000, - 1134 p.
25. J. E. Naranjo, C. González, J. Reviejo, R. G. Rosa, and T. D. Pedro, "Adaptive fuzzy control for inter-vehicle gap keeping," *IEEE Trans. Intell. Transp. Syst.*, vol. 4, no. 3, pp. 132–142, Sep. 2003.
26. J. Espinosa, J. Vandewalle, and V. Wertz, *Fuzzy Logic, Identification and Predictive Control*. New York: Springer-Verlag, 2004.
27. J. Kennedy, R. Eberhart, and Y. Shi, *Swarm Intelligence*. San Mateo, CA: Morgan Kaufmann, 2001.
28. L. Fu, Q. Liu, and P. Calamai, "Real-time optimization model for dynamic scheduling of transit operations," *Transp. Res. Rec.*, vol. 1857, pp. 48–55, 2003.
29. L. Zadeh, "Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision process," *IEEE Trans. Syst., Man, Cybern.*, vol. SMC-3, no. 1, pp. 28–44, Jan. 1973.
30. M. Hickman, "An analytic stochastic model for the transit vehicle holding problem," *Transp. Sci.*, vol. 35, no. 3, pp. 215–237, Jun. 2001.
31. N. Khoat and D. Bernard, "Rescheduling in the urban transportation networks," in *Proc. Int. Conf. Publ. Service Syst. Service Manage.*, Oct. 25–27, 2006, vol. 2, pp. 1501–1506.

32. O. Cordon, F. Herrera, F. Hoffmann, and L. Magdalena, Genetic Fuzzy Systems: Evolutionary Tuning and Learning of Fuzzy Knowledge Bases. Singapore: World Scientific, 2001.
33. O. Onifade, F. Oladejo, and T. Oyedeji, "Dynamic Bus Rapid Transit (BRT) resource management modeling using fuzzy logic paradigm," in Proc. InSITE Conf., 2010, pp. 317–329.
34. R. Babuska, Fuzzy Modeling for Control. Boston, MA: Kluwer, 1998.
35. R. Fernández, C. E. Cortés, and V. Burgos, "Microscopic simulation of transit operations: Policy studies with the MISTRANSIT application programming interface," Transp. Planning Technol., vol. 33, no. 2, pp. 157–176, 2010.
36. S. Zolfaghari, N. Azizi, and M. Jaber, "A model for holding strategy in public transit systems with real-time information," Int. J. Transp. Manage., vol. 2, no. 2, pp. 99–110, 2004.
37. Tyler, N.A. (1991). The contribution of expert opinion to the design of high-capacity bus priority systems. Computers & Structures, 40(1), 191-199.
38. X. J. Eberlein, N. H. M. Wilson, and D. Bernstein, "Modeling real-time control strategies in public transit operations," Lecture Notes Econ. Math. Syst., vol. 471, pp. 325–346, 1999.
39. X.-J. Eberlein, "Real-time control strategies in transit operations: Models and Analysis," Ph.D. dissertation, Mass. Inst. Technol., Cambridge, MA, 1995. [
40. X.-J. Eberlein, N. H. M. Wilson, and D. Bernstein, "The holding problem with real-time information available," Transp. Sci., vol. 35, no. 1, pp. 1–18, Feb. 2001.
41. Y. Houn and D. Teodorovic, "A DSS framework for advanced traffic signal control system investment planning," J. Public Transp., vol. 9, no. 4, pp. 87–106, 2006.
42. Віртуальна архітектура [Електронний ресурс]. – Режим доступу : https://studopedia.su/10_26158_arhitektura-kiberprostoru.html.
43. Вітвицька Є. В. Врахування нормативних параметрів клімату міст України у архітектурному проектуванні : навч. посібник / Є. В. Вітвицька, Д. О. Бондаренко / під ред. Є. В. Вітвицької. – Одеса : ОДАБА, 2015. – 261с.

44. ДБН Б.2.2-12:2019. Планування і забудова територій. На заміну: ДБН Б.2.2-12:2018. – [Чинний від 01.10.2019]. – Київ : Держбуд України, 2019. – 183 с.

45. ДБН В.2.3-4:2015 Автомобільні дороги. Частина І. Проектування. Частина ІІ. Будівництво.

46. ДБН В.2.3-5:2018 Вулиці та дороги населених пунктів. Зі Зміною № 1

47. Ковальчук О.В., Іванов Д.С. Дослідження параметрів руху груп транспортних засобів на вулично-дорожній мережі // Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету. – 2018. – № 83. – С. 106–111.

48. Любарський Р.Е. Проектування міських транспортних систем. – К.: будівельник, 1984. - 93 с.

49. Планування міст і транспорт : навч. посібник / О. С. Безлюбченко, С. М. Гордієнко, О. В. Завальний; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 271 с. ISBN 978-966-695-525-1

50. Поліщук В. П., Красильнікова О. В., Дзюба О. П. Транспортне планування міст. – Знання України. Київ. – 372 с. 2014. 978-966-316-347-5.

51. Стручок В. С. До питання захисту персоналу та населення внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС / Стручок Володимир Сергійович // Матеріали IV Міжнародної наукової конференції „Воєнні конфлікти та техногенні катастрофи: історичні та психологічні наслідки“, 18-19 квітня 2024 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2024. — С. 113–115. — (Вплив воєнних конфліктів та техногенних катастроф на безпеку життєдіяльності, локальні та глобальні екосистеми). – Харків, 2007. – 39 с.

52. Сучасні проблеми міських пасажирських перевезень [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://dspace.nau.edu.ua/bitstream/NAU/45785/1/02.pdf>.

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