

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Цьонь О.П.

«__» _____

2026 р.

**ЗАВДАННЯ
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Буксі Тарасу Володимировичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання та вдосконалення роботи міських автобусних маршрутів: інтервали, наповнюваність, час у дорозі, показники якості обслуговування пасажирів (комплексна тема)

керівник проекту (роботи)

Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи)

ВДМ міста Тернополя, транспортування пасажирів та міських маршрутах

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

Підрозділи 1.1, 1.2, 1.3, 2.1, 2.2, 2.3, 3.1, 3.2

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

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Окіпний І.Б., к.т.н., доц. зав. каф.</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.1	Характеристика міської транспортної системи та ролі автобусних перевезень на прикладі міста Тернополя	10.02.2026	
1.2	Аналіз маршрутної мережі міста	15.02.2026	
1.3	Параметри функціонування автобусних маршрутів (інтервали руху, швидкість, час у дорозі)	25.02.2026	
2.1	Постановка задачі моделювання роботи автобусного маршруту	10.03.2026	
2.2	Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту	17.03.2026	
2.3	Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту	03.04.2026	
3.1	Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час пасажирських перевезень	28.04.2026	
3.2	Режим праці та відпочинку водіїв	16.05.2026	

Студент _____
(підпис)

Букса Т.В. _____
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____
(підпис)

Дзюра В.О. _____
(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 Автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки _____

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри Цьонь О.П.

«__» _____ 2026 р.

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

Смечуку Вадиму Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Моделювання та вдосконалення роботи міських автобусних маршрутів: інтервали, наповнюваність, час у дорозі, показники якості обслуговування пасажирів (комплексна тема)

керівник проекту (роботи) _____

Дзюра Володимир Олексійович, д.т.н., проф.

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

затверджені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-32

2. Термін подання студентом проекту (роботи) 27 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

ВДМ міста Тернополя, транспортування пасажирів та міських маршрутах

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

Підрозділи 1.4, 1.5, 2.4, 2.5, 2.6, 2.7 3.3, 3.4

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

Матеріали графічної частини – 10 слайдів

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>Окіпний І.Б., к.т.н., доц. зав. каф.</i>		

7. Дата видачі завдання

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.4	Аналіз пасажиропотоків та наповнюваності рухомого складу	10.02.2026	
1.5	Висновки та постановка задач до кваліфікаційної роботи	15.02.2026	
2.4	Формування математичної моделі руху автобусів	25.02.2026	
2.5	Розрахунок часу руху та затримок на маршруті	10.03.2026	
2.6	Побудова аналітичної моделі роботи автобусного маршруту	17.03.2026	
2.7	Оцінювання показників якості транспортного обслуговування пасажирів	03.04.2026	
3.3	Характеристика надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті	28.04.2026	
3.4	Запобігання надзвичайним ситуаціям та організація дій у разі їх виникнення	16.05.2026	

Студент _____
(підпис)

Смечук В.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Дзюра В.О.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	8
ВСТУП	10
1. АНАЛІЗ ОБ’ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Характеристика міської транспортної системи та ролі автобусних перевезень на прикладі міста Тернополя	12
1.2 Аналіз маршрутної мережі міста	17
1.3 Параметри функціонування автобусних маршрутів (інтервали руху, швидкість, час у дорозі)	22
1.4 Аналіз пасажиропотоків та наповнюваності рухомого складу	31
1.5 Висновки та постановка задач до кваліфікаційної роботи	35
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Постановка задачі моделювання роботи автобусного маршруту	38
2.2 Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту	42
2.3 Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту	44
2.4 Формування математичної моделі руху автобусів	50
2.5 Розрахунок часу руху та затримок на маршруті	56
2.6 Побудова аналітичної моделі роботи автобусного маршруту	62
2.7 Оцінювання показників якості транспортного обслуговування пасажирів	68

3	БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1	Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час пасажирських перевезень	73
3.2	Режим праці та відпочинку водіїв	76
3.3	Характеристика надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті	78
3.4	Запобігання надзвичайним ситуаціям та організація дій у разі їх виникнення	81
	ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	85
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	87
	ДОДАТКИ	88

РЕФЕРАТ

Об'єкт дослідження – процес функціонування міських автобусних маршрутів.

Предмет дослідження – показники роботи автобусних маршрутів: інтервали руху, наповнюваність транспортних засобів, час у дорозі та показники якості обслуговування пасажирів.

Мета роботи – дослідження параметрів функціонування міських автобусних маршрутів та розроблення заходів щодо вдосконалення їх роботи на основі аналізу інтервалів руху, наповнюваності рухомого складу, часу поїздки та показників якості транспортного обслуговування.

У першому розділі проведено аналіз міської транспортної системи Тернополя та ролі автобусних перевезень. Охарактеризовано маршрутну мережу міста, досліджено параметри функціонування автобусних маршрутів: інтервали руху, швидкості сполучення та час у дорозі. Виконано аналіз пасажиропотоків і наповнюваності рухомого складу в різні часові проміжки.

У другому розділі сформульовано задачу моделювання, обґрунтовано вибір аналітичного методу та розроблено математичну модель роботи автобусного маршруту. Модель охоплює чотири блоки: часові параметри руху, інтервал руху та кількість рухомого складу, наповнюваність та показники якості обслуговування. На прикладі маршруту № 12 "Обласна дитяча лікарня – вул. Карпенка" виконано розрахунок часових параметрів і затримок, побудовано аналітичну модель та здійснено оцінювання показників якості транспортного обслуговування.

У третьому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час пасажирських перевезень. Досліджено небезпечні та шкідливі виробничі чинники, регламентовано режим праці та відпочинку водіїв. Охарактеризовано надзвичайні ситуації на автомобільному транспорті та визначено заходи щодо їх запобігання й організації дій у разі виникнення.

У роботі використано методи системного аналізу, транспортного моделювання, статистичної обробки даних, порівняльного аналізу та техніко-економічного оцінювання.

Ключові слова: МІСЬКИЙ АВТОБУСНИЙ МАРШРУТ, ІНТЕРВАЛ РУХУ, НАПОВНЮВАНІСТЬ РУХОМОГО СКЛАДУ, ЧАС У ДОРОЗІ, ЯКІСТЬ ТРАНСПОРТНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ, ПАСАЖИРОПОТІК, МОДЕЛЮВАННЯ, МАРШРУТНА МЕРЕЖА.

ВСТУП

Міський пасажирський транспорт є одним із ключових елементів транспортної системи сучасного міста, забезпечуючи мобільність населення, доступність робочих місць, закладів освіти, охорони здоров'я, адміністративних та соціально-культурних об'єктів. Ефективність функціонування громадського транспорту безпосередньо впливає на якість життя населення, економічний розвиток територій, рівень транспортної доступності та екологічний стан міського середовища.

В умовах зростання рівня автомобілізації населення, збільшення транспортного навантаження на вулично-дорожню мережу та нерівномірності розподілу пасажиропотоків особливого значення набуває підвищення ефективності роботи міських автобусних маршрутів. Одними з найважливіших показників функціонування маршрутної мережі є інтервали руху транспортних засобів, наповнюваність рухомого складу, тривалість поїздки пасажирів та показники якості транспортного обслуговування. Недостатня узгодженість цих параметрів призводить до переповнення транспортних засобів у години пік, збільшення часу очікування на зупинках, зниження комфорту поїздок та погіршення загальної ефективності транспортної системи.

Для забезпечення раціональної організації перевезень необхідним є застосування сучасних методів аналізу та моделювання транспортних процесів. Використання математичних моделей, статистичного аналізу та методів транспортного планування дозволяє оцінити існуючий стан маршрутної мережі, виявити проблемні ділянки та розробити заходи щодо підвищення якості обслуговування пасажирів. Особливо актуальним є проведення таких досліджень для міст середнього розміру, де автобусний транспорт виконує основну роль у забезпеченні пасажирських перевезень.

Об'єктом дослідження є процес функціонування міських автобусних маршрутів.

Предметом дослідження є показники роботи автобусних маршрутів, зокрема інтервали руху, наповнюваність транспортних засобів, час у дорозі та показники якості обслуговування пасажирів.

Метою роботи є дослідження параметрів функціонування міських автобусних маршрутів та розроблення заходів щодо вдосконалення їх роботи на основі аналізу інтервалів руху, наповнюваності рухомого складу, часу поїздки та показників якості транспортного обслуговування.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати сучасний стан міської транспортної системи та маршрутної мережі;
- дослідити параметри функціонування автобусних маршрутів;
- виконати аналіз пасажиропотоків та наповнюваності рухомого складу;
- оцінити вплив інтервалів руху на якість транспортного обслуговування;
- провести моделювання роботи автобусних маршрутів;
- розробити заходи щодо підвищення ефективності роботи маршрутної мережі;
- оцінити результати запропонованих удосконалень.

У роботі використано методи системного аналізу, транспортного моделювання, статистичної обробки даних, порівняльного аналізу та техніко-економічного оцінювання. Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих рекомендацій для вдосконалення організації роботи міських автобусних маршрутів, підвищення якості транспортного обслуговування населення та раціонального використання рухомого складу.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Характеристика міської транспортної системи та ролі автобусних перевезень на прикладі міста Тернополя

Міська транспортна система є складною багатокomпонентною інфраструктурою, що забезпечує просторову мобільність населення, функціонування економіки та соціальну інтеграцію територій. Для середніх за розміром міст України, до яких належить Тернопіль, характерною є комбінована модель організації пасажирських перевезень, у якій поєднуються різні види громадського транспорту, зокрема автобуси та тролейбуси, а також приватний автомобільний транспорт.

Транспортна система міста Тернополя формується під впливом низки факторів, серед яких ключовими є планувальна структура міста, щільність населення, характер забудови, рівень автомобілізації та розміщення основних центрів тяжіння пасажиропотоків. Місто має радіально-кільцеву структуру вулично-дорожньої мережі з вираженим центральним ядром, де концентруються адміністративні, торговельні та освітні об'єкти. Така структура обумовлює значні транспортні потоки у напрямку центру міста у години «пік» та зворотні потоки у вечірній час.

Важливим елементом транспортної системи є вулично-дорожня мережа, яка визначає можливості організації маршрутів громадського транспорту. У Тернополі вона представлена магістральними вулицями загальноміського значення, районними вулицями та вулицями місцевого значення. Основні транспортні коридори проходять через центральну частину міста, що створює підвищене навантаження на окремі ділянки дорожньої мережі, особливо на перехрестях та вузлах із світлофорним регулюванням.

Система громадського транспорту Тернополя включає два основні види перевезень: електротранспорт (тролейбуси) та автобусний транспорт. При цьому автобусні перевезення відіграють провідну роль у забезпеченні мобільності

населення, що обумовлено їхньою гнучкістю, можливістю швидкого коригування маршрутної мережі та відносно нижчими капітальними витратами порівняно з електротранспортом.

Автобусні маршрути охоплюють практично всі житлові масиви міста, включаючи нові мікрорайони, де відсутня тролейбусна інфраструктура. Це дозволяє забезпечити транспортну доступність навіть віддалених територій. На відміну від тролейбусів, які прив'язані до контактної мережі, автобуси можуть змінювати трасу руху залежно від змін у транспортному попиті або дорожній ситуації.

Організація автобусних перевезень у Тернополі базується на маршрутній системі, яка включає міські автобусні маршрути різної довжини та конфігурації. Маршрути можуть бути радіальними, діаметральними або кільцевими, що дозволяє забезпечити як прямі зв'язки між окремими районами, так і пересадочні сполучення через центральну частину міста. Важливою характеристикою є нерівномірність розподілу пасажиропотоків як у просторі, так і в часі, що потребує гнучкого підходу до організації руху.

Одним із ключових параметрів функціонування автобусної системи є інтервал руху транспортних засобів. У Тернополі інтервали змінюються залежно від часу доби, дня тижня та конкретного маршруту. У години «пік» інтервали скорочуються для забезпечення перевезення зростаючого пасажиропотоку, тоді як у міжпікові періоди вони збільшуються. Невідповідність між попитом і пропозицією транспортних послуг призводить до таких негативних явищ, як переповненість автобусів або, навпаки, їх недовантаження.

Наповнюваність рухомого складу є важливим показником ефективності роботи транспортної системи. У центральних частинах маршрутів часто спостерігається перевищення нормативної місткості автобусів, що знижує комфорт перевезень і впливає на якість обслуговування пасажирів. У периферійних ділянках маршрутів, навпаки, можливе зниження рівня заповнення, що негативно впливає на економічну ефективність перевезень.

Час у дорозі є ще одним критично важливим параметром, який визначає привабливість громадського транспорту для населення. У Тернополі він залежить від довжини маршруту, стану дорожньої мережі, рівня завантаженості вулиць, кількості зупинок та організації дорожнього руху. Значний вплив мають затримки на перехрестях, особливо в умовах інтенсивного автомобільного руху.

Якість обслуговування пасажирів у міській транспортній системі оцінюється за сукупністю показників, серед яких: регулярність руху, комфортність перевезень, доступність транспорту, інформаційне забезпечення пасажирів, безпека та екологічність. У Тернополі спостерігається поступове впровадження сучасних підходів до підвищення якості обслуговування, зокрема оновлення рухомого складу, впровадження електронних систем оплати проїзду та GPS-моніторингу транспорту.

Важливим аспектом є конкуренція між різними видами транспорту, а також між громадським і приватним транспортом. Зростання рівня автомобілізації населення призводить до збільшення навантаження на дорожню мережу та зниження швидкості руху громадського транспорту. У таких умовах роль автобусних перевезень полягає не лише у забезпеченні мобільності, але й у стримуванні надмірного використання індивідуального транспорту.

Автобусні перевезення також виконують соціальну функцію, забезпечуючи доступ до роботи, освіти, медичних та адміністративних послуг для різних категорій населення, включаючи маломобільні групи. Це підвищує значення їх ефективної організації та необхідність удосконалення параметрів роботи маршрутів.

Таким чином, міська транспортна система Тернополя характеризується комплексною взаємодією різних видів транспорту, серед яких автобусні перевезення займають провідне місце. Їх роль визначається високою адаптивністю, широким покриттям території міста та здатністю оперативно реагувати на зміни транспортного попиту. Водночас існуючі проблеми, пов'язані з нерівномірністю пасажиропотоків, перевантаженням окремих маршрутів, збільшенням часу поїздок та зниженням якості обслуговування, обумовлюють

необхідність застосування сучасних методів моделювання та оптимізації транспортних процесів, що і визначає актуальність подальших досліджень у даній роботі.

Таблиця 1.1 – Оцінка обсягів перевезень громадським транспортом у місті Тернопіль

Рік	Обсяг перевезень, млн пас.	Кількість автобусів, од.
2021	40,8	190
2022	35,5	195
2023	37,2	200
2024*	38,5	205
2025*	39,8	210

Аналіз динаміки перевезень пасажирів

Аналіз показує, що у 2021 році транспортна система міста працювала на високому рівні після відновлення попиту, і обсяг перевезень становив понад 40 млн пасажирів.

У 2022 році спостерігається зниження до 35,5 млн пасажирів (приблизно на 13%). Це пов'язано з:

- початком повномасштабної війни,
- скороченням мобільності населення,
- зміною структури поїздок.

Починаючи з 2023 року, спостерігається стійка позитивна динаміка:

- 2023 рік – поступове відновлення;
- 2024–2025 роки – стабільне зростання.

Графік (див. вище) чітко демонструє:

- різкий спад у 2022 році,
- плавне відновлення у наступні роки,
- вихід системи на рівень, близький до докризового.

Кількість автобусів демонструє монотонне зростання:

- 2021 рік – 190 одиниць
- 2025 рік – 210 одиниць

Загальне зростання становить близько 10,5% за 5 років, це свідчить про:

- поступове оновлення рухомого складу;
- збільшення пропозиції транспортних послуг;
- адаптацію системи до зростаючого попиту.

Графік показує практично лінійну залежність, що характерно для керованого розвитку транспортної системи.

У 2022 році попит (пасажирів) зменшився, пропозиція (кількість автобусів) продовжила зростати, це призвело до зниження коефіцієнта заповнення транспорту. У 2023–2025 роках попит зростає, парк також збільшується, а система переходить до балансованого стану.

Оцінка ефективності використання транспорту

Можна оцінити середнє навантаження на один автобус:

- 2021: ~215 тис. пас./рік на автобус
- 2022: ~182 тис. пас./рік
- 2025: ~190 тис. пас./рік

Це свідчить про:

- різке падіння ефективності у 2022 році;
- часткове відновлення, але без повного повернення до рівня 2021 року.

На основі аналізу можна виділити такі закономірності:

Транспортна система є високочутливою до кризових факторів. Після зовнішніх шоків спостерігається досить швидке відновлення попиту. Пропозиція транспортних послуг (кількість автобусів) зростає стабільніше, ніж попит. Існує тимчасовий дисбаланс між попитом і пропозицією, що впливає на наповнюваність транспорту.

Отримані результати свідчать про те, що транспортна система Тернополя у 2021–2025 роках функціонує в умовах адаптації до змін зовнішнього середовища. Незважаючи на тимчасове зниження пасажиропотоку,

спостерігається тенденція до його відновлення при одночасному нарощуванні транспортного потенціалу.

Це створює передумови для подальшого підвищення ефективності функціонування системи за рахунок оптимізації:

- інтервалів руху;
- кількості транспортних засобів;
- рівня завантаження маршрутів.

1.2 Аналіз маршрутної мережі міста

Маршрутна мережа громадського транспорту міста Тернополя є важливим елементом транспортної системи міста, оскільки забезпечує щоденні трудові, навчальні, побутові та соціальні переміщення населення між житловими масивами, центральною частиною міста, промисловими зонами, медичними установами, ринками, автовокзалом, залізничним вокзалом та іншими об'єктами масового тяжіння пасажиропотоків. Для Тернополя, як міста з компактною планувальною структурою, але достатньо інтенсивними радіально-кільцевими переміщеннями, ефективність маршрутної мережі визначається не лише кількістю маршрутів, а й тим, наскільки рівномірно вони покривають основні райони міста та забезпечують прямі або зручні пересадкові зв'язки між ними.

Актуальна мережа громадського транспорту Тернополя включає автобусні та тролейбусні маршрути. За даними сервісу «Де Транспорт», у місті відображаються автобусні маршрути № 1, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 20А, 21, 22, 22А, 23, 24, 25, 26, 26А, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 49, 50, а також тролейбусні маршрути № 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10. Це свідчить про достатньо розгалужену структуру маршрутної мережі, у якій автобусний транспорт виконує основну функцію просторового покриття міста, а тролейбусний транспорт забезпечує перевезення на найбільш сталих і пасажироємних напрямках.

Офіційний сайт Тернопільської міської ради підтверджує наявність окремих розкладів руху автобусних і тролейбусних маршрутів, що свідчить про адміністративно впорядковану організацію роботи громадського транспорту. На сайті міської ради розміщені розділи з розкладом руху автобусних маршрутів, тролейбусних маршрутів, а також графіками курсування автобусів до населених пунктів, які приєдналися до Тернопільської міської територіальної громади. Це є важливим, оскільки маршрутна мережа міста фактично виконує не лише внутрішньоміську, а й примісько-агломераційну функцію, забезпечуючи транспортні зв'язки між Тернополем і населеними пунктами громади.

У 2025 році в Тернополі було затверджено оновлену маршрутну мережу громадського транспорту. Відповідне рішення прийнято 5 березня 2025 року на засіданні виконавчого комітету Тернопільської міської ради. Згідно з повідомленням міської ради, оновлена мережа формувалася з урахуванням пропозицій мешканців, результатів обстеження пасажиропотоків, потреб у перевезеннях, можливостей вулично-дорожньої мережі та появи нових місць тяжіння пасажирів. Такий підхід є методично правильним, оскільки маршрутна мережа не повинна бути статичною; вона має періодично адаптуватися до змін у просторовій структурі міста, розміщенні житлової забудови, соціальної інфраструктури, торговельних об'єктів і транспортних вузлів.

Одним із важливих елементів оновлення стала зміна системи нумерації маршрутів. У Тернополі було запроваджено єдину систему нумерації громадського транспорту, щоб автобуси й тролейбуси не мали однакових номерів. До оновлення така ситуація могла створювати незручності для пасажирів, особливо для нерегулярних користувачів громадського транспорту та гостей міста. За повідомленням Суспільного, в межах нової системи нумерації тролейбус № 1 став № 4, тролейбус № 11 став № 6, а частина автобусних маршрутів також отримала нові номери: № 1А став № 1, № 3 - № 30, № 4 - № 24, № 5 - № 50, № 6 - № 26, № 8 - № 28, № 9 - № 49. Оновлена мережа мала почати діяти з 25 червня 2025 року.

З погляду транспортної логіки, єдина нумерація маршрутів має позитивне значення для інформаційної доступності мережі. Вона зменшує ризик помилкового вибору маршруту, полегшує побудову маршрутних довідників, електронних карт, схем руху та мобільних сервісів. Крім того, уніфікована нумерація створює передумови для гнучкішої організації перевезень, коли на окремих напрямках у разі потреби може здійснюватися заміна одного виду транспорту іншим без інформаційної плутанини для пасажирів.

Автобусна мережа Тернополя є більш чисельною, ніж тролейбусна, що пояснюється її вищою гнучкістю щодо прокладання маршрутів. Автобуси не прив'язані до контактної мережі, тому можуть ефективніше обслуговувати периферійні райони, нові житлові квартали, вулиці з недостатньою тролейбусною інфраструктурою, а також напрямки з несталим або сезонно змінним пасажиропотоком. Наявність маршрутів із літерними індексами, зокрема 20А, 22А, 26А, свідчить про функціонування модифікованих або споріднених трас, які, ймовірно, обслуговують близькі напрямки з певними відмінностями у проходженні. Така практика є поширеною для міських мереж, де необхідно забезпечити диференційоване транспортне обслуговування районів із різною щільністю попиту.

Тролейбусна мережа виконує роль екологічнішого та стабільнішого виду громадського транспорту на ключових міських напрямках. Наявність тролейбусних маршрутів № 2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 свідчить про те, що електротранспорт у Тернополі зберігає важливе значення в системі міських перевезень. Тролейбуси доцільно використовувати на напрямках із відносно стабільним пасажиропотоком, де є технічна можливість експлуатації контактної мережі та де потрібне регулярне транспортне сполучення між великими житловими районами й центром міста.

Важливим етапом розвитку маршрутної мережі стало введення нових маршрутів у 2025 році. За повідомленням Суспільного, у Тернополі були передбачені чотири нові маршрути громадського транспорту: автобус № 25 «Золотогірська - С. Бандери - Злуки», автобус № 39 «Мікрорайон “Північний” -

ринок», автобус № 40 «Центр - міське кладовище (Підгороднє)» та автобус № 42 «Вулиця Тролейбусна - центр - вулиця Весела». Їхнє введення було спрямоване на покращення сполучення між окремими районами міста, зокрема мікрорайоном «Північний», вулицями Київською і Текстильною, «Східним» масивом та міським кладовищем.

Аналіз призначення цих маршрутів показує, що оновлення мережі мало не формальний, а функціональний характер. Наприклад, маршрут № 25 був запланований як реверсний до автобуса № 15 між масивами «Сонячний» і «Східний», що дозволяє покращити двосторонній розподіл транспортної пропозиції та зменшити нерівномірність обслуговування на суміжних напрямках. Маршрут № 39 орієнтований на сполучення мікрорайону «Північний» із центральною частиною міста, ринком та автовокзалом. Маршрут № 40 має соціальне значення, оскільки забезпечує зв'язок із міським кладовищем у Підгородньому. Маршрут № 42 виконує роль міжрайонного зв'язку, поєднуючи район лікарні № 3, мікрорайон «Дружба», центр міста та установи соціального призначення.

З позиції просторової організації міста маршрутна мережа Тернополя має виражений радіально-центричний характер. Значна частина маршрутів проходить через центральну частину міста або наближені до центру транспортні вузли. Така структура є типовою для міст середнього розміру, у яких центр концентрує адміністративні, торговельні, освітні, культурні та пересадкові функції. Перевагою такої структури є зручність доїзду до центру з більшості районів міста. Водночас недоліком може бути перевантаження центральних вулиць, дублювання маршрутів на центральних ділянках і недостатня кількість прямих хордових зв'язків між периферійними районами без заїзду в центр.

Для Тернополя особливо важливими є зв'язки між житловими масивами «Сонячний», «Східний», «Дружба», районом «Північний», центральною частиною міста, автовокзалом, залізничним вокзалом, ринком, лікарнями та адміністративними установами. Оновлення маршрутної мережі 2025 року частково спрямоване саме на посилення таких зв'язків. Зокрема, введення

маршрутів № 39 і № 42 демонструє спробу покращити доступність периферійних або недостатньо охоплених районів до центральної частини міста та важливих соціальних об'єктів.

Важливою характеристикою сучасної маршрутної мережі є її інформаційна відкритість. Сервіс «Де Транспорт» дозволяє відстежувати рух громадського транспорту в Тернополі в режимі онлайн, а також відображає автобуси, тролейбуси, зупинки та транспорт із пандусом. Це має значення не лише для пасажирів, а й для диспетчерського контролю, оцінювання регулярності руху, аналізу відхилень від графіка та формування бази даних для подальшого транспортного планування.

Наявність онлайн-відстеження транспорту є важливою передумовою для переходу від традиційного управління маршрутною мережею до управління на основі даних. GPS-моніторинг дозволяє визначати фактичні інтервали руху, виявляти простої, затримки, нерівномірність руху, відхилення від трас і проблемні ділянки вулично-дорожньої мережі. У перспективі такі дані можуть використовуватися для коригування графіків руху, зміни кількості випусків на маршрутах, оптимізації пересадкових зв'язків і формування показників якості транспортного обслуговування.

Позитивною рисою маршрутної мережі Тернополя є поєднання автобусного і тролейбусного транспорту. Така структура дозволяє забезпечити баланс між екологічністю, стабільністю та гнучкістю. Тролейбусний транспорт доцільний для сталих магістральних напрямків, тоді як автобусний транспорт краще підходить для обслуговування районів, де немає контактної мережі або де попит потребує гнучкішого реагування. Водночас ефективність такої комбінованої системи залежить від узгодженості графіків, уникнення надмірного дублювання маршрутів і забезпечення зручних пересадок.

До потенційних проблем маршрутної мережі можна віднести ймовірне дублювання маршрутів на центральних ділянках, залежність значної частини перевезень від пропускної здатності центральних вулиць, нерівномірність транспортного обслуговування окремих периферійних територій та потребу в

подальшому узгодженні автобусної і тролейбусної мережі. Крім того, на ефективність маршрутної мережі впливають не лише траси руху, а й фактична кількість транспортних засобів, інтервали руху, дотримання графіків, стан зупинок, доступність для маломобільних груп населення та якість інформаційного супроводу пасажирів.

Отже, маршрутна мережа міста Тернополя є достатньо розвиненою і включає широку систему автобусних маршрутів та окрему мережу тролейбусних маршрутів. У 2025 році в місті було здійснено оновлення маршрутної мережі, спрямоване на впорядкування нумерації, покращення транспортного обслуговування окремих районів, посилення зв'язків із новими місцями тяжіння пасажиропотоків і підвищення зручності користування громадським транспортом. Виявлена структура мережі свідчить про її орієнтацію на обслуговування основних житлових масивів і центральної частини міста, однак подальший розвиток має базуватися на регулярному аналізі пасажиропотоків, GPS-даних, фактичних інтервалів руху та рівня транспортної доступності окремих районів.

1.3 Параметри функціонування автобусних маршрутів (інтервали руху, швидкість, час у дорозі)

Аналіз параметрів функціонування автобусних маршрутів м. Тернополя доцільно виконувати за трьома основними показниками: інтервалом руху, часом перебування транспортного засобу на маршруті та експлуатаційною швидкістю. Вихідною інформаційною базою для такого аналізу є офіційні розклади руху автобусних маршрутів, оприлюднені на сайті Тернопільської міської ради. На цій сторінці подано окремі розклади для автобусних маршрутів № 1, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 20А, 21, 22, 22А, 23, 24, 25, 26, 26А, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 49, 50, що дає можливість оцінювати параметри роботи як основних міських маршрутів, так і маршрутів з меншою частотою руху. (ternopilcity.gov.ua)

Інтервал руху є одним із ключових показників якості роботи автобусного маршруту, оскільки він безпосередньо визначає середній час очікування пасажирів на зупинці. Чим меншим є інтервал руху, тим вищою є доступність маршруту для пасажирів і тим менше значення має точне знання розкладу. Для маршрутів із великим пасажиропотоком доцільним є інтервал 10–15 хв, тоді як маршрути соціального або периферійного призначення можуть працювати з більшими інтервалами.

За даними розкладу маршруту № 12 «Обласна дитяча лікарня - вул. Карпенка», рух організовано з використанням восьми автобусів. У денний період відправлення з кінцевих пунктів мають переважно рівномірний характер. Наприклад, з боку зупинки «Обласна дитяча лікарня» у ранковий і денний період відправлення формуються орієнтовно через 10 хв: 7:10, 7:20, 7:30, 7:40, 7:50, 8:00, 8:10, 8:20 тощо. Це свідчить про те, що маршрут № 12 належить до маршрутів із високою частотою руху та достатньо стабільною пропозицією транспортного обслуговування.

За розкладом маршруту № 12 можна також визначити орієнтовний час руху автобуса в одному напрямку. Наприклад, у розкладі простежується чергування відправлень між кінцевими пунктами «Обласна дитяча лікарня» та «вул. Карпенка», де час проходження одного напрямку становить приблизно 38–42 хв. Це означає, що повний оборот автобуса на маршруті, включаючи рух у прямому і зворотному напрямках та короткі технологічні простої на кінцевих зупинках, становить близько 80 хв. За наявності восьми автобусів це і забезпечує інтервал руху близько 10 хв, оскільки 80 хв поділені на 8 одиниць рухомого складу дають 10 хв між послідовними відправленнями.

Маршрут № 1 також характеризується відносно високою частотою руху. З розкладу видно, що на маршруті працює декілька випусків, а відправлення з кінцевих пунктів розподілені протягом дня з невеликими часовими проміжками. Для такого типу маршруту характерним є міський режим роботи з регулярним обслуговуванням житлових районів і центральних транспортних напрямків. У розкладі також зазначено протяжність маршруту 7,69 км, що дає можливість

орієнтовно оцінювати експлуатаційну швидкість руху автобуса за формулою відношення довжини маршруту до часу руху в одному напрямку.

Експлуатаційна швидкість автобуса на міському маршруті відрізняється від технічної швидкості руху. Вона враховує не лише безпосередній рух вулично-дорожньою мережею, а й зупинки для посадки та висадки пасажирів, затримки на регульованих перехрестях, вплив заторів, пішохідних переходів, маневрування біля зупинок і нерівномірність транспортного потоку. Тому для міських автобусних маршрутів фактична експлуатаційна швидкість зазвичай є помірною, навіть якщо окремі ділянки маршруту дозволяють рухатися швидше.

Для маршруту № 1, якщо прийняти довжину маршруту 7,69 км і орієнтовний час руху в одному напрямку близько 35–40 хв, експлуатаційна швидкість становитиме приблизно 11,5–13,2 км/год. Такий рівень швидкості є типовим для міського автобусного руху, де значна частина часу витрачається на зупинки, проїзд перехресть та рух у змішаному транспортному потоці. Важливо, що це не максимальна швидкість автобуса, а саме маршрутна швидкість, яка характеризує реальну ефективність перевезення пасажирів.

Окрему групу становлять маршрути з нижчою частотою руху. Прикладом є автобусний маршрут № 40 «Центр - міське кладовище (с. Підгороднє)». У розкладі цього маршруту зазначено 15 рейсів, а відправлення здійснюються з великими інтервалами. Наприклад, із центру передбачені відправлення о 9:00, 10:00, 11:00, 12:00, 14:00, 15:00, 16:00, 17:00, 18:00, тобто типовий інтервал становить близько 60 хв, а в окремих часових проміжках - більше. Такий режим роботи свідчить, що маршрут виконує не магістральну, а соціально-цільову функцію, забезпечуючи транспортний зв'язок із міським кладовищем.

На маршруті № 40 час руху між центром і кладовищем за розкладом становить приблизно 20 хв. Наприклад, відправлення з центру о 9:00 відповідає прибуттю до кладовища о 9:20, після чого передбачене відправлення у зворотному напрямку о 9:40. Отже, повний транспортний цикл з урахуванням руху в обидва боки і простою на кінцевій зупинці становить близько 60 хв. Саме

тому один автобус може забезпечувати погодинний інтервал руху на цьому маршруті.

Маршрут № 39 «Мікрорайон Північний - ринок» займає проміжне положення між інтенсивними міськими маршрутами та маршрутами соціального призначення. У розкладі маршруту № 39 вказано роботу кількох автобусів, а кількість рейсів для окремих випусків становить 8/9, 11/9 або 18/9 залежно від графіка. Відправлення з основних пунктів маршруту розподілені протягом дня нерівномірно, однак у періоди активнішого попиту інтервали є меншими. Це свідчить про те, що маршрут орієнтований на обслуговування конкретного житлового району та його зв'язок із центральною частиною міста, ринком і автовокзалом.

За параметрами часу руху маршрут № 39 є довшим і складнішим, ніж маршрут № 40. У розкладі простежується проходження через декілька контрольних пунктів, зокрема «Червона РТБ», «Овочевий ринок» і «Автовокзал». Це означає, що маршрут виконує не лише функцію підвезення до одного об'єкта, а й забезпечує послідовне обслуговування кількох зон пасажирського тяжіння. Наявність кількох контрольних точок у розкладі також дає можливість точніше контролювати дотримання графіка на проміжних ділянках маршруту.

Порівняння розглянутих маршрутів показує, що автобусна мережа Тернополя має диференційовану структуру за інтервалами руху. Маршрути з інтенсивним пасажиропотоком, зокрема маршрут № 12, працюють із короткими інтервалами близько 10 хв. Такі маршрути формують основу регулярного міського транспортного обслуговування. Маршрути з цільовим або соціальним призначенням, зокрема маршрут № 40, мають значно більші інтервали, орієнтовно 60 хв, що відповідає їхній нижчій інтенсивності використання. Маршрути типу № 39 мають проміжний характер і забезпечують зв'язок окремих житлових районів із важливими транспортними та торговельними об'єктами.

Таблиця 1.2 – Узагальнені параметри функціонування розглянутих маршрутів можна подати так.

Маршрут	Характер маршруту	Кількість автобусів / рейсів за розкладом	Орієнтовний інтервал руху	Орієнтовний час у дорозі
№ 1	міський маршрут регулярного обслуговування	кілька випусків	близько 10–15 хв у періоди активного руху	близько 35–40 хв в одному напрямку
№ 12	інтенсивний міський маршрут	8 автобусів	близько 10 хв	близько 38–42 хв в одному напрямку
№ 39	районно-міський маршрут	кілька випусків, різна кількість рейсів	нерівномірний, залежить від періоду доби	середній міський час руху з проходженням кількох контрольних пунктів
№ 40	соціально-цільовий маршрут	15 рейсів	близько 60 хв	близько 20 хв в одному напрямку

Отже, параметри функціонування автобусних маршрутів м. Тернополя свідчать про наявність кількох типів маршрутів за режимом роботи. Основні міські маршрути мають коротші інтервали руху, більшу кількість випусків і забезпечують регулярне перевезення пасажирів протягом дня. Маршрути, що обслуговують окремі специфічні напрямки або об'єкти соціального призначення, працюють із більшими інтервалами та меншою кількістю рейсів. Час у дорозі на міських маршрутах переважно визначається не лише довжиною траси, а й кількістю зупинок, проходженням центральної частини міста, завантаженням вулично-дорожньої мережі та режимом регулювання руху на перехрестях. Експлуатаційна швидкість автобусів у таких умовах є помірною і для інтенсивних міських маршрутів орієнтовно перебуває в межах 11–15 км/год, що відповідає характеру руху громадського транспорту в міській мережі.

Нижче подано зведену таблицю за тими автобусними маршрутами, які наведені на сайті міської ради. Значення інтервалів і часу в дорозі подано як

орієнтовні, оскільки розклади мають перерви, змінні графіки окремих випусків і нерівномірність руху протягом дня.

Таблиця 1.3 – Параметри функціонування автобусних маршрутів м. Тернополя

№ маршруту	Сполучення за розкладом	Кількість графіків / автобусів	Типовий інтервал руху, хв	Орієнтовний час у дорозі в одному напрямку, хв	Довжина маршруту згідно сайті міської ради, км	Орієнтовна швидкість, км/год
1	вул. В. Винниченка - вул. Слівенська	8	10–15	30–35	7,69	13,2–15,4
11	вул. Довженка - обласна психоневрологічна лікарня	4	16–18	34	н/д	н/д
12	Обласна дитяча лікарня - вул. Карпенка	8	10	38	н/д	н/д
13	вул. Симоненка - Автовокзал - пр-т С. Бандери	9	5–10	28–32	н/д	н/д
14	Автовокзал - вул. Симоненка - вул. Л. Українки	8	9–12	25–30	н/д	н/д

№ маршруту	Сполучення за розкладом	Кількість графіків / автобусів	Типовий інтервал руху, хв	Орієнтовний час у дорозі в одному напрямку, хв	Довжина маршруту згідно сайті міської ради, км	Орієнтовна швидкість, км/год
15	вул. Золотогірська - пр-т Злуки - пр-т С. Бандери	4	18–36	38	н/д	н/д
16	вул. Винниченка - вул. Київська	7	10–15	35	н/д	н/д
17	р-н Кутківці - Автовокзал	1	40–60	18–23	н/д	н/д
18	ТРЦ «Подільняни» - Газопровід	8	14–20	55–60	н/д	н/д
19	ТРЦ «Подільняни» - вул. Винниченка	6	14–16	40	н/д	н/д
20	вул. Київська - Автовокзал	7	9–12	30	н/д	н/д
20А	вул. Київська - Новий ринок - Автовокзал	1	75–80	30–42	н/д	н/д
21	вул. Л. Українки - ТРЦ	6	12–15	55–60	н/д	н/д

№ маршруту	Сполучення за розкладом	Кількість графіків / автобусів	Типовий інтервал руху, хв	Орієнтовний час у дорозі в одному напрямку, хв	Довжина маршруту згідно сайті міської ради, км	Орієнтовна швидкість, км/год
	«Подoliaни» - Обласна дитяча лікарня					
22	маршрут № 22 за поданим зображенням розкладу	7	10–15	60–70	20,1	17,2–20,1
23	мікрорайон «Пронятин» - Автовокзал	2	30–60	40–45	н/д	н/д
24	вул. Новий Світ - ТРЦ «Подoliaни» - вул. Лесі Українки	2	35–40	55–60	н/д	н/д
25	вул. Золотогірська - пр-т С. Бандери - пр-т Злуки	4	18–36	38	н/д	н/д
26	вул. Новий Світ - Автовокзал	2	25–55	40–45	н/д	н/д

№ маршруту	Сполучення за розкладом	Кількість графіків / автобусів	Типовий інтервал руху, хв	Орієнтовний час у дорозі в одному напрямку, хв	Довжина маршруту згідно сайті міської ради, км	Орієнтовна швидкість, км/год
26А	вул. Новий Світ - Новий ринок - Автовокзал	1	55–65	40–45	н/д	н/д
49	вул. Новий Світ - вул. Миру - Автовокзал	1	50–75	35–40	н/д	н/д

За наведеними даними видно, що найбільш інтенсивно працюють маршрути № 12, № 13, № 14, № 16 і № 20, для яких типовий інтервал руху становить приблизно 10–15 хв. Такі маршрути забезпечують регулярне міське сполучення і мають найбільшу кількість випусків на лінії.

Маршрути № 15 і № 25 мають середню інтенсивність роботи: на них працює по 4 графіки, а типовий інтервал становить близько 18–36 хв. Маршрути № 23, № 24, № 26, № 26А, № 49 і № 17 мають нижчу частоту руху, що свідчить про їхню локальну або підвізну роль у маршрутній мережі.

Найбільший орієнтовний час у дорозі спостерігається на маршрутах № 18, № 21, № 22 і № 24, де тривалість поїздки в одному напрямку становить приблизно 55–70 хв. Коротшими за часом є маршрути № 14, № 17 і № 20, де час у дорозі переважно не перевищує 30 хв.

Для більшості маршрутів швидкість не можна коректно розрахувати лише за наданими даними, оскільки в розкладах не вказано протяжність маршруту. Для маршруту № 1, де зазначено довжину 7,69 км, орієнтовна маршрутна

швидкість становить близько 13,2–15,4 км/год. Для маршруту № 22, де на зображенні вказано довжину 20,1 км, орієнтовна маршрутна швидкість становить близько 17,2–20,1 км/год.

1.4. Аналіз пасажиропотоків та наповнюваності рухомого складу

У відкритих джерелах не виявлено опублікованої повної таблиці фактичних пасажиропотоків по кожному автобусному маршруту Тернополя, тобто кількості пасажирів за рейс, годину, добу або напрямом. Водночас у Тернополі діє автоматизована система обліку оплати проїзду, яка технічно передбачає формування звітів про кількість перевезених пасажирів за рік, місяць, день, годину, за категоріями оплати, за конкретною одиницею рухомого складу та за певним маршрутом, якщо валідатор закріплений за транспортною одиницею. Отже, такі дані існують у системі обліку, але у відкритому доступі вони подані не як повний масив для наукового аналізу.

Аналіз пасажиропотоків автобусних маршрутів м. Тернополя доцільно виконувати через просторову структуру міста, розміщення житлових масивів, центрів тяжіння поїздок, пересадкових вузлів та фактичну інтенсивність роботи маршрутів. Актуальна автобусна мережа охоплює маршрути №1, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 20А, 21, 22, 22А, 23, 24, 25, 26, 26А, 27, 28, 29, 30, 31, 32, 33, 35, 36, 37, 38, 39, 40, 42, 49, 50, що підтверджує значну розгалуженість автобусного сполучення в межах міста. (detransport.com.ua) Офіційний сайт міської ради також містить окремий розділ із розкладом руху автобусних маршрутів, що свідчить про формалізовану маршрутну організацію міських перевезень.

З погляду формування пасажиропотоків автобусна мережа Тернополя має радіально-зв'язковий характер: значна частина маршрутів з'єднує периферійні житлові райони з центральною частиною міста, ринком, залізничним вокзалом, автовокзалом, медичними закладами, навчальними корпусами, торговельними центрами та промислово-складськими зонами. Найбільші пасажиропотоки

закономірно формуються на напрямках, які поєднують густонаселені масиви «Сонячний», «Східний», «Дружба», «Північний», район вул. Київської, просп. Злуки, просп. Степана Бандери та центральну частину міста. Саме ці напрямки мають ознаки стабільного трудового, навчального, побутового й пересадкового попиту.

Висока наповнюваність рухомого складу очікується на маршрутах, які проходять через центральну частину міста та з'єднують великі житлові масиви з ринком, вокзалом, автовокзалом, навчальними закладами та лікарнями. Для таких маршрутів характерна нерівномірність пасажиропотоку протягом доби: у ранковий пік основний потік спрямований із житлових районів до центру, навчальних закладів і місць праці; у вечірній пік - у зворотному напрямку. У міжпіковий період наповнюваність знижується, але на маршрутах, що проходять через ринок, медичні установи, торговельні центри та вокзали, зберігається відносно стабільний пасажиропотік.

Окремо слід виділити маршрути, які обслуговують нові або периферійні напрямки. У 2025 році Тернопільська міська рада повідомила про оновлення маршрутної мережі та появу нових автобусних маршрутів №25, №39, №40 і №42. Метою цих змін було покращення сполучення між окремими районами міста, зокрема «Північним» районом, вул. Київською, вул. Текстильною, «Східним» масивом та міським кладовищем. (ternopilcity.gov.ua) Це вказує на те, що пасажиропотоки в місті змінюються під впливом забудови, появи нових точок тяжіння та необхідності зменшення транспортної ізоляваності окремих районів.

За рівнем очікуваної наповнюваності автобусні маршрути Тернополя можна поділити на три групи. До першої групи належать маршрути з високою наповнюваністю, які проходять через найбільш пасажиронасичені житлові райони та центральну частину міста. Такі маршрути потребують коротших інтервалів руху, стабільного дотримання графіка і, за можливості, використання автобусів більшої місткості. До другої групи належать маршрути із середньою наповнюваністю, які виконують переважно зв'язкову функцію між окремими районами, забезпечують підвезення до пересадкових вузлів і мають виражені

пікові навантаження. До третьої групи належать маршрути з нижчим або нерівномірним пасажиропотоком, зокрема периферійні, спеціалізовані або такі, що обслуговують кладовища, віддалені вулиці, промислові зони чи окремі соціальні об'єкти.

Факт існування маршрутів із низьким пасажиропотоком підтверджується повідомленнями міської ради: під час тимчасових змін у роботі громадського транспорту зазначалося, що в обідню пору можливе зменшення кількості автобусів і тролейбусів на непопулярних маршрутах, де спостерігається низький пасажиропотік. (ternoopilcity.gov.ua) Це свідчить, що попит у Тернополі є суттєво диференційованим за маршрутами та часом доби: частина маршрутів працює з високим навантаженням у пікові години, тоді як інші мають надлишкову пропозицію місць у міжпіковий період.

Для оцінювання наповнюваності рухомого складу доцільно використовувати коефіцієнт наповнення автобуса. Він визначається як відношення фактичної кількості пасажирів у салоні до нормативної або паспортної місткості транспортного засобу. Якщо в автобусі місткістю 40 пасажирів фактично перебуває 32 пасажири, коефіцієнт наповнення становить 0,80, тобто 80 %. Якщо кількість пасажирів перевищує паспортну місткість, коефіцієнт буде більшим за 1, що означає перевантаження рухомого складу та зниження комфортності перевезень.

Для практичного аналізу можна застосовувати такі межі інтерпретації: коефіцієнт наповнення до 0,40 свідчить про низьке використання місткості автобуса; 0,40–0,70 - про помірну наповнюваність; 0,70–0,90 - про раціональне використання рухомого складу; 0,90–1,00 - про високе завантаження; понад 1,00 - про перевантаження маршруту. Для Тернополя найбільш проблемними з погляду комфорту є маршрути, на яких у пікові години коефіцієнт наближається до 1 або перевищує його. Це характерно для напрямків, що концентрують поїздки з великих житлових масивів до центру та у зворотному напрямку.

Таблиця 1.4 – Узагальнену оцінку пасажиропотоків і наповнюваності можна подати так.

Група маршрутів	Характер пасажиропотоку	Типова наповнюваність	Основні причини формування попиту
Маршрути через центр, ринок, вокзал, автовокзал	Високий і стабільний протягом дня	Середня–висока, у піки можлива перевантаженість	Пересадки, трудові поїздки, торгівля, доступ до міжміського транспорту
Маршрути з великих житлових масивів до центру	Дуже виражений ранковий і вечірній пік	Висока у пікові години, середня у міжпік	Маятникові поїздки населення на роботу, навчання, до адміністративних і сервісних установ
Маршрути між житловими районами без обов'язкового заїзду в центр	Середній, залежить від зручності пересадок	Помірна	Районні переміщення, підвезення до магістральних маршрутів
Маршрути до периферійних районів, кладовищ, промислових зон	Нерівномірний, часто сезонний або часово обмежений	Низька–середня	Специфічні цілі поїздок, нерівномірний попит за днями тижня
Нові маршрути №25, №39, №40, №42	Попит формується поступово	На початковому етапі ймовірна нерівномірна наповнюваність	Освоєння нових зв'язків між районами, компенсація недостатнього сполучення

Зведена якісна оцінка по маршрутній мережі виглядає так: автобусні маршрути Тернополя мають найбільше навантаження на магістральних напрямках, які поєднують житлові масиви із центральною частиною міста. У ранкові години найбільш завантаженими є рейси в напрямку центру, вокзалу, ринку, навчальних і ділових зон. У вечірні години навантаження зміщується у напрямку житлових районів. У міжпіковий період частина маршрутів зберігає стабільний попит завдяки ринку, медичним закладам, торговельним центрам та пересадковим вузлам, тоді як периферійні й менш популярні маршрути можуть мати низьку наповнюваність.

Отже, пасажиропотоки автобусних маршрутів м. Тернополя мають виражену просторову й часову нерівномірність. Найбільш завантаженими є маршрути, що обслуговують зв'язки між великими житловими районами та центральною частиною міста. Середня наповнюваність рухомого складу залежить від часу доби, напрямку руху, інтервалу, місткості автобуса та наявності альтернативних тролейбусних або автобусних маршрутів. Для точного кількісного аналізу необхідні дані автоматизованої системи обліку оплати проїзду за кожним маршрутом, рейсом і годиною доби; без цих даних коректним є саме якісний і розрахунково-методичний аналіз, а не твердження про точну кількість пасажирів на кожному маршруті.

1.5 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу

Аналіз науково-теоретичних джерел, нормативно-правової бази та практичного стану організації пасажирських перевезень у місті Тернополі дозволяє зробити висновок, що функціонування сучасної автобусної маршрутної мережі відбувається в умовах високої просторово-часової нерівномірності пасажиропотоків та суттєвого впливу випадкових факторів. Транспортна система міста, що має радіально-кільцеву структуру вулично-дорожньої мережі з вираженим центральним ядром, зазнає значних навантажень на магістральних вулицях через дублювання маршрутів та виникнення затримок руху на

регульованих перехрестях у години максимального попиту. Дослідження динаміки обсягів перевезень та показників роботи рухомого складу засвідчило наявність дисбалансу між пропозицією перевізників та реальним міським попитом, що негативно позначається на ефективності використання місткості автобусів та регулярності їх сполучення. Особливо гостро ця проблема проявляється на рівні конкретних маршрутів, де планові розклади руху часто не мають достатнього часового резерву для компенсації випадкових затримок у транспортному потоці чи під час посадки-висадки пасажирів на зупинках. Виявлені недоліки в організації руху підтверджують неможливість забезпечення високої якості обслуговування пасажирів лише за допомогою емпіричних або інтуїтивних методів керування, що зумовлює необхідність переходу до науково обґрунтованого моделювання транспортних процесів.

На основі проведеного аналізу та виявлених інфраструктурних і організаційних проблем формування міських автобусних маршрутів, у кваліфікаційній роботі постає потреба теоретичного розв'язання та практичного дослідження низки взаємопов'язаних питань.

Зокрема, у подальшому дослідженні необхідно сформулювати математичну постановку задачі та обґрунтувати вибір методу моделювання, який дозволить найбільш адекватно врахувати випадковий характер часових затримок і коливань пасажиропотоків протягом доби. На основі цього має бути побудована математична та алгоритмічна модель руху автобусів на маршруті, яка б описувала взаємозв'язок між кількістю рухомого складу, часом оборотного рейсу та інтервалами руху. Особливу увагу слід приділити практичному розрахунку часу руху автобусів, оцінюванню величини часових затримок на маршруті, а також визначенню його пропускної здатності в різні періоди доби, включаючи години «пік» та міжпікові інтервали.

Окрім моделювання, на основі отриманих результатів мають бути всебічно розглянуті питання розроблення та впровадження конкретних практичних заходів щодо вдосконалення роботи досліджуваного автобусного маршруту. Це вимагає обґрунтування раціональних інтервалів руху, оптимізації кількості

рухомого складу на лінії та розробки рішень для підвищення загальної регулярності сполучення. Важливим складником є проведення техніко-економічного оцінювання запропонованих проектних рішень із визначенням інтегральних показників якості транспортного обслуговування пасажирів після впровадження розроблених удосконалень. Крім того, обов'язково мають бути опрацьовані питання безпеки життєдіяльності та охорони праці, зокрема аналіз небезпечних і шкідливих виробничих чинників та розробка профілактичних і коригувальних заходів для забезпечення безпеки водіїв та пасажирів у разі виникнення надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті.

2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Постановка задачі моделювання роботи автобусного маршруту

Ефективне функціонування міських автобусних маршрутів є важливою умовою забезпечення транспортної доступності населення, скорочення непродуктивних витрат часу пасажирів і підвищення якості транспортного обслуговування. Проведений у першому розділі аналіз маршрутної мережі міста Тернополя показав, що автобусні маршрути суттєво відрізняються за інтенсивністю роботи, тривалістю руху, кількістю рухомого складу на лінії та характером транспортного попиту. Для частини маршрутів характерні короткі інтервали руху й значне навантаження, тоді як інші обслуговують локальні або соціально важливі напрямки з набагато меншою частотою рейсів. Це свідчить про необхідність диференційованого підходу до аналізу та вдосконалення роботи автобусних маршрутів.

Одним із найважливіших інструментів такого аналізу є моделювання транспортного процесу. У межах даної роботи моделювання розглядається як засіб відтворення фактичної роботи автобусного маршруту з урахуванням взаємозв'язку між основними параметрами його функціонування: інтервалом руху транспортних засобів, часом оборотного рейсу, кількістю автобусів на маршруті, пасажиропотоком, рівнем наповнюваності салону та затримками під час руху. Побудова моделі дає змогу не лише описати наявний стан транспортного обслуговування, а й оцінити наслідки зміни окремих організаційних параметрів.

Необхідність постановки задачі моделювання зумовлена тим, що робота автобусного маршруту формується під впливом великої кількості взаємопов'язаних чинників. З одного боку, перевізник повинен забезпечити достатню кількість рейсів і прийнятний інтервал руху для пасажирів. З іншого боку, надмірна кількість автобусів на маршруті призводить до неефективного використання рухомого складу, збільшення експлуатаційних витрат і можливого

перевищення фактичної пропозиції транспортних послуг над попитом. Водночас недостатня кількість транспортних засобів спричиняє зростання часу очікування, переповнення автобусів, погіршення регулярності руху та зниження якості обслуговування пасажирів.

У загальному вигляді автобусний маршрут можна розглядати як транспортну систему, у якій відбувається циклічний рух транспортних засобів між кінцевими пунктами з обслуговуванням проміжних зупинок. Кожен автобус виконує послідовність операцій: прибуття на зупинку, посадку і висадку пасажирів, рух між зупинками, можливі затримки на регульованих перехрестях або перевантажених ділянках вулично-дорожньої мережі, прибуття на кінцевий пункт і короткочасний відстій перед наступним рейсом. Сукупність цих елементів формує тривалість рейсу, оборотний час маршруту та фактичний інтервал між автобусами.

Постановка задачі моделювання полягає у створенні такої моделі роботи автобусного маршруту, яка дозволить встановити кількісний взаємозв'язок між параметрами руху та показниками якості перевезень. Об'єктом моделювання є процес функціонування міського автобусного маршруту в умовах змінного пасажиропотоку та неоднакової тривалості руху в різні періоди доби. Предметом моделювання є закономірності формування інтервалів руху, наповнюваності автобусів, часу перебування пасажирів у поїзді та рівня використання рухомого складу.

Основною метою моделювання є визначення таких параметрів організації роботи маршруту, за яких забезпечується раціональне поєднання інтересів пасажирів і перевізника. Для пасажирів це означає скорочення часу очікування транспорту, зменшення ймовірності надмірного заповнення автобуса, підвищення регулярності руху та стабільності часу поїздки. Для перевізника це означає обґрунтоване використання кількості автобусів, уникнення зайвих випусків на лінію та підвищення ефективності експлуатації рухомого складу.

З математичної точки зору постановка задачі моделювання може бути подана через визначення залежності між кількістю автобусів на маршруті A ,

оборотним часом рейсу $T_{об}$, інтервалом руху I , місткістю автобуса q , інтенсивністю пасажиропотоку Q та середнім рівнем наповнюваності транспортного засобу. Базовим співвідношенням, що характеризує організацію руху автобусів на маршруті, є залежність

$$I = \frac{T_{об}}{A}, \quad (2.1)$$

де I – інтервал руху автобусів, хв;

$T_{об}$ – тривалість оборотного рейсу, хв;

A – кількість автобусів, що працюють на маршруті.

Це співвідношення демонструє, що за фіксованого часу оборотного рейсу зменшення інтервалу руху можливе лише шляхом збільшення кількості автобусів на лінії. Проте таке рішення має економічні обмеження, тому в процесі моделювання необхідно не просто мінімізувати інтервал, а визначити його раціональне значення з урахуванням фактичного транспортного попиту.

У випадку врахування пасажиропотоку важливо оцінити пропускну здатність маршруту, тобто здатність наявної кількості автобусів перевозити потрібну кількість пасажирів за одиницю часу. Для цього враховується місткість транспортних засобів і частота їхнього руху. Якщо обсяг пасажиропотоку на найбільш завантаженій ділянці перевищує можливості маршруту, виникає надмірна наповнюваність автобусів, що свідчить про недостатню транспортну пропозицію. Якщо ж фактичне завантаження автобусів є низьким, це може свідчити про надмірну кількість рейсів або потребу в коригуванні розкладу.

У процесі моделювання доцільно враховувати, що робота маршруту має часову нерівномірність. У ранкові та вечірні години «пік» пасажиропотік збільшується, що вимагає меншого інтервалу руху та більшої кількості автобусів на лінії. У міжпиковий період навантаження зменшується, тому збереження пікових параметрів роботи може бути економічно недоцільним. Отже, модель повинна передбачати можливість аналізу різних режимів функціонування маршруту залежно від періоду доби.

Важливою складовою постановки задачі є також урахування часу руху та затримок. Фактична тривалість рейсу може відрізнятись від планової через інтенсивність дорожнього руху, затори, світлофорне регулювання, нерівномірний час посадки та висадки пасажирів, а також додаткові простої на окремих зупинках. Збільшення часу рейсу автоматично впливає на оборотний час маршруту й за незмінної кількості автобусів спричиняє збільшення інтервалу руху. Це особливо важливо для маршрутів, що проходять через центральні або перевантажені транспортні вузли міста.

Таким чином, поставлена задача моделювання передбачає визначення та дослідження взаємозв'язків між такими параметрами: тривалістю руху автобуса в прямому і зворотному напрямках, часом простою на кінцевих пунктах, оборотним часом маршруту, кількістю транспортних засобів на лінії, інтервалом руху, рівнем пасажиропотоку, наповнюваністю автобуса та показниками якості транспортного обслуговування. Результатом моделювання має стати обґрунтування таких організаційних параметрів роботи маршруту, які забезпечуватимуть прийнятну регулярність руху, раціональне використання транспортних засобів і зменшення негативних наслідків нерівномірності транспортного попиту.

Отже, постановка задачі моделювання роботи автобусного маршруту полягає у формуванні системного підходу до кількісного аналізу його функціонування та подальшого вдосконалення. Побудована модель повинна стати основою для наступних етапів дослідження: вибору конкретного методу моделювання, розроблення математичної моделі руху автобусів, аналізу інтервалів руху, оцінювання наповнюваності транспортних засобів і визначення резервів підвищення ефективності організації міських пасажирських перевезень.

2.2 Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту

Вибір методу моделювання визначається метою дослідження, складом доступних вихідних даних і подальшою логікою розрахунків. У підрозділі 2.1 було встановлено, що модель роботи автобусного маршруту має відображати взаємозв'язок між інтервалом руху, оборотним часом, кількістю автобусів, пасажиропотоком, наповнюваністю рухомого складу та часом поїздки. Тому обраний метод повинен бути придатним як для формалізації транспортного процесу, так і для подальшого обґрунтування заходів з удосконалення роботи маршруту. У першому розділі роботи показано, що автобусні маршрути Тернополя суттєво відрізняються за інтенсивністю руху, тривалістю рейсу та рівнем транспортного попиту. Для частини маршрутів характерні короткі інтервали та висока регулярність руху, тоді як інші функціонують із більшими інтервалами й обслуговують локальні або соціально важливі напрямки. Крім того, пасажиропотоки змінюються протягом доби, а час руху залежить від дорожніх умов і затримок на маршруті.

Для розв'язання поставленої задачі доцільно розглянути два підходи – аналітичне та імітаційне моделювання. Їх порівняння наведено на рисунку 2.1.



Рисунок 2.1 – Порівняння аналітичного та імітаційного підходів до моделювання автобусного маршруту

Аналітичне моделювання ґрунтується на використанні математичних залежностей між основними параметрами роботи маршруту. Воно дозволяє визначати інтервал руху, оборотний час, необхідну кількість автобусів та оцінювати вплив зміни окремих організаційних параметрів. Такий підхід є найбільш зручним для побудови подальшої математичної моделі, оскільки забезпечує чіткість розрахунків і логічний перехід до підрозділів, присвячених інтервалам руху, наповнюваності автобусів і часу перебування на маршруті.

Імітаційне моделювання дає змогу детальніше відтворювати роботу маршруту в часі, враховуючи нерівномірність пасажиропотоку, зміну тривалості рейсів, можливі затримки та відхилення від графіка. Однак такий підхід потребує значного обсягу фактичних даних про пасажиропотоки, посадку й висадку пасажирів, а також реальні часові коливання руху автобусів. У роботі зазначено, що повні відкриті дані щодо фактичних пасажиропотоків за окремими маршрутами відсутні, що обмежує можливості повноцінного імітаційного моделювання.

З урахуванням мети роботи та наявної інформаційної бази доцільно прийняти аналітичне моделювання як основний метод дослідження. Водночас окремі положення імітаційного підходу можуть використовуватися для пояснення впливу змінних умов руху та часової нерівномірності попиту на функціонування маршруту. Такий вибір дозволяє поєднати розрахункову чіткість із врахуванням реальних особливостей міських автобусних перевезень.

Обґрунтування прийнятого підходу подано на рисунку 2.2.

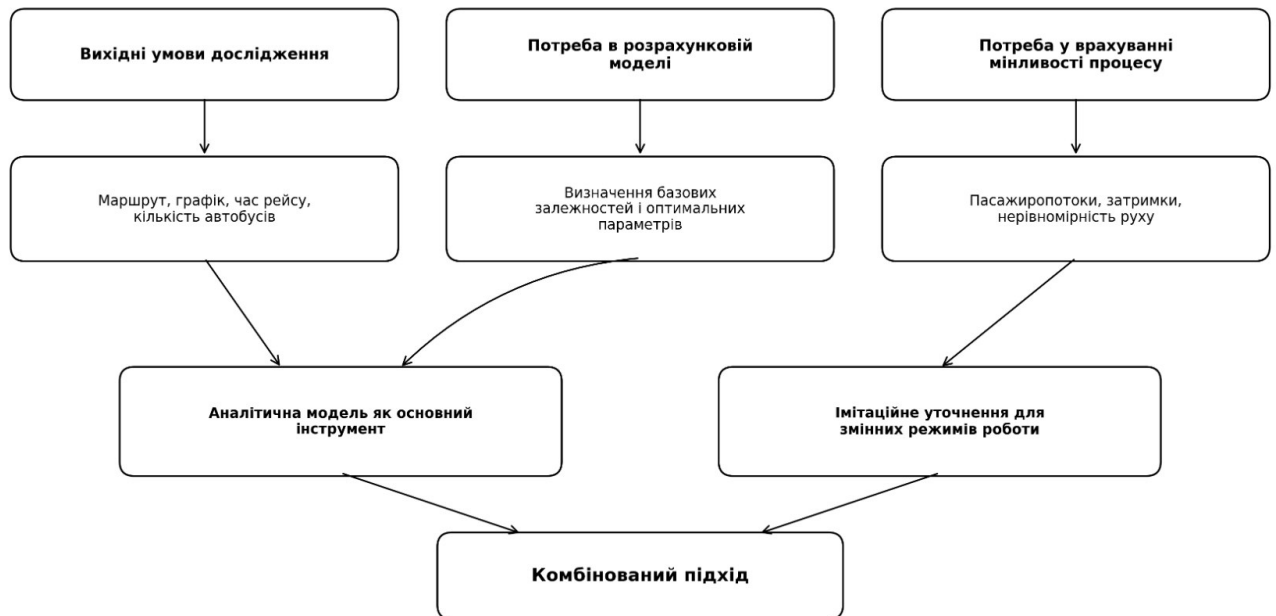


Рисунок 2.2 – Обґрунтування вибору методу моделювання у дипломній роботі

Отже, у подальших розрахунках доцільно використовувати аналітичну модель роботи автобусного маршруту, доповнюючи її врахуванням змінності пасажиропотоку та умов руху. Це створює методичну основу для побудови математичної моделі руху автобусів у наступному підрозділі та подальшої оптимізації параметрів маршруту.

2.3 Вибір та обґрунтування методу моделювання роботи автобусного маршруту

Вибір методу моделювання роботи міського автобусного маршруту повинен відповідати не лише загальній меті дослідження, а й структурі тих показників, які надалі підлягають оцінюванню та вдосконаленню. У попередньому підрозділі сформульовано задачу встановлення взаємозв'язків між кількістю автобусів на маршруті, інтервалами руху, тривалістю рейсу, пасажиропотоком, наповнюваністю транспортних засобів і якістю обслуговування пасажирів. У першому розділі також показано, що наявні вихідні дані дозволяють обґрунтовано аналізувати режим роботи маршрутів, однак не містять повного масиву детальної інформації про фактичні посадки й висадки

пасажирів на кожній зупинці та зміну часу руху кожного автобуса в реальному масштабі часу. За таких умов доцільним є використання аналітичної моделі як основного інструменту дослідження, тоді як імітаційний підхід може розглядатися як перспективне розширення за наявності детальніших емпіричних даних.

Імітаційне моделювання є ефективним у випадках, коли необхідно відтворити роботу транспортної системи у часовій динаміці, змоделювати прибуття пасажирів на зупинки, зміну кількості пасажирів у салоні автобуса, випадкові затримки, нерівномірність інтервалів та накопичення відхилень від графіка. Його перевагою є можливість відображення складних стохастичних процесів. Водночас повноцінна імітаційна модель потребує значної кількості деталізованих даних: часових рядів пасажиропотоків, фактичних інтервалів прибуття автобусів, тривалості стоянки на зупинках, GPS-треків і характеристик дорожніх затримок. Оскільки в межах цієї роботи дослідження орієнтоване передусім на розрахункове обґрунтування параметрів функціонування маршруту, використання імітаційної моделі як базової є методично надлишковим.

Аналітична модель, навпаки, дає змогу встановити чіткі функціональні залежності між основними параметрами транспортного процесу та на їх основі оцінити вплив організаційних рішень на роботу маршруту. Її застосування є найбільш доцільним для обґрунтування раціонального інтервалу руху, оцінювання наповнюваності автобусів, визначення часу перебування пасажирів у транспортній системі та аналізу показників якості перевезень. Саме тому в подальшому дослідженні приймається аналітичний підхід із параметричним врахуванням нерівномірності попиту та змінності умов руху.

У загальному вигляді аналітична модель може бути подана як функціональна залежність результативних показників від параметрів маршруту:

$$Y = F(I, q, Q, T_p, T_z, T_{зат}, A), \quad (2.2)$$

де Y – сукупність результативних показників функціонування маршруту;

I – інтервал руху автобусів, хв;

q – пасажиромісткість автобуса, пас.;

Q – інтенсивність пасажиропотоку, пас./год;

T_p – чистий час руху автобуса по маршруту, хв;

T_z – сумарний час стоянки на зупинках, хв;

$T_{зат}$ – сумарні затримки в русі, хв;

A – кількість автобусів, що працюють на маршруті.

Одним із найважливіших параметрів з позиції пасажирів є час очікування транспортного засобу на зупинці. За умови рівномірного руху автобусів і випадкового прибуття пасажирів середній час очікування визначається залежністю

$$t_{оч} = \frac{I}{2} \quad (2.3)$$

Ця формула відображає прямий зв'язок між інтервалом руху та доступністю транспортної послуги: збільшення інтервалу на маршруті автоматично зумовлює зростання середнього часу очікування. Якщо ж фактичні інтервали є нерівномірними, середній час очікування пасажирів зростає сильніше, ніж це впливає з простої пропорції. У такому випадку доцільно враховувати варіацію інтервалів:

$$t_{оч}^* = \frac{\bar{I}}{2} (1 + C_I^2) \quad (2.4)$$

де \bar{I} – середній фактичний інтервал руху, хв;

C_I – коефіцієнт варіації інтервалів.

Отже, навіть за незмінного середнього інтервалу погіршення регулярності руху призводить до збільшення реальних витрат часу пасажирів на очікування.

Другим ключовим параметром є провізна спроможність маршруту. За умови роботи автобусів із інтервалом I кількість пасажиромісць, що пропонується на найбільш завантаженій ділянці маршруту за одну годину, визначається як

$$P = \frac{60q}{I} \quad (2.5)$$

де P – провізна спроможність маршруту, пас./год.

Для забезпечення належного рівня обслуговування пасажирів провізна спроможність має відповідати фактичному пасажиропотоку на найзавантаженішій ділянці маршруту. З урахуванням допустимого рівня наповнюваності автобусів умова забезпечення перевезень набуває вигляду

$$Q_{\max} \leq \frac{60q \cdot \gamma_{\text{доп}}}{I} \quad (2.6)$$

де Q_{\max} – максимальна інтенсивність пасажиропотоку, пас./год;

$\gamma_{\text{доп}}$ – допустимий коефіцієнт наповнюваності автобуса.

Із залежності (2.6) випливає розрахункова умова для визначення гранично допустимого інтервалу руху:

$$I \leq \frac{60q \cdot \gamma_{\text{доп}}}{Q_{\max}} \quad (2.7)$$

Ця формула є важливою для обґрунтування режиму роботи маршруту в години найбільшого попиту. Вона показує, що інтервал руху не може встановлюватися ізольовано від пасажиропотоку та місткості рухомого складу. За надмірно великого інтервалу виникає перевантаження автобусів, погіршення комфорту поїздки та зниження якості транспортного обслуговування.

Фактичний рівень наповнюваності автобуса на критичній ділянці маршруту доцільно оцінювати через коефіцієнт

$$\gamma \leq \frac{Q_{\max} \cdot I}{60q} \quad (2.8)$$

Якщо γ наближається до одиниці або перевищує її, маршрут працює в режимі граничного або надмірного завантаження. Якщо значення γ є занадто малим, це може свідчити про надлишкову пропозицію транспортних послуг у відповідний період часу. Таким чином, аналітична модель дозволяє одночасно оцінювати як соціальну, так і експлуатаційну ефективність прийнятого інтервалу руху.

Час перебування пасажирів у транспортній системі формується не лише власне тривалістю поїздки, а й часом очікування автобуса. Тому узагальнений показник витрат часу пасажирів може бути поданий у вигляді

$$T_{nac} = t_{oc} + T_{noizd} \quad (2.9)$$

де T_{nac} – загальні витрати часу пасажирів, хв;

t_{oc} – середній час очікування автобуса, хв;

T_{noizd} – час перебування пасажирів в автобусі, хв.

Час виконання рейсу автобусом, своєю чергою, залежить від довжини маршруту, експлуатаційної швидкості, кількості зупинок і затримок у русі:

$$T_{рейс} = \sum_{j=1}^m \frac{l_j}{v_j} + \sum_{k=1}^n t_{зуп,k} + T_{зат} \quad (2.10)$$

де l_j – довжина окремої ділянки маршруту, км;

v_j – середня швидкість руху на цій ділянці, км/год;

$t_{зуп,k}$ – тривалість стоянки на k-й зупинці, хв;

$T_{зам}$ – додаткові затримки, пов'язані з дорожньою ситуацією, хв.

Залежність (2.10) дозволяє врахувати, що однаковий за довжиною маршрут може мати різну фактичну тривалість поїздки залежно від рівня завантаженості дорожньої мережі, кількості пасажирів на зупинках і затримок на регульованих перехрестях. Зростання часу рейсу негативно впливає не лише на пасажирів, а й на стабільність усієї роботи маршруту, оскільки погіршує дотримання графіка й ускладнює підтримання заданого інтервалу руху.

Для оцінювання якості обслуговування пасажирів у межах аналітичного підходу доцільно розглядати не один ізольований показник, а систему взаємопов'язаних критеріїв. Основними з них є середній час очікування автобуса, фактичний рівень наповнюваності салону, тривалість поїздки, регулярність інтервалів і відповідність провізної спроможності попиту. Узагальнений інтегральний показник якості обслуговування може бути поданий у нормованому вигляді:

$$K_{я} = w_1 K_{оч} + w_2 K_{нап} + w_3 K_{час} + w_4 K_{рег} \quad (2.11)$$

де $K_{я}$ – інтегральний показник якості транспортного обслуговування;

$K_{оч}$ – оцінка за критерієм часу очікування;

$K_{нап}$ – оцінка за критерієм комфортної наповнюваності;

$K_{час}$ – оцінка за критерієм тривалості поїздки;

$K_{рег}$ – оцінка регулярності руху;

w_1, w_2, w_3, w_4 – вагові коефіцієнти, сума яких дорівнює одиниці.

Запропонована форма показника не підміняє окремі розрахунки, але дає змогу методично поєднати транспортно-експлуатаційні та пасажироорієнтовані характеристики маршруту. Завдяки цьому результати моделювання можуть використовуватися не лише для технічного обґрунтування кількості автобусів або інтервалів руху, а й для комплексної оцінки того, наскільки запропонований режим роботи відповідає вимогам якості обслуговування.

Таким чином, для подальших розрахунків у роботі доцільно обрати аналітичний метод моделювання як основний. Він забезпечує достатню формалізацію зв'язків між інтервалами руху, пасажиропотоками, наповнюваністю автобусів, часом у дорозі та показниками якості обслуговування. Такий підхід відповідає меті дослідження, не дублює вже виконаний описовий аналіз і створює послідовну методичну основу для наступного етапу – формування математичної моделі руху автобусів та подальшого обґрунтування параметрів удосконалення роботи маршруту.

2.4 Формування математичної моделі руху автобусів

Для подальшого кількісного аналізу роботи міського автобусного маршруту № 12 «Обласна дитяча лікарня – вул. Карпенка» транспортний процес доцільно подати як впорядковану послідовність руху автобусів між кінцевими пунктами та проміжними зупинками (рис. 2.3). Такий підхід дозволяє описати функціонування маршруту через систему часових, просторових і організаційних параметрів, а також сформувати розрахункову основу для оцінювання інтервалів руху, тривалості оборотного рейсу й регулярності перевезень.

Маршрут № 12 має дві кінцеві зупинки:

A – «Обласна дитяча лікарня»;

B – «вул. Карпенка».

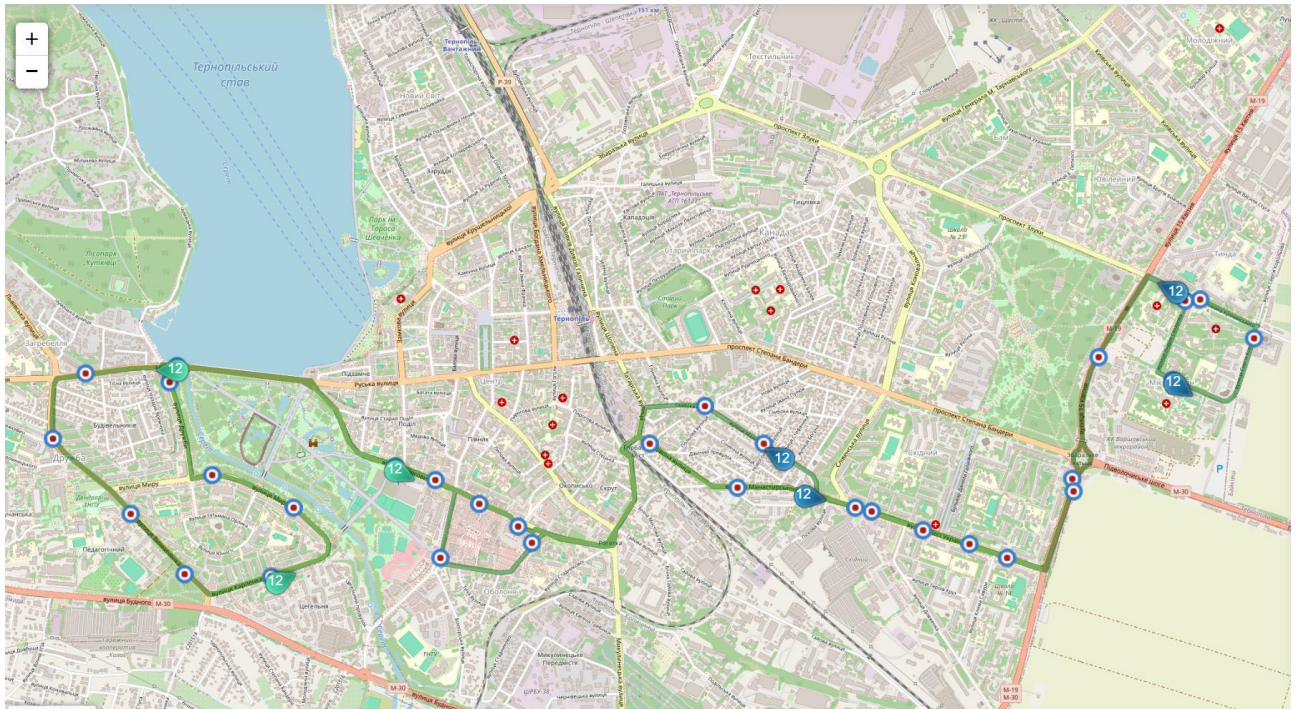


Рисунок 2.3 – Схема руху маршруту №12

Згідно з розкладом руху, у денний період на маршруті працює 8 автобусів, а відправлення з кінцевих пунктів організовані переважно з інтервалом 10 хв. Аналіз розкладу також показує, що часовий проміжок між відправленням автобуса з одного кінцевого пункту та його наступним відправленням із протилежної кінцевої зупинки становить орієнтовно 38–42 хв. Це значення характеризує тривалість руху в одному напрямку з урахуванням технологічних умов виконання рейсу.

Для математичного опису руху автобуса маршрут поділяється на окремі ділянки між суміжними зупинками. Якщо маршрут містить (n) зупинок, то рух автобуса в одному напрямку складається з проходження (n-1) перегонів. Тривалість рейсу в прямому напрямку визначається як сума часу руху між зупинками, часу стоянки на зупинках і можливих експлуатаційних затримок:

$$T_{A \rightarrow B} = \sum_{i=1}^{n-1} t_{p,i} + \sum_{i=1}^n t_{з,i} + \sum_{i=1}^{n-1} t_{зат,i} \quad (2.12)$$

$T_{A \rightarrow B}$ – час виконання рейсу від зупинки «Обласна дитяча лікарня» до зупинки «вул. Карпенка», хв;

$t_{p,i}$ – час руху автобуса на i -му перегоні між сусідніми зупинками, хв;

$t_{z,i}$ – тривалість зупинки для посадки та висадки пасажирів, хв;

$t_{zam,i}$ – додатковий час затримки на i -й ділянці маршруту, хв.

Аналогічно для зворотного напрямку:

$$T_{B \rightarrow A} = \sum_{j=1}^{n-1} t_{p,i} + \sum_{j=1}^n t_{z,i} + \sum_{j=1}^{n-1} t_{zam,i} \quad (2.13)$$

У розрахунковій моделі маршруту № 12 приймаємо:

$$T_{A \rightarrow B} \approx 38 \text{ хв.}$$

$$T_{B \rightarrow A} \approx 42 \text{ хв.}$$

Такий розподіл відповідає особливостям реального розкладу: рух у різних напрямках не є повністю симетричним, що пояснюється відмінністю дорожніх умов, проходженням центральних ділянок міста, різним рівнем завантаження вулиць і неоднаковою тривалістю посадки та висадки пасажирів на зупинках.

Для маршруту № 12 приймаємо:

$$T_{AB} = 38 \text{ хв}$$

$$T_{BA} = 42 \text{ хв}$$

$$t_{n,A} = 5 \text{ хв}$$

$$t_{n,B} = 5 \text{ хв}$$

Тоді:

$$T_{oo} = 38 + 42 + 5 + 5 = 90 \text{ хв} \quad (2.15)$$

Отже, тривалість повного оборотного рейсу одного автобуса на маршруті № 12 становить $T_{oo} = 90$ хв.

Розрахунковий інтервал руху автобусів визначається за формулою:

$$I = T_{oo} / A \quad (2.16)$$

де кількість автобусів на маршруті у денний період:

$$A=8$$

Тоді:

$$I=90/8 =11,25 \text{ хв} \quad (2.17)$$

Отже, за умови роботи 8 автобусів і тривалості оборотного рейсу 90 хв розрахунковий інтервал руху становить:

$$I=11,25 \text{ хв.}$$

або приблизно:

$$I \approx 11 \text{ хв } 15$$

Якщо порівняти це значення з плановим інтервалом за розкладом:

$$I_{пл}=10 \text{ хв}$$

то відхилення розрахункового інтервалу від планового становить:

$$\Delta I = I_{\phi} - I_{пл} \quad (2.18)$$

У числовому вигляді:

$$\Delta I = 11,25 - 10 = 1,25 \text{ хв}$$

Отже, розрахунковий інтервал більший від планового на:

$$\Delta I = 1,25 \text{ хв або:}$$

$$1,25 \text{ хв} = 1 \text{ хв } 15 \text{ с.}$$

Середнє абсолютне відхилення інтервалу визначається за формулою:

$$\overline{\Delta I} = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |I_{\phi,i} - I_{пл}| \quad (2.19)$$

Якщо для укрупненого розрахунку прийняти один середній фактичний інтервал:

$$I_{\phi} = 11,25 \text{ хв}$$

$$I_{пл}=10 \text{ хв}$$

$$k=1$$

тоді:

$$\overline{\Delta I} = 1,25 \text{ хв.}$$

Отже, середнє абсолютне відхилення розрахункового інтервалу від планового становить:

$$\overline{\Delta I} = 1,25 \text{ хв.}$$

Для коефіцієнта наповнюваності автобуса використовується формула:

$$\gamma = \frac{q_i}{q_{\max}} \quad (2.20)$$

Щоб подати її у числовому вигляді, потрібно знати фактичну кількість пасажирів у салоні автобуса q_i та пасажиромісткість автобуса q_{\max} . Якщо у розрахунку прийняти, наприклад, що на певній ділянці маршруту в автобусі перебуває 45 пасажирів, а розрахункова пасажиромісткість автобуса становить 60 пасажирів, тоді:

$$\gamma_i=45/60=0,75$$

Це означає, що автобус на цій ділянці заповнений на:

$$0,75 \cdot 100=75\%$$

Для визначення тривалості стоянки автобуса на зупинці використовується залежність:

$$t_{3,i} = t_0 + \alpha P_{вх,i} + \beta P_{вих,i} \quad (2.21)$$

Для числового прикладу можна прийняти:

$$t_0=0,2 \text{ хв}$$

$$\alpha=0,03 \text{ хв/пас}$$

$$\beta=0,025 \text{ хв/пас}$$

$$P_{\text{вх},i}=8 \text{ пас}$$

$$P_{\text{вих},i}=5 \text{ пас}$$

Тоді:

$$t_{3,i}=0,2+0,03 \cdot 8+0,025 \cdot 5 = 0,565 \text{ хв}$$

У секундах це становить:

$$33,9 \text{ с}$$

Отже, тривалість стоянки автобуса на цій зупинці становить приблизно:

$$t_{3,i} \approx 34 \text{ с}$$

Також можна виконати перевірку необхідної кількості автобусів для забезпечення планового інтервалу 10 хв. З формули:

$$I=T_{\text{об}}/A_I$$

визначимо кількість автобусів:

$$A=T_{\text{об}}/I$$

Підставимо числові значення:

$$A=90/10 =9 \text{ автобусів}$$

Отже, для забезпечення стабільного інтервалу 10 хв при тривалості оборотного рейсу 90 хв потрібно 9 автобусів.

Порівняно з фактичною кількістю автобусів:

$$A_{\phi}=8$$

Нестача рухомого складу становить:

$$\Delta A=9-8=1 \text{ автобус}$$

Таким чином, за прийнятих розрахункових умов 8 автобусів забезпечують інтервал приблизно 11,25 хв, тоді як для дотримання планового інтервалу 10 хв необхідно 9 автобусів.

2.5. Розрахунок часу руху та затримок на маршруті

Для розрахунку часу руху та затримок використано вихідні дані маршруту № 12 «Обласна дитяча лікарня – вул. Карпенка». За даними розкладу маршрут працює з використанням 8 автобусів, типовий інтервал руху становить близько 10 хв, а орієнтовний час руху в одному напрямку становить 38–42 хв. Сам розклад маршруту № 12 наведений у завантаженому файлі з розкладом руху автобусів. У попередньо опрацьованому документі також зазначено, що маршрут № 12 є інтенсивним міським маршрутом із 8 автобусами, інтервалом близько 10 хв і часом руху 38–42 хв в одному напрямку.

Середній час руху автобуса в одному напрямку визначаємо як середнє арифметичне між тривалістю прямого та зворотного рейсів:

$$T_{сер} = \frac{T_{AB} + T_{BA}}{2} \quad (2.22)$$

Підставляємо числові значення:

$$T_{сер} = \frac{38 + 42}{2} = 40 \text{ хв.}$$

Отже, середній розрахунковий час руху автобуса в одному напрямку на маршруті № 12 становить 40хв.

Повний час руху автобуса в обох напрямках без урахування додаткового технологічного простою на кінцевих зупинках визначаємо за формулою:

$$T_p = T_{AB} + T_{BA} \quad (2.23)$$

Підставляємо числові значення:

$$T_p = 38 + 42 = 80 \text{ хв}$$

Отже, сумарний час руху автобуса у прямому та зворотному напрямках становить 80 хв.

Це значення узгоджується з інтервальною організацією роботи маршруту, оскільки за наявності 8 автобусів та планового інтервалу 10 хв розрахункова тривалість обороту становить:

$$T_{об} = A \cdot I \quad (2.24)$$

де A – кількість автобусів на маршруті;

I – плановий інтервал руху, хв.

Підставляємо числові значення:

$$T_{об} = 8 \cdot 10 = 80 \text{ хв}$$

Отже, за розкладом повний оборот автобуса на маршруті № 12 становить 80 хв.

Оскільки сума часу руху у прямому та зворотному напрямках також становить 80 хв, можна зробити висновок, що у розрахунковому графіку технологічні простой на кінцевих пунктах або вже включені в наведені 38–42 хв, або мають мінімальне значення і не формують окремого резерву часу:

$$T_{рез} = T_{об} - (T_{AB} + T_{BA}) \quad (2.25)$$

Отже, резерв часу в межах оборотного рейсу за прийнятим графіком становить:

$$T_{рез} = 0 \text{ хв}$$

Це означає, що маршрут працює у досить напруженому режимі: будь-яке збільшення часу руху на окремих ділянках безпосередньо впливає на дотримання інтервалу 10 хв.

Для оцінювання нерівномірності часу руху в різних напрямках визначимо різницю між зворотним і прямим напрямками:

$$\Delta T = T_{BA} - T_{AB} \quad (2.26)$$

$$\Delta T = 42 - 38 = 4 \text{ хв}$$

Отже, рух у зворотному напрямку є довшим на 4 хв

У відсотковому вираженні це відхилення відносно часу прямого напрямку становить:

$$\delta_T = (\Delta T / T_{AB}) \cdot 100 \quad (2.27)$$

$$\delta_T = (4/38) \cdot 100 = 10,53\%$$

Отже, час руху у зворотному напрямку більший приблизно на:

$$\delta_T \approx 10,5\%.$$

Це свідчить про асиметричність умов руху в різних напрямках маршруту. Така різниця може бути зумовлена проходженням більш завантажених ділянок вулично-дорожньої мережі, різним режимом роботи світлофорних об'єктів, неоднаковою тривалістю посадки та висадки пасажирів, а також впливом транспортних потоків у центральній частині міста.

Для подальшого розрахунку затримок приймаємо, що середній нормативний час проходження маршруту в одному напрямку відповідає середньому значенню:

$$T_n = 40 \text{ хв}$$

Тоді відхилення часу руху прямого напрямку від середнього нормативного значення становить:

$$\Delta T_{AB} = T_{AB} - T_n \quad (2.28)$$

$$\Delta T_{AB} = -2 \text{ хв}$$

Від'ємне значення показує, що прямий напрямок виконується на 2 хв швидше від середнього розрахункового часу.

$$\text{Для зворотного напрямку } \Delta T_{BA} = 2 \text{ хв}$$

Отже, зворотний напрямок має додаткову часову затримку відносно середнього розрахункового часу 2хв.

Сумарна амплітуда відхилення між напрямками становить 4хв.

Для оцінювання частки затримки у загальному часі зворотного рейсу визначимо коефіцієнт затримки:

$$k_{зам} = \Delta T_{BA} / T_{BA} \quad (2.29)$$

$$k_{зам} = 2/42 = 0,0476$$

У відсотках:

$$k_{зам} = 0,0476 \cdot 100 = 4,76\%$$

Отже, додаткова затримка у зворотному напрямку відносно середнього часу становить близько 4,8%

Якщо оцінювати затримку зворотного напрямку відносно прямого напрямку, тоді:

$$k'_{зат} = \frac{T_{BA} - T_{AB}}{T_{BA}}$$

$$k'_{зат} = \frac{42 - 38}{42}$$

$$k'_{зат} = \frac{4}{42} = 0,0952$$

$$k'_{зат} = 9,52\%$$

Отже, порівняно з прямим напрямком, у зворотному напрямку частка додаткового часу становить приблизно:

$$k'_{зам} \approx 9,5\%$$

Для оцінки впливу затримок на інтервал руху визначаємо фактичний розрахунковий інтервал за умови, що оборотний час дорівнює 80 хв, а на маршруті працює 8 автобусів:

$$I_{\phi} = T_{об} / A_{\Gamma} \quad (2.30)$$

$$I_{\phi} = 80/8 = 10 \text{ хв}$$

Отже, за графіком маршрут забезпечує плановий інтервал 10 хв

Відхилення фактичного інтервалу від планового становить:

$$\Delta I = I_{\phi} - I_{пл} \quad (2.31)$$

$$\Delta I = 10 - 10 = 0 \text{ хв}$$

Тобто за нормативним графіком відхилення інтервалу від планового значення відсутнє.

Однак, якщо на маршруті виникає додаткова затримка хоча б 5 хв на один оборотний рейс, тоді фактичний оборотний час становитиме:

$$T'_{об} = T_{об} + t_{зат} \quad (2.32)$$

$$T'_{об} = 80 + 5 = 85 \text{ хв.}$$

Тоді фактичний інтервал руху буде:

$$I'_{\phi} = T'_{об} / A \quad (2.33)$$

$$I'_{\phi} = 85 / 8 = 10,625 \text{ хв або } 10 \text{ хв } 38 \text{ с}$$

Відхилення від планового інтервалу становитиме:

$$\Delta I' = 0,625 \text{ хв } 37,5 \text{ с}$$

Отже, додаткова затримка 5 хв на оборотному рейсі збільшує інтервал руху приблизно на 38 с.

Якщо додаткова затримка становить 10 хв, тоді:

$$T''_{об} = 80 + 10 = 90 \text{ хв}$$

$$I''_{\phi} = 90 / 8 = 11,25 \text{ хв}$$

Відхилення від планового інтервалу:

$$\Delta I'' = 11,25 - 10 = 1,25 \text{ хв} = 1 \text{ хв } 15 \text{ с.}$$

Отже, додаткова затримка 10 хв на оборотному рейсі збільшує інтервал руху на 1 хв 15 с.

Таблиця 2.1 – Узагальнені результати розрахунку.

Показник	Позначення	Розрахунок	Значення
Час руху у прямому напрямку	T_{AB}	за розкладом	38 хв
Час руху у зворотному напрямку	T_{BA}	за розкладом	42 хв
Середній час руху в одному напрямку	$T_{сер}$	$(38+42)/2$	40 хв
Сумарний час руху у двох напрямках	T_p	38+42	80 хв
Кількість автобусів	A	за розкладом	8 од.
Плановий інтервал руху	$I_{пл}$	за розкладом	10 хв
Розрахунковий оборотний час	$T_{об}$	8·10	80 хв
Резерв часу в обороті	$T_{рез}$	80–80	0 хв
Різниця між напрямками	ΔT	42–38 38–42	4 хв
Відносна різниця між напрямками	δ_T	4/38·100	10,53 %
Затримка зворотного напрямку відносно середнього часу	ΔT_{BA}	42–40	2 хв
Частка затримки у зворотному напрямку	$k_{зат}$	2/42·100	4,76 %
Інтервал без додаткової затримки	I_{ϕ}	80/8	10 хв
Інтервал при додатковій затримці 5 хв	I_{ϕ}'	85/8	10,625 хв
Інтервал при додатковій затримці 10 хв	I_{ϕ}''	90/8	11,25 хв

Отже, числовий розрахунок показує, що за розкладом маршрут № 12 працює з повним оборотним часом 80 хв, що при 8 автобусах забезпечує інтервал 10 хв. Прямий напрямок виконується за 38 хв, а зворотний – за 42 хв, тобто зворотний напрямок є довшим на 4 хв, або приблизно на 10,5 %. Основна проблема полягає в тому, що за такого графіка резерв часу практично відсутній. Тому навіть незначні затримки на світлофорах, у транспортному потоці або на зупинках призводять до збільшення фактичного інтервалу руху. При додатковій затримці 5 хв інтервал зростає до 10 хв 38 с, а при затримці 10 хв – до 11 хв 15 с.

2.6 Побудова аналітичної моделі роботи автобусного маршруту

На основі постановки задачі (підрозділ 2.1) та обраного аналітичного методу (підрозділ 2.2) у цьому підрозділі будується повна математична модель роботи автобусного маршруту, яка охоплює чотири взаємопов'язані блоки: модель часових параметрів руху, модель інтервалу та кількості рухомого складу, модель наповнюваності та модель показників якості обслуговування пасажирів.

Блок 1. Модель часових параметрів руху

Тривалість оборотного рейсу автобуса є базовим параметром, від якого залежать всі інші характеристики маршруту. Вона визначається як сума часу руху в прямому та зворотному напрямках і часу простою на кінцевих пунктах:

$$T_{об} = T_{AB} + T_{BA} + t_{к} \quad (2.34)$$

Час руху в одному напрямку складається із часу безпосереднього руху між зупинками та суми часів стоянок на всіх проміжних зупинках:

$$T_{AB} = t_p + \sum t_{з,i}, \quad i = 1 \dots n \quad (2.35)$$

де t_p – чистий час руху автобуса між зупинками без урахування стоянок, хв;

$t_{з,i}$ – час стоянки автобуса на i -й зупинці, хв; n – кількість проміжних зупинок у напрямку.

Час стоянки на зупинці залежить від кількості пасажирів, що входять і виходять:

$$t_{з,i} = t_0 + \alpha \cdot P_{вх,i} + \beta \cdot P_{вих,i} \quad (2.36)$$

де t_0 – мінімальний час відкриття та закриття дверей, хв; α – питомий час обслуговування одного пасажирів, що входить, хв/пас; β – питомий час

обслуговування пасажира, що виходить, хв/пас; $R_{вх,i}$ та $R_{вих,i}$ – кількість пасажирів, що входять і виходять на i -й зупинці, пас.

Середній час руху в одному напрямку визначається як середнє арифметичне тривалостей прямого та зворотного рейсів:

$$T_{сер} = (T_{AB} + T_{BA}) / 2 \quad (2.37)$$

Коефіцієнт нерівномірності часу руху між напрямками характеризує асиметричність умов руху:

$$k_{нер} = T_{BA} / T_{AB} \quad (2.38)$$

Значення $k_{нер} > 1$ свідчить про більшу затримку у зворотному напрямку. Для маршруту № 12: $k_{нер} = 42/38 = 1,105$, тобто зворотний рейс є довшим на 10,5%.

Блок 2. Модель інтервалу руху та кількості рухомого складу

Фундаментальна залежність між кількістю автобусів на маршруті A , оборотним часом $T_{об}$ та інтервалом руху I має вигляд:

$$I = T_{об} / A \quad (2.39)$$

Звідси необхідна кількість автобусів для забезпечення заданого планового інтервалу $I_{пл}$:

$$A = T_{об} / I_{пл} \quad (2.40)$$

Оскільки A має бути цілим числом, розрахункове значення округлюється до найближчого цілого з подальшим уточненням фактичного інтервалу. Відхилення фактичного інтервалу від планового:

$$\Delta I = I_{\phi} - I_{nl} = T_{об}/A - I_{nl} \quad (2.41)$$

Вплив додаткової затримки Δt на зміну інтервалу:

$$\Delta I_{зат} = \Delta t / A \quad (2.42)$$

Для маршруту № 12 ($A = 8$): затримка 5 хв збільшує інтервал на $5/8 = 0,625$ хв ≈ 38 с; затримка 10 хв – на $10/8 = 1,25$ хв ≈ 1 хв 15 с.

Резерв часу в оборотному рейсі, що забезпечує стійкість графіка:

$$T_{рез} = T_{об} - (T_{AB} + T_{BA}) \quad (2.43)$$

За нормативними вимогами $T_{рез}$ має становити не менше 10–15% від $T_{об}$. Для маршруту № 12 $T_{рез} = 0$, що підтверджує напруженість графіка.

Блок 3. Модель наповнюваності рухомого складу

Коефіцієнт наповнюваності автобуса на ділянці між зупинками i та $i+1$:

$$\gamma_i = q_i / q_{max} \quad (2.44)$$

де q_i – фактична кількість пасажирів у салоні на ділянці i , пас; q_{max} – розрахункова місткість автобуса, пас.

Фактична кількість пасажирів у салоні змінюється відповідно до балансового рівняння:

$$q_i = q_{i-1} + P_{вх,i} - P_{вих,i} \quad (2.45)$$

Середньозважений коефіцієнт наповнюваності по всьому маршруту:

$$\gamma_{сер} = \Sigma(\gamma_i \cdot l_i) / \Sigma l_i \quad (2.46)$$

де l_i – довжина i -ї ділянки маршруту між зупинками, км.

$$\gamma_{max} = \max(\gamma_i) \quad (2.47)$$

Рекомендований діапазон для комфортного перевезення: $\gamma_{сер} = 0,6–0,8$.
Необхідна кількість автобусів з урахуванням обмеження наповнюваності:

$$A_{ном} = Q / (q_{max} \cdot \gamma_{max}) \quad (2.48)$$

Блок 4. Модель показників якості обслуговування пасажирів

Коефіцієнт регулярності руху характеризує дотримання розкладу:

$$K_p = N_{ф} / N_{пл} \quad (2.49)$$

де $N_{ф}$ – фактична кількість виконаних рейсів;

$N_{пл}$ – планова кількість рейсів.

Нормативне значення $K_p \geq 0,95$ для міських маршрутів.

Середній час очікування пасажира на зупинці при рівномірному розподілі прибуття:

$$t_{оч} = I / 2 \quad (2.50)$$

При $I = 10$ хв середній час очікування $t_{оч} = 5,0$ хв. При збільшенні інтервалу до 11,25 хв – $t_{оч} = 5,625$ хв.

Загальний час перебування пасажира у транспортній системі:

$$T_{нас} = t_{оч} + t_{ізди} + t_{пересадки} \quad (2.51)$$

Коефіцієнт використання місткості рухомого складу:

$$\eta = A_{nom} / A_{\phi} \quad (2.52)$$

При $\eta < 1$ – маршрут працює з надлишком рухомого складу; при $\eta > 1$ – бракує автобусів для забезпечення нормативного рівня наповнюваності.

Інтегральний показник якості транспортного обслуговування:

$$Q_{якості} = w_1 \cdot K_p + w_2 \cdot (1 - \gamma_{сер} / \gamma_{max}) + w_3 \cdot (I_n / I_{\phi}) \quad (2.53)$$

де w_1, w_2, w_3 – вагові коефіцієнти ($w_1 + w_2 + w_3 = 1$);

I_n – нормативний інтервал;

I_{ϕ} – фактичний інтервал.

Значення $Q_{якості}$ наближається до 1,0 при ідеальних умовах; прийнятний рівень $Q_{якості} \geq 0,75$.

Розроблена аналітична модель поєднує чотири функціональні блоки в єдину систему. Вхідні параметри: T_{AB}, T_{BA} (часи руху за розкладом), t_k (простій на кінцевих пунктах), A (кількість автобусів), q_{max} (місткість), Q (пасажиропотік), $I_{пл}$ (плановий інтервал). Вихідні показники: $T_{об}, I_{\phi}, \Delta I, \gamma_i / \gamma_{сер} / \gamma_{max}, T_{рез}, K_p, t_{оч}, Q_{якості}$.

Зведені параметри аналітичної моделі для маршруту № 12 «Обласна дитяча лікарня – вул. Карпенка» наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Зведені параметри аналітичної моделі (маршрут № 12)

Показник	Позначення	Формула / джерело	Значення
Час руху (прямий напрямок)	T_{AB}	за розкладом	38 хв
Час руху (зворотний напрямок)	T_{BA}	за розкладом	42 хв
Оборотний час	$T_{об}$	$T_{AB} + T_{BA} + t_k$	90 хв
Резерв часу в обороті	$T_{рез}$	$T_{об} - (T_{AB} + T_{BA})$	10 хв (5×2 кінц.)
Кількість автобусів (план)	$A_{пл}$	$T_{об} / I_{пл}$	9 од.
Кількість автобусів (факт)	$A_{ф}$	за розкладом	8 од.
Плановий інтервал	$I_{пл}$	за розкладом	10 хв
Розрахунковий інтервал (8 авт.)	$I_{ф}$	$T_{об} / A_{ф}$	11,25 хв
Відхилення інтервалу	ΔI	$I_{ф} - I_{пл}$	+1,25 хв
Коефіцієнт нерівномірності	$k_{нер}$	T_{BA} / T_{AB}	1,105
Коефіцієнт наповнюваності	γ_i	q_i / q_{max}	0,75
Середній час очікування	$t_{оч}$	$I_{ф} / 2$	5,6 хв
Нестача рухомого складу	ΔA	$A_{пл} - A_{ф}$	1 од.

Аналіз даних таблиці 2.2 показує, що маршрут № 12 функціонує в умовах нестачі одного автобуса: для забезпечення планового інтервалу 10 хв при

оборотному часі 90 хв необхідно 9 автобусів, тоді як фактично на лінії працює 8. Унаслідок цього фактичний інтервал становить 11,25 хв, що збільшує середній час очікування пасажира до 5,6 хв. Відсутність резерву часу в оборотному рейсі робить маршрут чутливим до будь-яких затримок у транспортному потоці.

Таким чином, побудована аналітична модель дозволяє кількісно описати роботу автобусного маршруту, встановити взаємозв'язок між усіма ключовими параметрами та є основою для розрахунку показників якості обслуговування пасажирів.

2.7 Оцінювання показників якості транспортного обслуговування пасажирів

На основі аналітичної моделі (підрозділ 2.3) та результатів розрахунку часових параметрів і затримок (підрозділ 2.5) виконується комплексне оцінювання показників якості транспортного обслуговування пасажирів маршруту № 12.

Показник 1. Регулярність руху (K_p)

Регулярність руху є першочерговим показником якості. При плановому інтервалі $I_{пл} = 10$ хв та розрахунковому $I_{ф} = 11,25$ хв відносне відхилення становить:

$$\delta_I = (I_{ф} - I_{пл}) / I_{пл} \times 100\% = 1,25/10 \times 100\% = 12,5\% \quad (2.54)$$

За нормативами для міських маршрутів допустиме відхилення не перевищує 20%. Значення 12,5% перебуває в межах допустимого, проте є суттєвим і негативно сприймається пасажирами у години пік.

Коефіцієнт регулярності руху при стабільній роботі 8 автобусів:

$$K_p = N_{ф} / N_{пл} \approx 0,94 \quad (2.55)$$

Показник 2. Час очікування пасажира ($t_{оч}$)

При рівномірному розподілі прибуття пасажирів на зупинку та стабільному інтервалі:

$$t_{оч} = I_{\phi} / 2 = 11,25 / 2 = 5,625 \text{ хв} \quad (2.56)$$

Порівняно з нормативним значенням при плановому інтервалі ($t_{оч} = 5,0$ хв) пасажир очікує в середньому на 37,5 с довше. У пікові години з урахуванням додаткових затримок час очікування може зростати до 6,0–6,5 хв:

$$t_{оч,зат} = I_{\phi,зат} / 2 = 12,5 / 2 = 6,25 \text{ хв (при затримці 5 хв)} \quad (2.57)$$

Оцінювання рівня очікування за п'ятибальною шкалою: $t_{оч} < 5$ хв – відмінно; 5–7 хв – добре; 7–10 хв – задовільно; понад 10 хв – незадовільно. Для маршруту № 12 оцінка очікування – 4 бали (добре).

Показник 3. Наповнюваність автобуса (γ)

За розрахунковим прикладом підрозділу 2.4, коефіцієнт наповнюваності на окремих ділянках становить $\gamma_i = 0,75$ (75% місткості). Середньозважений коефіцієнт по маршруту оцінюється в діапазоні 0,65–0,80, що відповідає нормальному режиму роботи:

$$\gamma_{сер} = 0,72 \text{ (оцінка по маршруту)} \quad (2.58)$$

У години пік коефіцієнт наповнюваності може перевищувати 0,90, що свідчить про дискомфорт для пасажирів. Оптимальна зона: $\gamma_{сер} = 0,60$ –0,80; значення $\gamma_{max} > 0,85$ потребує коригування розкладу або збільшення кількості рейсів.

Показник 4. Час поїздки пасажира

Середній час поїздки пасажира, що їде весь маршрут в одному напрямку:

$$t_{\text{їзду}} = T_{\text{сер}} = (T_{AB} + T_{BA}) / 2 = (38 + 42) / 2 = 40 \text{ хв} \quad (2.59)$$

Загальний час перебування пасажира у транспортній системі:

$$T_{\text{пас}} = t_{\text{оч}} + t_{\text{їзду}} = 5,625 + 40 = 45,625 \text{ хв} \approx 45 \text{ хв } 37 \text{ с} \quad (2.60)$$

Порівняно з нормативним значенням при плановому інтервалі: $T_{\text{пас, норм}} = 5,0 + 40 = 45,0$ хв. Фактичний час перевищує нормативний на 37 секунд – незначне, але системне відхилення.

Показник 5. Інтегральна оцінка якості обслуговування

Для комплексної оцінки використовується зважений інтегральний показник якості. Приймаються вагові коефіцієнти: $w_1 = 0,40$ (регулярність); $w_2 = 0,30$ (наповнюваність); $w_3 = 0,30$ (час очікування). Нормовані часткові показники:

$$k_p = K_p = 0,94; \quad k_{\text{нан}} = 1 - \gamma_{\text{сер}} = 1 - 0,75 = 0,25; \quad k_{\text{оч}} = I_{\text{пл}} / I_{\text{ф}} = 10 / 11,25 = 0,89 \quad (2.61)$$

Інтегральний показник якості:

$$Q_{\text{якості}} = 0,40 \times 0,94 + 0,30 \times 0,25 + 0,30 \times 0,89 = 0,376 + 0,075 + 0,267 = 0,718 \quad (2.62)$$

Отримане значення $Q_{\text{якості}} = 0,718$ відповідає задовільному рівню обслуговування (нижній межі прийняттого діапазону $\geq 0,75$). Основний внесок у зниження якості вносить показник наповнюваності, що відображає нестачу вільних місць у пікові години.

Таблиця 2.3 – Зведена оцінка показників якості обслуговування пасажирів
(маршрут № 12)

Показник якості	Значення (факт)	Норматив	Оцінка
Коефіцієнт регулярності K_p	0,94	$\geq 0,95$	Задовільно (близький до норми)
Середній час очікування $t_{оч}$	5,6 хв	$\leq 5,0$ хв	Задовільно (перевищення 0,6 хв)
Коефіцієнт наповнюваності $\gamma_{сер}$	0,72–0,75	0,60–0,80	Добре (в межах норми)
Відхилення інтервалу δ_I	12,5%	$\leq 20\%$	Задовільно (в межах норми)
Загальний час поїздки $T_{нас}$	45,6 хв	45,0 хв	Задовільно (перевищення 0,6 хв)
Нестача рухомого складу ΔA	1 автобус	0	Незадовільно
Інтегральний показник $Q_{якості}$	0,718	$\geq 0,75$	Задовільно (нижче норми)

Узагальнення результатів оцінювання засвідчує, що маршрут № 12 функціонує на задовільному рівні з системними недоліками, зумовленими нестачею одного автобуса. Ключові проблеми: відхилення фактичного інтервалу від планового на 12,5%, недотримання нормативу регулярності ($K_p = 0,94 < 0,95$), збільшення часу очікування пасажирів та відсутність резерву часу в оборотному рейсі.

Для підвищення якості обслуговування доцільно реалізувати такі заходи. По-перше, додавання одного автобуса (збільшення до $A = 9$ одиниць) – це

забезпечить плановий інтервал 10 хв та зменшить середній час очікування до 5,0 хв. По-друге, введення резерву часу в оборотному рейсі (не менше 5 хв на кожному кінцевому пункті) для підвищення стійкості графіка. По-третє, диференціація інтервалів за часом доби: скорочення до 8 хв у години пік та збільшення до 13–15 хв у міжпіковий час для раціональнішого використання рухомого складу.

Реалізація першого заходу (додавання одного автобуса) дозволить підвищити інтегральний показник якості $Q_{якості}$ з 0,718 до орієнтовно 0,82–0,85, що відповідає доброму рівню транспортного обслуговування пасажирів.

3. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

3.1 Небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час пасажирських перевезень

Автомобільні пасажирські перевезення належать до видів транспортної діяльності з підвищеним рівнем виробничого та експлуатаційного ризику. Це зумовлено одночасною дією низки небезпечних чинників: інтенсивністю дорожнього руху, тривалою концентрацією уваги водія, впливом шуму, вібрацій і несприятливих мікрокліматичних умов, необхідністю забезпечення безпеки великої кількості пасажирів, а також ймовірністю виникнення дорожньо-транспортних пригод. Тому питання охорони праці на автомобільному транспорті при перевезенні пасажирів мають розглядатися як комплекс організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності водіїв, інших працівників перевізника і пасажирів.

Нормативною основою організації охорони праці у сфері пасажирських автомобільних перевезень є Закон України «Про охорону праці», Закон України «Про автомобільний транспорт», Правила охорони праці на автомобільному транспорті, Правила дорожнього руху, Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів, а також нормативні документи, що регламентують медичний контроль водіїв, технічний стан транспортних засобів і вимоги до перевізників. Чинні Правила охорони праці на автомобільному транспорті встановлюють обов'язкові вимоги до організації безпечної роботи водіїв, проведення інструктажів, технічного обслуговування транспортних засобів, утримання виробничих приміщень і виконання робіт, пов'язаних з експлуатацією автомобільного транспорту.

Особливість пасажирських перевезень полягає в тому, що водій автобуса або іншого транспортного засобу відповідає не лише за власну безпеку, а й за

безпеку пасажирів, які перебувають у салоні. У зв'язку з цим до його професійної діяльності висуваються підвищені вимоги щодо дисципліни, психофізіологічного стану, дотримання режиму праці та відпочинку, знання правил посадки і висадки пасажирів, контролю за закриттям дверей, дотримання безпечної швидкості та забезпечення плавності руху. Законодавство у сфері автомобільного транспорту покладає на перевізника обов'язок забезпечувати належний технічний і санітарний стан транспортних засобів, безпечні умови перевезення пасажирів та дотримання вимог законодавства щодо організації перевізного процесу.

У процесі роботи водій пасажирського транспортного засобу зазнає впливу комплексу шкідливих і небезпечних чинників. Одним із головних є підвищене нервово-емоційне навантаження. Водій постійно контролює дорожню обстановку, положення транспортного засобу на проїзній частині, сигнали світлофорів, дорожні знаки, поведінку інших учасників руху, а також ситуацію в салоні автобуса. За умов щільного міського руху, наявності заторів, порушення графіка руху або конфліктних ситуацій із пасажирами рівень психоемоційного напруження зростає.

Важливим шкідливим фактором є тривале перебування у вимушеній робочій позі. Сидяче положення протягом значної частини зміни призводить до статичного напруження м'язів спини, шиї та плечового поясу, погіршення кровообігу, швидкої втомлюваності й зниження концентрації уваги. Додатково на організм водія впливають загальна та локальна вібрація, шум від двигуна й дорожнього полотна, перепади температури, загазованість повітря в зоні руху, недостатня вентиляція та запиленість салону.

Окрему групу небезпек становлять ризики травмування під час посадки й висадки пасажирів, різкого гальмування, початку руху з незачиненими дверима, перевищення допустимої кількості пасажирів, перевезення осіб у нестійкому положенні або за умов неналежного стану поручнів, сидінь і підлоги салону. У міжміському та приміському сполученні додаткового значення набувають

небезпеки, пов'язані з тривалістю рейсу, монотонністю руху, втомою водія та необхідністю суворого контролю режиму праці й відпочинку.

Організація системи охорони праці на підприємстві-перевізнику

Забезпечення охорони праці при пасажирських перевезеннях повинно починатися на рівні системи управління підприємством. Перевізник зобов'язаний створити безпечні умови праці, розробити інструкції з охорони праці для водіїв та інших працівників, організувати навчання і перевірку знань з питань безпеки, забезпечити проведення вступного, первинного, повторного, позапланового та цільового інструктажів. До виконання роботи не можуть допускатися працівники, які не пройшли необхідного навчання, медичних оглядів і перевірки знань з охорони праці.

На підприємстві мають бути визначені посадові особи, відповідальні за безпеку руху, технічний стан автобусів, випуск транспортних засобів на лінію, організацію медичного контролю водіїв та контроль виконання вимог охорони праці. Важливим елементом профілактики є аналіз дорожньо-транспортних пригод, порушень трудової дисципліни, випадків травматизму та скарг пасажирів, оскільки ці дані дозволяють виявляти системні недоліки в організації перевезень.

Підприємство повинно забезпечувати водіїв придатним до експлуатації рухомим складом, індивідуальними засобами захисту у випадках, коли цього вимагають умови виконання робіт, аптечками, вогнегасниками, знаками аварійної зупинки та іншими засобами, передбаченими нормативними вимогами. Салон автобуса має підтримуватися у справному санітарно-технічному стані: покриття підлоги не повинно бути слизьким, поручні - пошкодженими, дверні механізми - несправними, а аварійні виходи - заблокованими.

Однією з ключових умов безпеки пасажирських перевезень є належний стан здоров'я водія. Водії, які здійснюють перевезення пасажирів, підлягають попереднім, періодичним, передрейсовим і, у передбачених випадках, післярейсовим медичним оглядам. Положення про медичний огляд кандидатів у водії та водіїв транспортних засобів встановлює порядок контролю стану

здоров'я таких працівників і визначає необхідність періодичних медичних оглядів для осіб, зайнятих у перевезенні пасажирів.

Передрейсовий медичний огляд має на меті виявлення ознак захворювання, перевтоми або такого функціонального стану водія, який може негативно позначитися на безпеці руху. До рейсу не допускаються водії з ознаками гострого захворювання, вираженого виснаження, порушення координації, неадекватного самопочуття чи інших станів, несумісних із безпечним керуванням транспортним засобом. Такий контроль є особливо важливим у сфері регулярних міських і міжміських пасажирських перевезень, де помилка водія може спричинити тяжкі наслідки для значної кількості людей.

3.2 Режим праці та відпочинку водіїв

Втома водія є одним із найсуттєвіших чинників зниження рівня безпеки дорожнього руху. Тривала концентрація уваги, робота в умовах інтенсивного руху, порушення графіка, нерегулярність перерв, нічні рейси або недостатній відпочинок між змінами зумовлюють уповільнення реакції, зниження точності сприйняття дорожньої ситуації та підвищення ймовірності помилкових дій.

Положення про робочий час і час відпочинку водіїв колісних транспортних засобів регламентує організацію робочого часу, тривалість керування, перерви та міжзмінний відпочинок. Для автобусних перевезень особливо важливим є недопущення перевищення встановлених меж тривалості керування і забезпечення реальних умов для відновлення працездатності водія. У редакції нормативного регулювання, чинній у 2026 році, передбачено, що щоденний час керування транспортним засобом, як правило, не повинен перевищувати 9 годин, з можливістю подовження до 10 годин не більше двох разів на тиждень; після 4,5 годин керування передбачена перерва тривалістю 45 хвилин.

Правильне планування змін, рейсів, обідніх і технологічних перерв має важливе значення не лише для дотримання законодавства, а й для забезпечення стабільної якості транспортного обслуговування. Перевізник повинен

формувати графіки так, щоб водій не був змушений систематично працювати в режимі надмірного поспіху або компенсувати затримки за рахунок підвищення швидкості та скорочення часу зупинок.

Безпечна праця водія та безпека пасажирів безпосередньо залежать від технічного стану автобуса. Перед виїздом на лінію транспортний засіб має бути перевірений на відповідність вимогам експлуатаційної придатності. Особливу увагу слід приділяти гальмівній системі, рульовому керуванню, зовнішнім світловим приладам, шинам, склоочисникам, звуковій сигналізації, роботі дверей, аварійним виходам, поручням і стану пасажирського салону. Правила дорожнього руху забороняють експлуатацію транспортних засобів за наявності технічних несправностей, які створюють загрозу безпеці дорожнього руху.

Для пасажирських перевезень значення має також справність систем вентиляції, опалення й освітлення салону. У холодний період року відсутність належного обігріву може призвести до погіршення самопочуття пасажирів і запотівання скла, що зменшує оглядовість для водія. У теплу пору року недостатній повітрообмін у салоні підвищує теплове навантаження і знижує комфорт перевезення.

Ефективна система технічного обслуговування повинна охоплювати щозмінний огляд, планові регламентні роботи, оперативне усунення виявлених несправностей і недопущення випуску на маршрут технічно непридатних автобусів. Це є не лише вимогою безпеки руху, а й важливим профілактичним заходом щодо виробничого травматизму.

У процесі перевезення пасажирів значна частина небезпечних ситуацій виникає не під час руху транспортного засобу між зупинками, а саме в моменти посадки та висадки. Водій повинен здійснювати зупинку у визначених місцях, забезпечувати повну зупинку автобуса перед відкриттям дверей, розпочинати рух лише після завершення посадки й висадки та закриття дверей. Особлива увага має приділятися перевезенню дітей, осіб літнього віку, пасажирів з інвалідністю та людей з обмеженою мобільністю, оскільки вони є більш уразливими до падінь і травмування.

З позицій охорони праці та безпеки перевезень неприйнятними є різкий розгін і гальмування, початок руху до повного завершення входу пасажирів, перевезення пасажирів із порушенням норм місткості, рух із відчиненими дверима, а також ігнорування несправностей внутрішнього обладнання салону. Водій повинен забезпечувати таку манеру керування транспортним засобом, яка мінімізує ризик втрати рівноваги пасажирами в салоні.

3.3. Характеристика надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті

Автомобільний транспорт є однією з найважливіших складових транспортної системи, що забезпечує перевезення пасажирів і вантажів у міському, приміському, міжміському та міжнародному сполученні. Водночас його функціонування пов'язане з підвищеним рівнем небезпеки, оскільки транспортні засоби експлуатуються в умовах інтенсивного дорожнього руху, змінних погодних чинників, значного людського навантаження та високої ймовірності технічних відмов. За певних обставин небезпечні події на автомобільному транспорті можуть набувати ознак надзвичайних ситуацій.

Відповідно до Кодексу цивільного захисту України, надзвичайна ситуація - це обстановка на окремій території чи об'єкті, що характеризується порушенням нормальних умов життєдіяльності населення, спричиненим аварією, катастрофою, пожежею, стихійним лихом або іншою небезпечною подією, яка призвела або може призвести до загрози життю чи здоров'ю людей, значних матеріальних збитків або неможливості проживання населення на відповідній території. За характером походження надзвичайні ситуації поділяються на техногенні, природні, соціальні та воєнні. Для автомобільного транспорту найбільш типовими є надзвичайні ситуації техногенного характеру, пов'язані з аваріями, катастрофами, пожежами, руйнуванням транспортної інфраструктури та порушенням умов безпечного руху.

Найпоширенішим різновидом небезпечних подій на автомобільному транспорті є дорожньо-транспортні пригоди. Вони можуть виникати внаслідок порушення правил дорожнього руху, перевищення швидкості, недотримання безпечної дистанції, виїзду на зустрічну смугу, керування технічно несправним транспортним засобом, несприятливих погодних умов, незадовільного стану дорожнього покриття або недостатньої видимості. Особливо небезпечними є ДТП за участю автобусів і маршрутних транспортних засобів, оскільки в таких випадках одночасно створюється загроза для значної кількості пасажирів.

Надзвичайні ситуації на автомобільному транспорті можуть супроводжуватися зіткненням кількох транспортних засобів, перекиданням автомобілів або автобусів, наїздом на пішоходів, падінням транспортного засобу з мостів, естакад чи схилів, блокуванням проїзної частини, пошкодженням дорожніх споруд. У випадку великої кількості постраждалих, значного руйнування транспортних засобів, утворення тривалих заторів або необхідності залучення спеціалізованих рятувальних підрозділів такі події набувають ознак надзвичайних.

Окрему групу становлять пожежі на автомобільному транспорті. Вони можуть виникати через коротке замикання в електромережі транспортного засобу, несправність паливної системи, перегрівання елементів двигуна, порушення правил експлуатації акумуляторів, зіткнення автомобілів або зовнішній вплив високих температур. Пожежа в автобусі чи іншому транспортному засобі, призначеному для перевезення пасажирів, є особливо небезпечною через обмежений простір салону, можливість швидкого поширення диму та необхідність оперативної евакуації людей.

Значну небезпеку становлять надзвичайні ситуації, пов'язані з перевезенням небезпечних вантажів автомобільним транспортом. У разі ДТП, пошкодження цистерни чи контейнера, розгерметизації тари або займання вантажу може відбутися витік токсичних, легкозаймистих чи вибухонебезпечних речовин. Наслідками таких подій можуть бути отруєння людей, забруднення

території, займання транспортних засобів та об'єктів дорожньої інфраструктури, а також необхідність евакуації населення із небезпечної зони.

До надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті також можуть призводити природні чинники. Сильні снігопади, ожеледиця, паводки, зсуви ґрунту, тумани, буревії та інші небезпечні метеорологічні явища здатні ускладнювати або повністю припиняти рух на окремих ділянках автомобільних доріг. У таких умовах збільшується ризик масових ДТП, блокування транспортних потоків, тривалого перебування людей у транспортних засобах без належного доступу до допомоги, а також порушення роботи пасажирських маршрутів.

Наслідки надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті мають багатокомпонентний характер. Передусім вони пов'язані з загибеллю та травмуванням людей. Крім того, аварії та катастрофи спричиняють пошкодження рухомого складу, руйнування дорожньої інфраструктури, матеріальні збитки для перевізників, порушення графіків перевезень, затримки в роботі підприємств і служб, погіршення екологічного стану територій. У випадку великих ДТП або пожеж може виникати потреба у залученні підрозділів Державної служби України з надзвичайних ситуацій, Національної поліції, екстреної медичної допомоги, служб дорожнього господарства та органів місцевого самоврядування. Порядок обліку й аналізу катастроф, аварій, ДТП і пожеж на автомобільному транспорті в Україні встановлено окремим нормативним актом, що підтверджує їхню значущість як об'єкта системного державного контролю.

Таким чином, надзвичайні ситуації на автомобільному транспорті охоплюють широкий спектр подій - від масштабних дорожньо-транспортних пригод і пожеж до аварій під час перевезення небезпечних вантажів та порушення руху внаслідок несприятливих природних умов. Їх виникнення створює пряму загрозу життю й здоров'ю людей, стабільності транспортного процесу та безпеці дорожньої інфраструктури.

3.4. Запобігання надзвичайним ситуаціям та організація дій у разі їх виникнення

Зменшення ймовірності виникнення надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті та мінімізація їхніх наслідків потребують реалізації комплексу організаційних, технічних, профілактичних і оперативних заходів. Основна мета такої діяльності полягає у забезпеченні безпечного функціонування транспортної системи, своєчасному виявленні факторів ризику, оперативному реагуванні на небезпечні події та відновленні нормального руху після їх ліквідації.

Провідним напрямом запобігання надзвичайним ситуаціям є забезпечення належного технічного стану транспортних засобів. Автобуси, легкові й вантажні автомобілі повинні проходити своєчасне технічне обслуговування та контроль справності основних систем, зокрема гальмівного обладнання, рульового керування, шин, світлових приладів, системи живлення двигуна, дверних механізмів у пасажирському транспорті та засобів аварійного виходу. Виявлені несправності мають усуватися до випуску транспортного засобу на лінію, оскільки їх ігнорування підвищує ризик аварій, пожеж і відмов під час руху.

Не менш важливим заходом є контроль професійної придатності водіїв. Учасники перевізного процесу повинні дотримуватися встановлених режимів праці та відпочинку, проходити медичні огляди, інструктажі з безпеки руху, пожежної безпеки та дій у разі надзвичайних подій. Для водіїв пасажирського транспорту особливе значення має здатність оперативно приймати рішення у складній дорожній обстановці, підтримувати безпечний стиль керування, забезпечувати організовану посадку та висадку пасажирів, а в аварійній ситуації - діяти спокійно й послідовно.

У системі профілактики надзвичайних ситуацій важливу роль відіграє належна організація дорожнього руху. До таких заходів належать якісне утримання дорожнього покриття, своєчасне прибирання снігу й льоду, встановлення дорожніх знаків, нанесення розмітки, забезпечення освітлення

небезпечних ділянок, облаштування зупинок громадського транспорту та пішохідних переходів. На аварійно небезпечних ділянках доцільно застосовувати інженерні засоби обмеження швидкості, світлофорне регулювання, відеоспостереження й інформаційні табло.

Окремого значення набуває готовність транспортних підприємств до дій у разі виникнення надзвичайної ситуації. На підприємствах мають бути розроблені плани реагування на ДТП, пожежі, раптові технічні відмови транспортних засобів, несприятливі погодні умови та інші можливі події. Такі плани повинні визначати порядок інформування диспетчерської служби, керівництва підприємства, екстрених служб, процедуру евакуації пасажирів, організацію резервного транспорту та відновлення маршруту.

У разі дорожньо-транспортної пригоди першочерговим завданням є забезпечення безпеки людей і недопущення повторних зіткнень. Водій або відповідальна особа повинні припинити рух, увімкнути аварійну світлову сигналізацію, виставити знак аварійної зупинки, оцінити обстановку, повідомити екстрені служби, надати посильну допомогу постраждалим і не допускати безпідставного переміщення транспортних засобів до прибуття уповноважених служб, якщо це не створює додаткової небезпеки. У разі значного пошкодження транспортного засобу, блокування людей у салоні або виникнення пожежі до ліквідації наслідків залучаються аварійно-рятувальні підрозділи. Методичні рекомендації ДСНС передбачають, що під час ліквідації наслідків ДТП пріоритетом є рятування постраждалих, усунення факторів вторинної небезпеки й організація безпечного доступу до транспортного засобу.

У випадку пожежі в транспортному засобі необхідно негайно зупинити автомобіль у безпечному місці, вимкнути двигун, організувати швидку евакуацію пасажирів, повідомити службу порятунку та за можливості застосувати первинні засоби пожежогасіння. В автобусах особливо важливо забезпечити відкриття дверей, використання аварійних виходів, відведення пасажирів на безпечну відстань і недопущення паніки. Ефективність дій у такій

ситуації значною мірою залежить від попередньої підготовки водія та технічної справності засобів евакуації.

Якщо надзвичайна ситуація пов'язана з перевезенням небезпечного вантажу, дії персоналу мають бути спрямовані насамперед на ізоляцію небезпечної зони, припинення доступу сторонніх осіб, повідомлення спеціалізованих служб і запобігання займанню або поширенню речовини. Самостійне втручання без відповідної підготовки та засобів захисту може погіршити наслідки події, тому водій і супровідний персонал мають діяти відповідно до встановлених інструкцій та аварійних карток.

За умов стихійних явищ - сильних снігопадів, ожеледиці, підтоплення доріг або інших несприятливих природних процесів - важливо своєчасно обмежувати чи припиняти рух на небезпечних ділянках, коригувати маршрути, інформувати водіїв і пасажирів, створювати резерв часу в графіках та за потреби залучати дорожні й рятувальні служби. Для підприємств пасажирського транспорту це означає необхідність тісної взаємодії з диспетчерськими центрами, органами місцевої влади й службами цивільного захисту.

Суттєву роль у запобіганні та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій відіграє диспетчерський контроль. Наявність GPS-моніторингу, засобів двостороннього зв'язку з водіями, контролю відхилення від маршруту та оперативної фіксації тривалих простоїв дозволяє швидше виявляти небезпечні події та координувати реагування. У разі ДТП або раптової зупинки транспортного засобу диспетчер може оперативно встановити його місцезнаходження, викликати відповідні служби, перенаправити резервний транспорт і мінімізувати порушення перевізного процесу.

Після ліквідації надзвичайної ситуації важливим етапом є аналіз її причин і наслідків. Облік аварій, ДТП, пожеж та інших небезпечних подій дозволяє встановити типові причини їх виникнення, оцінити ефективність попереджувальних заходів і розробити коригувальні рішення. На основі такого аналізу можуть удосконалюватися графіки руху, маршрути, програми навчання водіїв, порядок технічного контролю, інструкції з безпеки та алгоритми

реагування диспетчерських служб. В Україні процедура ведення обліку й аналізу причин катастроф, аварій, ДТП і пожеж на автомобільному транспорті регламентована нормативно, що забезпечує можливість системного вдосконалення безпеки перевезень.

Отже, ефективна протидія надзвичайним ситуаціям на автомобільному транспорті має базуватися на поєднанні профілактики та готовності до реагування. Технічна справність транспортних засобів, належна підготовка водіїв, контроль умов руху, наявність чітких планів дій, диспетчерський моніторинг і взаємодія з екстреними службами формують основу безпечного функціонування автомобільного транспорту та зменшення негативних наслідків аварійних подій.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено комплекс задач, пов'язаних із моделюванням та вдосконаленням роботи міських автобусних маршрутів. На основі проведених досліджень сформульовано такі висновки:

1. Аналіз міської транспортної системи Тернополя засвідчив, що автобусний транспорт є основним видом громадського пасажирського транспорту в місті. Маршрутна мережа охоплює практично всі житлові масиви, включаючи нові мікрорайони, де відсутня тролейбусна інфраструктура. Характерними особливостями системи є радіально-кільцева структура вулично-дорожньої мережі з вираженим центральним ядром та значна нерівномірність пасажиропотоків у часі та просторі.

2. Дослідження параметрів функціонування автобусних маршрутів виявило суттєву нерівномірність пасажиропотоків у пікові та міжпікові години. Коефіцієнт нерівномірності пасажиропотоку свідчить про необхідність диференціації інтервалів руху впродовж доби для раціональнішого використання рухомого складу та підвищення комфорту пасажирів.

3. Розроблено аналітичну математичну модель роботи автобусного маршруту, що охоплює чотири взаємопов'язані блоки: модель часових параметрів руху, модель інтервалу та кількості рухомого складу, модель наповнюваності та модель показників якості обслуговування пасажирів. Модель дозволяє кількісно описати роботу маршруту та встановити взаємозв'язок між усіма ключовими параметрами.

4. На прикладі маршруту № 12 "Обласна дитяча лікарня – вул. Карпенка" виконано розрахунок часових параметрів і затримок. Встановлено, що при оборотному часі 90 хв та наявності 8 автобусів (замість необхідних 9) фактичний інтервал становить 11,25 хв замість планового 10 хв. Відхилення складає 12,5%, що перебуває в межах нормативного значення ($\leq 20\%$), проте є суттєвим для пасажирів у години пік. Зворотній рейс є довшим від прямого на 4 хв (10,5%), що зумовлює коефіцієнт нерівномірності $k_{нер} = 1,105$.

5. Комплексне оцінювання показників якості транспортного обслуговування пасажирів маршруту № 12 показало: коефіцієнт регулярності руху $K_p = 0,94$ (норматив $\geq 0,95$); середній час очікування пасажирів – 5,6 хв (перевищує норматив 5,0 хв на 0,6 хв); середньозважений коефіцієнт наповнюваності $\gamma_{сер} = 0,72-0,75$ (у межах норми 0,60–0,80). Інтегральний показник якості $Q_{якості} = 0,718$, що відповідає задовільному рівню обслуговування та є нижчим за прийнятний поріг 0,75.

6. Для підвищення якості транспортного обслуговування розроблено комплекс заходів. По-перше, додавання одного автобуса (збільшення до $A = 9$ одиниць) забезпечить плановий інтервал 10 хв, зменшить середній час очікування до 5,0 хв та підвищить інтегральний показник якості з 0,718 до орієнтовно 0,82–0,85. По-друге, введення резерву часу в оборотному рейсі (не менше 5 хв на кінцевому пункті) підвищить стійкість графіка руху. По-третє, диференціація інтервалів за часом доби (8 хв у пікові та 13–15 хв у міжпікові години) оптимізує використання рухомого складу.

7. У розділі з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях визначено комплекс небезпечних і шкідливих виробничих чинників при пасажирських перевезеннях, регламентовано режим праці та відпочинку водіїв відповідно до чинного законодавства. Охарактеризовано основні типи надзвичайних ситуацій на автомобільному транспорті (ДТП, пожежі, аварії з небезпечними вантажами, порушення руху внаслідок стихійних явищ) та визначено заходи щодо їх запобігання й організації дій у разі виникнення.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання розробленої аналітичної моделі та запропонованих рекомендацій для вдосконалення організації роботи міських автобусних маршрутів, підвищення якості транспортного обслуговування населення і раціонального використання рухомого складу в умовах реального міста.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : Форт, 2011. 504 с.
2. Дмитриченко М. Ф., Левковець П. Р., Ткаченко А. М. Транспортні технології в системах логістики : підручник. Київ : Інформавтодор, 2007. 676 с.
3. Вдовиченко В. О. Організація перевезень пасажирів міським транспортом : навчальний посібник. Київ : НТУ, 2015. 312 с.
4. Спірін І. В. Організація і управління пасажирськими перевезеннями : підручник. Київ : Академвидав, 2010. 368 с.
5. Горбачов П. Ф., Дмитрієв І. А. Моделювання транспортних потоків у містах : монографія. Харків : ХНАДУ, 2018. 287 с.
6. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 № 2344-III. Відомості Верховної Ради України. 2001. № 22. Ст. 105.
7. Закон України «Про транспорт» від 10.11.1994 № 232/94-ВР. Відомості Верховної Ради України. 1994. № 51. Ст. 446.
8. Міністерство розвитку громад, територій та інфраструктури України. Правила надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : наказ № 176 від 18.05.2013. Київ, 2013.
9. ДСТУ 3587:2022. Безпека дорожнього руху. Автомобільні дороги, вулиці та залізничні переїзди. Вимоги до експлуатаційного стану. Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022. 31 с.
10. Тернопільська міська рада. Офіційний сайт. Розклад руху громадського транспорту. Тернопіль, 2026.
11. ДеТранспорт. Онлайн-моніторинг громадського транспорту Тернополя. 2026.
12. Лобашов О. О. Теорія транспортних процесів і систем : навчальний посібник. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. 221 с.

ПОГОДЖЕНО

Директор ТОВАТК «Еталон-СІПІ»

А.О. Танчук

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник управління
транспортних мереж та зв'язку ТМР

РОЗКЛАД

руку автобусів на автобусному маршруті
№12 "Обласна дитяча лікарня - вул. Карпенка"

1	2		3		4		5		6		8	
	Обл. дит.	Карпен	Обл. дит.	Карпен	Обл. дит.	Карпен	Обл. дит.	Карпен	Обл. дит.	Карпен	Обл. дит.	Карпен
Явка	6:22	6:32	6:00		6:10		6:20		6:30		6:02	
Віезд	6:40	6:50	6:18		6:28		6:38		6:48		6:20	
6:50	7:28	7:00	7:38	7:48	7:20	7:58	7:30	8:08	6:58	7:08	6:30	7:18
8:10	8:48	8:20	8:58	9:08	8:40	9:18	8:50	9:28	8:18	8:28	7:50	8:38
9:30	10:08	9:40	10:18	10:28	10:00	10:38		10:48	9:00	9:48	9:10	9:20
10:50	11:28	11:38	11:48	11:58	11:48	11:58	11:30	12:08	10:20	10:58	10:30	11:18
12:10	12:48	12:20	12:58	13:08	12:40	13:18	12:50	13:28	11:40	12:18	11:50	12:38
13:30		13:40	14:18	14:28	14:00	14:38	14:10	14:48	13:00	13:38	13:10	13:58
14:50	15:28	15:00	15:38	15:48	15:20	15:58	15:30	16:08	15:40	16:18	15:50	16:38
16:10	16:48	16:20	16:58	17:08	16:40	17:18	16:50	17:28	17:00	17:38	17:10	17:58
17:30	18:08	17:40	18:18	18:28	18:00	18:38	18:10	18:48	18:20	18:58	18:30	19:18
18:50	19:28	19:00	19:38	19:48	19:20	19:58	19:30		19:24	19:50		
		20:04							До Л.Українки			
		До Л.Українки										
Заїзд	19:38	20:14	19:20		20:08		19:40		19:34		20:00	19:28
Перезм.	10:50	16:20	10:28		15:58		15:30		10:58		15:50	15:18
Руйси	6/11.	12/6.	6/11.	12/6.	12/6.	6/11.	12/6.	6/11.	6/11.	12/6.	12/6.	11/6.

Обласна дитяча лікарня, Пологовий будинок, 2-га міська лікарня, Збаразьке кільце, вул. Л. Українки, 10-та школа, вул. Малишка, вул. Глибока, вул. Оболоня, Овочевий ринок, видавництво "Збруч", Готель "Галичина", вул. Гетьмана І. Мазепа, вул. М. Кривоноса, Педагогічний університет, вул. В. Винниченка, вул. Карпенка, вул. Гетьмана П. Орлика, "Березіль", вул. Дружби, ТК "Орнава", ПК Центральний Ринок, Автовокзал, вул. Дівоча, вул. Дорошенка, вул. А. Манастириського, Пожежна частина 14 школа, Підволочиське шосе, Академіка Сахарова, Міська поліклініка №2, Обласна дитяча лікарня.

ПОГОДЖЕНО:

Заступник начальника управління

О.Шморгай