

«Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автотранспорту та логістики

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Оптимізація роботи таксі/ride-hailing у місті: зонування попиту,
розподіл замовлень, зниження порожнього пробігу та оцінка KPI сервісу

Виконав: студент 4 курсу, групи МН-41
спеціальності 275 «Транспортні технології»
(шифр і назва спеціальності)

Студент Мацелюх С.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Дзюра В.О.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Комар Р.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Зав. каф. Цьонь О.П.
(підпис) (прізвище та ініціали)

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

Мацелюх Софії Андріївни

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація роботи таксі/ride-hailing у місті: зонування попиту, розподіл замовлень, зниження порожнього пробігу та оцінка KPI сервісу

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 № 4/9-33

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

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Транспортна характеристика вантажу; маршрут перевезення.

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

Вступ 1. Аналіз об'єкту дослідження; 2. Заходи із удосконалення транспортного процесу

3. Безпека життєдіяльності, основи охорони праці

Загальні висновки. Перелік посилань.

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	<i>Аналіз об'єкту дослідження</i>	<i>15.02.2026</i>	
2	<i>Заходи із удосконалення транспортного процесу</i>	<i>22.03.2026</i>	
3	<i>Безпека життєдіяльності, основи охорони праці</i>	<i>05.04.2026</i>	

Студент _____
(підпис)Мацелюх С.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____

Дзюра В.О.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	7
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Сутність сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності	10
1.2 Особливості функціонування ринку таксі у місті Тернополі	14
1.3 Фактори, що формують попит на поїздки в місті Тернополі	20
1.4 Аналіз просторово-часової нерівномірності попиту та передумови зонування міста	31
1.5 Висновки та постановка завдань на дипломне проектування	37
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Розроблення моделі роботи таксі/ride-hailing для міста	39
2.2 Модель розподілу замовлень між водіями та мінімізації порожніх пробігів	45
2.3. Алгоритм роботи моделі таксі/ride-hailing з урахуванням зонування попиту, розподілу замовлень і мінімізації порожнього пробігу	51
2.4 Заходи з оптимізації ключових факторів роботи таксі/ride-hailing	55
2.5 Система КРІ та шкала оцінювання ефективності сервісу таксі/ride-hailing	62
3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1 Безпека життєдіяльності на підприємствах автомобільного сервісу	71
3.2 Охорона праці при обслуговуванні легкових автомобілів	76
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	82
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	85

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена підвищенню ефективності функціонування сервісу таксі/ride-hailing в умовах міста на основі вдосконалення організації транспортного процесу. Актуальність теми зумовлена зростанням ролі індивідуальних пасажирських перевезень у системі міської мобільності, а також необхідністю скорочення часу подачі автомобіля, зниження порожнього пробігу та підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів.

Метою роботи є обґрунтування підходів до оптимізації роботи сервісу таксі/ride-hailing з урахуванням просторово-часової нерівномірності попиту, особливостей розподілу замовлень між водіями та необхідності підвищення ефективності використання рухомого складу. Для досягнення поставленої мети проаналізовано особливості функціонування сервісів таксі та ride-hailing у міському середовищі, досліджено чинники формування попиту на поїздки, обґрунтовано доцільність зонування міської території за транспортною активністю, розроблено підхід до раціонального розподілу замовлень між водіями та визначено заходи щодо зниження непродуктивних переміщень автомобілів.

У роботі встановлено, що ефективність сервісу значною мірою визначається не кількістю автомобілів на лінії, а якістю організації їх роботи, точністю позиціонування вільного парку та здатністю системи адаптуватися до змін попиту в просторі й часі. Запропоновано підхід до організації роботи сервісу, який базується на поєднанні зонування попиту, удосконаленого розподілу замовлень, керованого перепозиціонування автомобілів та оцінювання результативності функціонування за допомогою системи КРІ. Сформовано перелік ключових показників ефективності, що характеризують якість обслуговування пасажирів, рівень використання пробігу, продуктивність автомобілів і ступінь збалансованості покриття міської території транспортними засобами.

Практичне значення одержаних результатів полягає в можливості їх використання для вдосконалення діяльності сервісів таксі, цифрових платформ

ride-hailing, диспетчерських служб та інших суб'єктів ринку міських пасажирських перевезень. Запропоновані рішення можуть бути застосовані для скорочення часу подачі автомобіля, зниження частки порожнього пробігу, підвищення продуктивності рухомого складу та покращення загального рівня транспортного обслуговування пасажирів у місті.

Ключові слова: таксі, ride-hailing, пасажирські перевезення, міська мобільність, зонування попиту, розподіл замовлень, порожній пробіг, КРІ, ефективність сервісу, транспортний процес.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку міської мобільності послуги таксі та цифрових сервісів ride-hailing набувають дедалі більшого значення як складова транспортного обслуговування населення. Їх функціонування забезпечує підвищення доступності індивідуальних поїздок, скорочення витрат часу на переміщення, розширення транспортних можливостей населення та гнучке реагування на коливання попиту в межах міста. На відміну від традиційної моделі таксомоторних перевезень, сучасні платформи ride-hailing базуються на використанні цифрових технологій, геолокації, автоматизованого розподілу замовлень і безперервного обміну даними між пасажиром, водієм та інформаційною платформою. Саме це зумовлює потребу у дослідженні організаційних, технологічних та аналітичних засад їх ефективного функціонування.

Актуальність теми зумовлена тим, що в умовах зростання автомобілізації, нерівномірності міського попиту на перевезення та високої чутливості користувачів до якості сервісу особливого значення набуває оптимізація роботи сервісів таксі/ride-hailing. Практика функціонування таких систем свідчить, що ефективність їх роботи значною мірою визначається здатністю оперативно реагувати на зміну попиту в просторі та часі, забезпечувати раціональний розподіл замовлень між водіями, мінімізувати непродуктивні переміщення транспортних засобів і підтримувати належний рівень обслуговування пасажирів. Наявність значного порожнього пробігу, просторового дисбалансу між місцями виникнення замовлень та фактичним розташуванням автомобілів, а також коливань часу подачі транспортного засобу негативно впливає як на економічні результати діяльності сервісу, так і на задоволеність споживачів.

Для міста Тернополя зазначена проблематика є особливо актуальною. Тернопіль характеризується компактною міською структурою, однак навіть за таких умов попит на поїздки має виражену нерівномірність залежно від функціонального призначення районів, щільності забудови, концентрації місць

прикладання праці, навчальних закладів, торговельних центрів, транспортних вузлів, а також від часу доби, дня тижня та сезонних чинників. У центральній частині міста, біля залізничного вокзалу, автовокзалу, великих торговельних і медичних об'єктів, а також у районах активної житлової забудови формуються локальні піки попиту, які потребують швидкого та обґрунтованого перерозподілу транспортних засобів. Недостатній рівень аналітичного обґрунтування зонування попиту та організації диспетчеризації призводить до збільшення часу очікування пасажирів, зростання холостого пробігу та зниження загальної продуктивності сервісу.

Важливим напрямом удосконалення роботи сервісів таксі/ride-hailing є використання підходів, що базуються на просторово-часовому аналізі попиту. Зонування території міста за рівнем інтенсивності замовлень, виявлення зон дефіциту та профіциту пропозиції, розроблення принципів раціонального розподілу замовлень між водіями й оцінювання результативності за допомогою системи ключових показників ефективності створюють основу для підвищення якості транспортного обслуговування та зменшення непродуктивних витрат. У цьому контексті особливого значення набуває формування такої моделі організації роботи сервісу, яка враховує не лише географію попиту, а й експлуатаційні характеристики поїздок, тривалість подачі, завантаженість вулично-дорожньої мережі, імовірність повторного замовлення у певній зоні та параметри сервісної якості.

Метою бакалаврської роботи є підвищення ефективності функціонування сервісу таксі/ride-hailing у місті Тернополі на основі дослідження просторово-часового розподілу попиту, удосконалення механізмів розподілу замовлень, зниження порожнього пробігу транспортних засобів та оцінювання результативності запропонованих рішень за системою ключових показників ефективності.

Для досягнення поставленої мети в роботі передбачено вирішити такі завдання: проаналізувати особливості функціонування сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності; дослідити фактори, що формують попит на

поїздки у місті Тернополі; виконати зонування міської території за інтенсивністю формування замовлень; визначити закономірності розподілу попиту в просторі та часі; обґрунтувати підходи до вдосконалення розподілу замовлень між водіями; розробити заходи щодо зниження порожнього пробігу; сформувати систему КРІ сервісу та оцінити очікувану ефективність запропонованих рішень.

Об'єктом дослідження є процес функціонування сервісу таксі/ride-hailing у місті Тернополі.

Предметом дослідження є закономірності формування та просторово-часового розподілу попиту на поїздки, механізми призначення замовлень, показники порожнього пробігу та система оцінювання ефективності роботи сервісу.

У роботі використано методи аналізу та узагальнення наукових джерел, системного підходу до дослідження транспортних процесів, просторового аналізу міської території, порівняльного аналізу експлуатаційних показників, логічного моделювання організації обслуговування, а також методи оцінювання результативності функціонування сервісу на основі ключових показників ефективності.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості використання запропонованих підходів для удосконалення організації роботи сервісів таксі/ride-hailing у місті Тернополі, скорочення порожнього пробігу транспортних засобів, зменшення часу подачі автомобіля, підвищення рівня задоволеності пасажирів та покращення техніко-експлуатаційних і економічних показників функціонування сервісу. Запропоновані рішення можуть бути використані під час розроблення рекомендацій для операторів цифрових платформ, локальних перевізників та органів управління транспортною системою міста.

1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Сутність сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності

Сучасна міська мобільність формується як багатокomпонентна система, у межах якої взаємодіють різні види транспорту, інфраструктурні елементи, цифрові сервіси та поведінкові моделі населення. У цій системі сервіси таксі та ride-hailing посідають важливе місце як інструмент забезпечення індивідуалізованих, гнучких і оперативних переміщень пасажирів у межах міста. Їхня роль особливо зростає в умовах нерівномірності транспортного попиту, високої цінності часу для користувача, потреби у швидкому доступі до транспортної послуги та недостатньої зручності окремих маршрутів громадського транспорту для виконання поїздок «від дверей до дверей».

Традиційне таксі в загальному розумінні являє собою вид автомобільних перевезень пасажирів, за якого індивідуальна поїздка виконується на замовлення клієнта із забезпеченням подачі транспортного засобу в задану точку та транспортування до пункту призначення за погодженими або регламентованими умовами. Така модель історично базувалася на телефонній диспетчеризації, вуличному наймі автомобіля або роботі через локальні служби замовлень. Її функціонування переважно залежало від обмеженої інформації про фактичне розташування автомобілів, досвіду диспетчера, поточного завантаження мережі та локального попиту.

На відміну від традиційного таксі, сервіс ride-hailing є цифровою організованою формою надання послуг індивідуальних поїздок, у якій взаємодія між пасажиром і водієм забезпечується через мобільну платформу. Ключовою особливістю такої системи є те, що процес приймання замовлення, пошуку виконавця, визначення маршруту подачі, прогнозування часу прибуття, розрахунку вартості та контролю виконання поїздки реалізується за допомогою цифрових алгоритмів, геолокаційних технологій і оброблення даних у реальному часі. У такій моделі саме платформа виконує роль координуючого середовища,

що поєднує попит і пропозицію транспортної послуги в межах міського простору.

Сутність сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності полягає в тому, що вони забезпечують швидке та гнучке задоволення потреб населення у переміщеннях там, де регулярний транспорт або не забезпечує достатньої швидкості, або не дає потрібного рівня індивідуалізації поїздки. На практиці це означає, що такі сервіси виступають не ізольованим видом транспорту, а інтегрованою частиною загальної мобільності міста. Вони доповнюють громадський транспорт, забезпечують доступ до транспортних вузлів, формують зручні зв'язки між районами, які не мають прямого маршрутного сполучення, а також компенсують часові, просторові та сервісні обмеження інших елементів транспортної системи.

Особливо важливою є функція сервісів таксі та ride-hailing як засобу подолання так званої «останньої милі». У багатьох випадках пасажир використовує таксі не як повну альтернативу громадському транспорту, а як допоміжний інструмент для швидкого доїзду до вокзалу, зупинки, місця роботи, навчального закладу, лікувального чи торговельного об'єкта. Саме тому ефективність роботи таких сервісів істотно впливає не лише на комфорт індивідуальної поїздки, а й на загальну зв'язність міського транспортного середовища. Чим меншим є час подачі автомобіля, чим точнішим є розподіл замовлень та чим нижчим є непродуктивний пробіг, тим вищою стає транспортна доступність окремих районів міста.

У функціональному відношенні сервіс таксі або ride-hailing можна розглядати як систему, в якій поєднуються чотири ключові складові: пасажирський попит, транспортні засоби, цифрова платформа управління та міська вулично-дорожня мережа. Пасажирський попит формує потребу у поїздки в певній точці міста, у певний час і з певними вимогами до швидкості, вартості та рівня комфорту. Транспортні засоби виступають ресурсом, що має бути раціонально розподілений у просторі. Цифрова платформа забезпечує оброблення замовлення, вибір автомобіля, передачу інформації водієві та

пасажиру, а також накопичення аналітичних даних. Вулично-дорожня мережа визначає фактичні часові витрати на подачу автомобіля та виконання поїздки, а отже безпосередньо впливає на якість сервісу та рівень завантаження автопарку.

Суттєвою ознакою ride-hailing є алгоритмічний характер управління. Якщо в традиційному таксі значна частина рішень приймається диспетчером або самим водієм, то в цифровій платформі призначення замовлень, ранжування доступних автомобілів, визначення прогнозного часу подачі та балансування попиту й пропозиції виконуються автоматизовано. Це створює передумови для значно вищої оперативності, однак водночас підвищує вимоги до якості аналітичної основи управління. За відсутності точного уявлення про просторову структуру попиту, часові піки, поведінку водіїв та закономірності завершення поїздок навіть сучасна платформа може демонструвати нераціональний розподіл автомобілів, значний порожній пробіг і зниження рівня обслуговування.

У міській мобільності сервіси таксі та ride-hailing виконують кілька важливих функцій. Передусім вони забезпечують високий рівень часової гнучкості, оскільки працюють на вимогу та не прив'язані до жорсткого розкладу руху. Крім того, вони мають виражену просторову адаптивність, оскільки можуть обслуговувати поїздки між будь-якими точками міста, доступними для автомобільного сполучення. Ще однією суттєвою характеристикою є персоналізація послуги, що проявляється у виборі місця посадки та висадки, формі замовлення, способі оплати, можливості оцінки сервісу та контролю параметрів поїздки через додаток. Нарешті, ці сервіси мають високу інформаційну прозорість, адже пасажир отримує дані про місце знаходження автомобіля, прогноз прибуття, маршрут і вартість послуги.

Разом із позитивними властивостями зазначені сервіси створюють і низку системних викликів для міської транспортної організації. Одним із основних є порожній пробіг, тобто переміщення автомобіля без пасажирів до місця подачі або в пошуку нового замовлення. З позиції експлуатаційної ефективності це означає витрати пального, часу, амортизаційного ресурсу та пропускної спроможності вулично-дорожньої мережі без створення безпосередньої

транспортної цінності для пасажера. Іншим проблемним аспектом є просторовий дисбаланс: у певних районах у конкретні часові інтервали формується надлишок замовлень, тоді як пропозиція автомобілів є недостатньою. У протилежних випадках спостерігається концентрація автомобілів у районах зі слабким попитом, що також погіршує ефективність роботи сервісу.

Для міста Тернополя ці аспекти мають цілком конкретний зміст. Компактність міської території не усуває проблему нерівномірності попиту, а лише змінює її форму. У центральній частині міста, біля залізничного вокзалу, автовокзалу, навчальних закладів, медичних об'єктів, великих торговельних центрів та районів інтенсивної житлової забудови виникають осередки сталого або пікового попиту на поїздки. Водночас периферійні зони, окремі житлові масиви та території зі слабкою діловою активністю можуть генерувати попит нерегулярно. У таких умовах робота сервісу має спиратися не лише на факт надходження замовлення, а й на заздалегідь сформоване розуміння просторової структури міста, добових коливань попиту та імовірних напрямків перерозподілу автомобілів.

У межах сучасної транспортної науки сервіси таксі та ride-hailing доцільно розглядати як динамічну систему оперативного міського обслуговування, ефективність якої залежить від узгодженості трьох параметрів: швидкості реакції на попит, просторової раціональності позиціонування автомобілів та якості алгоритму розподілу замовлень. Швидкість реакції визначає, наскільки швидко сервіс здатний надати автомобіль у потрібній зоні. Просторова раціональність відображає, наскільки ефективно автопарк розміщений відносно осередків реального або прогнозованого попиту. Якість алгоритму розподілу визначає, чи буде призначений водій найбільш доцільним з погляду часу подачі, завантаження, майбутньої імовірності повторного замовлення та зниження непродуктивного пробігу.

Таким чином, сутність сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності полягає не лише у виконанні індивідуальних автомобільних перевезень пасажирів, а й у забезпеченні адаптивного, цифрово керованого та

просторово чутливого транспортного обслуговування населення. У сучасному місті ці сервіси виконують роль гнучкого мобільного шару, який доповнює регулярний транспорт, покращує доступність міського простору та створює нові можливості для швидкого реагування на зміну транспортного попиту. Водночас їх ефективність прямо залежить від того, наскільки точно організовано зонування попиту, розподіл замовлень, позиціонування автомобілів та контроль ключових показників якості сервісу. Саме тому дослідження сервісів таксі та ride-hailing у контексті міської мобільності є важливим науково-прикладним завданням, особливо для міст із вираженою просторово-часовою нерівномірністю поїздок, до яких належить і Тернопіль.

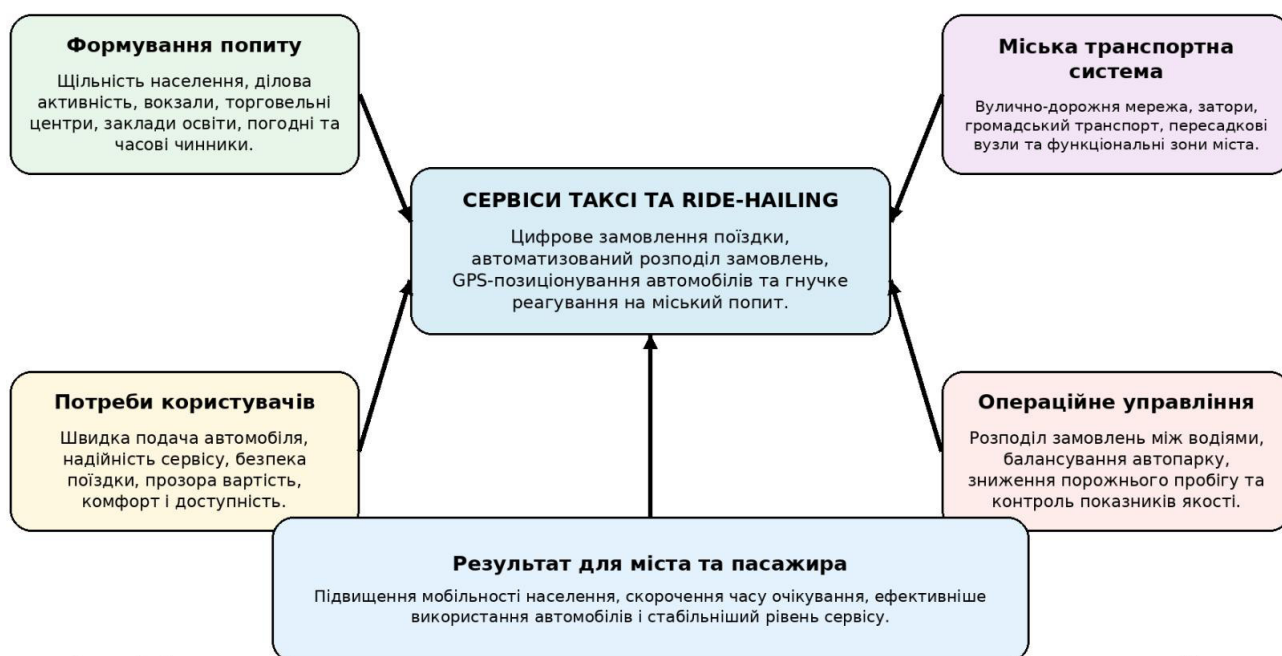


Рисунок 1.1 – Місце сервісів таксі та ride-hailing у системі міської мобільності

1.2 Особливості функціонування ринку таксі у місті Тернополі

Ринок таксі у місті Тернополі є важливим сегментом системи міських пасажирських перевезень, який забезпечує індивідуалізоване транспортне обслуговування населення та виконує функцію гнучкого доповнення до маршрутного громадського транспорту. Його значення визначається тим, що в умовах сучасного міста не всі транспортні потреби можуть бути повною мірою задоволені регулярними автобусними чи тролейбусними маршрутами. Частина

поїздок має нерегулярний характер, здійснюється у нетипові часові інтервали, пов'язана з перевезенням багажу, потребою швидкого пересування, прямого сполучення між районами без пересадок або необхідністю доїзду до об'єктів, які не мають достатньо зручного транспортного обслуговування. Саме в таких випадках таксі та сервіси ride-hailing формують окремий, стійкий сегмент попиту.

Для Тернополя характерною є відносно компактна просторова структура міста, однак це не означає рівномірності транспортного попиту. Навпаки, навіть у межах порівняно невеликої міської території спостерігається виражена концентрація поїздок у центральній частині, біля транспортних вузлів, медичних і освітніх закладів, торговельно-розважальних об'єктів, а також у районах щільної житлової забудови. Така структура формує специфічні умови функціонування ринку таксі: середня дальність поїздки є відносно помірною, але значну роль відіграють час подачі автомобіля, точність диспетчеризації, здатність швидко реагувати на локальні піки попиту та ефективність позиціонування автомобілів у межах міста.

Особливістю ринку таксі у Тернополі є поєднання класичних форм роботи таксомоторних служб із цифровими моделями ride-hailing. Традиційний сегмент ґрунтується на роботі локальних операторів, телефонному прийманні замовлень, частково централізованій диспетчеризації та менш формалізованому механізмі розподілу замовлень. Натомість сучасний сегмент ride-hailing використовує мобільні додатки, геолокацію, автоматичне визначення координат пасажира, алгоритмічний вибір водія, рейтингові механізми та цифровий контроль параметрів поїздки. Співіснування цих моделей створює змішане конкурентне середовище, у якому перевагу отримують ті оператори, що здатні забезпечити стабільну швидкість подачі, прозорість ціноутворення, прогнозовану якість поїздки та високу операційну ефективність.

У межах Тернополя попит на послуги таксі формується під впливом цілого комплексу просторових, соціально-економічних і часових чинників. Просторовий фактор проявляється через нерівномірне розміщення місць

проживання, праці, навчання, лікування, відпочинку та торгівлі. Центральна частина міста виступає одним із головних осередків тяжіння поїздок, оскільки тут концентруються адміністративні функції, комерційна активність, громадські заклади та значна частина сервісної інфраструктури. Разом із цим житлові масиви формують потужні зони генерації поїздок, особливо в ранкові та вечірні години, коли спостерігається переміщення населення до місць роботи, навчання та у зворотному напрямку. Додаткову роль відіграють вокзали, міжміські транспортні вузли, великі торговельні центри, медичні установи та локації дозвілля, які формують хвилеподібний або піковий попит.

Часова структура ринку таксі у Тернополі також має виражену специфіку. Упродовж доби попит розподіляється нерівномірно і тяжіє до кількох характерних інтервалів. У ранковий період зростає кількість поїздок, пов'язаних із поїздками на роботу, навчання або до транспортних вузлів. У денний час інтенсивність може стабілізуватися, однак залишається залежною від ділової активності, роботи сфери обслуговування, медичних та адміністративних поїздок. Увечері попит знову підвищується через повернення населення до місць проживання, а також через активізацію поїздок до торговельних і рекреаційних об'єктів. Окремим сегментом є пізньовечірні та нічні поїздки, коли значення таксі зростає через зменшення інтенсивності або завершення роботи частини маршрутів громадського транспорту. У вихідні дні структура попиту змінюється: зростає частка поїздок із соціально-побутовою, дозвільною та нерегулярною метою, а часові піки можуть зміщуватися.

Суттєвою особливістю функціонування ринку таксі у місті є залежність від стану вулично-дорожньої мережі та транспортної ситуації. Хоча Тернопіль не належить до мегаполісів із надвисокими навантаженнями на дорожню мережу, окремі ділянки міста в пікові години можуть працювати в умовах зниження швидкості руху, ускладненого маневрування та зростання часових витрат на подачу автомобіля. Для сервісу таксі це означає, що реальна доступність автомобіля визначається не лише географічною відстанню до пасажирів, а й фактичним часом під'їзду, який залежить від конфігурації вуличної мережі,

характеру перехресть, інтенсивності потоку, наявності вузьких місць та локальних затримок. Таким чином, у системі управління сервісом критично важливим стає не просто облік автомобілів у межах міста, а їх правильне розміщення відносно зон потенційного попиту з урахуванням транспортної доступності.

Ще однією характерною рисою ринку таксі у Тернополі є чутливість до сезонних і погодних умов. У періоди несприятливої погоди, опадів, зниження температури або погіршення умов пішохідного пересування попит на індивідуальні поїздки зростає. Подібний ефект спостерігається під час святкових днів, масових подій, періодів підвищеної ділової активності, початку або завершення навчального дня в окремих навчальних закладах, а також при прибутті чи відправленні міжміського транспорту. У таких ситуаціях навіть локальний і короткочасний сплеск замовлень може призводити до дефіциту вільних автомобілів у конкретній зоні. Це підкреслює важливість прогнозування попиту та оперативного перерозподілу транспортних засобів.

Функціонування ринку таксі у Тернополі тісно пов'язане з явищем порожнього пробігу. Для міських сервісів це одна з найбільш суттєвих експлуатаційних проблем, оскільки вона знижує загальну продуктивність автомобіля та збільшує питомі витрати на виконання замовлень. Умовно порожній пробіг можна розділити на два основних різновиди. Перший пов'язаний із подачею автомобіля до пасажера після отримання замовлення. Другий виникає після завершення поїздки, коли водій залишається без нового пасажера і змушений або чекати на місці, або переміщуватися в іншу частину міста в пошуках наступного замовлення. Для Тернополя ця проблема посилюється нерівномірністю попиту між центральними та периферійними районами. Якщо автомобіль завершує поїздки в зоні з низькою ймовірністю швидкого повторного замовлення, виникає потреба у його поверненні в активнішу частину міста, що збільшує непродуктивний пробіг.

Водночас ринок таксі в Тернополі характеризується відносно короткими поїздками в межах міста, що формує особливу структуру витрат і доходів. За

короткої середньої дальності поїздки частка часу, витраченого на подачу автомобіля, може бути співмірною або навіть перевищувати тривалість самої поїздки. Це означає, що для операторів сервісу і водіїв ключовим стає не лише обсяг виконаних замовлень, а й просторово-часова щільність їхнього надходження. Чим менша відстань між послідовними замовленнями та чим вища імовірність швидкого повторного виклику після завершення попередньої поїздки, тим ефективніше використовується автомобіль. Відповідно, оптимізація ринку в таких умовах повинна орієнтуватися не просто на максимізацію кількості виконаних замовлень, а на досягнення раціонального балансу між часом подачі, завантаженим пробігом і простоями.

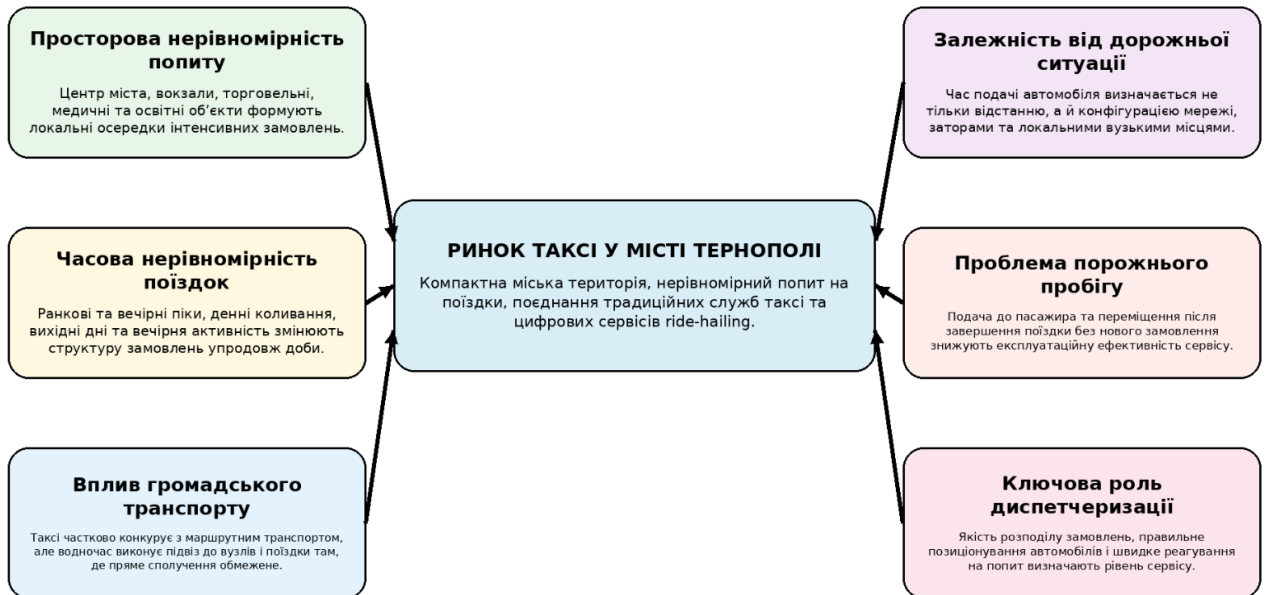
З позиції організації перевезень ринок таксі у місті Тернополі має виражену диспетчерську складову. Саме якість розподілу замовлень між водіями визначає, чи буде подача автомобіля швидкою, чи буде поїздка економічно доцільною, чи не виникатиме накопичення непродуктивного пробігу. У традиційній моделі таксі диспетчеризація може базуватися на спрощених правилах, наприклад на призначенні найближчого автомобіля або черговості водіїв. У цифрових платформах ці правила стають складнішими й можуть враховувати не лише близькість автомобіля до пасажирів, а й транспортну ситуацію, рейтинг водія, прогноз тривалості подачі, очікувану завантаженість зони після завершення замовлення, можливість отримання наступної поїздки та інші фактори. Для Тернополя це створює передумови для переходу від інтуїтивного або частково ручного управління до більш формалізованої системи оптимізації.

Окрему особливість ринку таксі у Тернополі становить його взаємодія з громадським транспортом. У частині випадків таксі виступає альтернативою автобусу або тролейбусу, особливо коли пасажир обирає швидкість, комфорт або прямий маршрут. Водночас у багатьох ситуаціях таксі виконує комплементарну функцію, забезпечуючи підвезення до транспортного вузла, пересадкового пункту або місця, яке складно досягти без додаткової пересадки. Це означає, що розвиток сервісу таксі не слід розглядати як ізольований процес: він має

аналізуватися в контексті всієї транспортної системи міста. Чим менш зручно окремі райони охоплені регулярним транспортом, тим вищою може бути частка попиту на індивідуальні поїздки, особливо в несприятливі часові інтервали.

Ринок таксі у Тернополі також залежить від поведінкових характеристик користувачів. Для частини пасажирів вирішальним чинником є вартість поїздки, для інших - швидкість подачі, безпека, зручність замовлення або прогнозованість сервісу. Саме тому сучасний ринок переходить від простої транспортної послуги до моделі сервісного продукту, у якому важливими стають цифровий інтерфейс, точність визначення місцезнаходження, інформування пасажирів, зручність оплати, система рейтингів і можливість оцінки якості обслуговування. Для операторів це означає, що конкурентоспроможність залежить не лише від кількості автомобілів, а й від цілісності сервісної моделі.

У цілому особливості функціонування ринку таксі у місті Тернополі визначаються компактністю міської території, нерівномірним просторово-часовим розподілом попиту, змішаною моделлю організації перевезень, високою роллю диспетчеризації, залежністю від транспортної ситуації та суттєвим впливом порожнього пробігу на експлуатаційну ефективність. Це дає підстави розглядати ринок таксі не просто як сукупність окремих автомобілів і замовлень, а як динамічну міську систему, що потребує аналітичного зонування, прогнозування попиту, раціонального розподілу ресурсів і постійного контролю за показниками якості обслуговування. Саме ці обставини формують методичну основу подальших розділів роботи, у яких буде здійснено дослідження просторово-часового розподілу попиту на поїздки, визначено підходи до зниження порожнього пробігу та сформовано систему КРІ для оцінювання ефективності функціонування сервісу.



Рисуюнок 1.2 – Основні особливості функціонування ринку таксі у місті Тернополі

1.3 Фактори, що формують попит на поїздки в місті Тернополі

1.3 Фактори, що формують попит на поїздки в місті Тернополі

Попит на послуги таксі та ride-hailing у міському середовищі формується під впливом сукупності взаємопов'язаних чинників, які визначають інтенсивність, просторову локалізацію, часову динаміку та структурні особливості замовлень. Для цілей транспортного аналізу та подальшої оптимізації роботи сервісу такий попит доцільно розглядати не як випадкову сукупність окремих звернень користувачів, а як закономірний результат дії просторових, часових, транспортних, соціально-економічних, поведінкових, погодних, подієвих і технологічних факторів. Саме комплексний облік цих факторів дає можливість пояснити, чому в одних районах міста та в одні часові інтервали спостерігається підвищена інтенсивність замовлень, тоді як в інших - попит є слабким або несталим.

Для міста Тернополя дослідження факторів формування попиту має особливе значення, оскільки навіть за відносно компактною міською територією попит на індивідуальні поїздки характеризується вираженою нерівномірністю. Вона зумовлена концентрацією адміністративних, освітніх, медичних,

торговельних і транспортних функцій у певних частинах міста, наявністю житлових масивів із різною щільністю забудови, добовими ритмами переміщення населення, зміною ролі громадського транспорту протягом дня, а також відмінностями у сприйнятті користувачами вартості, зручності та надійності поїздки. За таких умов попит на таксі та ride-hailing не може ефективно обслуговуватися без попереднього аналізу причин його формування та без кількісного оцінювання ступеня його нерівномірності.

Одним із визначальних чинників є просторова організація міста. Тернопіль має чітко виражені зони генерації та тяжіння поїздок. Центральна частина міста концентрує адміністративні установи, об'єкти торгівлі, заклади обслуговування, громадського харчування та ділової активності, унаслідок чого вона виступає потужним осередком притягання поїздок упродовж значної частини доби. Водночас житлові райони переважно виконують функцію зон генерації попиту, особливо у ранковій годині, коли населення переміщується до місць роботи, навчання та обслуговування, і у вечірній період, коли відбувається зворотний рух. Особливе значення мають райони транспортних вузлів, зокрема залізничного вокзалу та автовокзалу, де формуються хвилеподібні потоки замовлень, пов'язані з прибуттям і відправленням пасажирів. Подібну роль відіграють також великі торговельні, медичні та освітні об'єкти, які створюють локальні осередки підвищеного попиту.

Просторову складову попиту доцільно оцінювати через інтенсивність замовлень у межах окремої зони міста. Такий показник можна визначити за формулою:

$$\lambda_i = \frac{N_i}{\Delta t}, \quad (1.1)$$

де λ_i – інтенсивність попиту в зоні (i), замовл./год;

N_i – кількість замовлень у зоні (i) за період спостереження;

Δt – тривалість періоду спостереження, год.

Застосування цього показника дає можливість порівнювати окремі частини міста між собою та виявляти зони підвищеної генерації або тяжіння поїздок. Для Тернополя це особливо важливо, оскільки навіть за невеликих абсолютних відстаней відмінності у функціональному призначенні районів зумовлюють істотну нерівномірність розподілу замовлень.

Для більш наочного порівняння активності різних зон доцільно використовувати коефіцієнт просторової нерівномірності:

$$k_{\text{пр нер},i} = \frac{N_i}{\bar{N}_i}, \quad (1.2)$$

де $k_{\text{пр нер},i}$ – коефіцієнт просторової нерівномірності для зони (i);

N_i – кількість замовлень у зоні (i);

\bar{N}_i – середня кількість замовлень на одну зону міста.

Якщо значення цього коефіцієнта перевищує одиницю, зона характеризується попитом, вищим за середньоміський рівень. Якщо воно менше одиниці, зона є відносно менш активною. Такий підхід дозволяє кількісно обґрунтовувати необхідність пріоритетного розміщення автомобілів у конкретних частинах міста.

Не менш важливими є часові фактори. Попит на послуги таксі та ride-hailing упродовж доби змінюється нерівномірно. У ранкові години зростає кількість поїздок трудового, навчального та ділового характеру. У денний період попит частково стабілізується, однак підтримується за рахунок адміністративних, медичних, побутових і сервісних переміщень. Увечері знову відбувається підвищення інтенсивності замовлень, пов'язане з поверненням населення до місць проживання, відвідуванням торговельно-розважальних об'єктів та зростанням дозвільної активності. У пізньовечірні та нічні години, коли інтенсивність роботи частини маршрутів громадського транспорту знижується, роль індивідуальних перевезень додатково зростає. Відмінності

простежуються також між будніми та вихідними днями, а також між звичайними і святковими періодами.

Для кількісного опису часових коливань попиту використовується інтенсивність замовлень у певному часовому інтервалі:

$$\lambda_t = \frac{N_t}{\Delta t}, \quad (1.3)$$

де λ_t – інтенсивність попиту в інтервалі часу (t), замовл./год;

N_t – кількість замовлень у даному часовому інтервалі;

Δt – тривалість інтервалу спостереження, год.

Цей показник дозволяє сформувати добовий профіль попиту та виявити часові піки. Однак для аналітичного порівняння окремих часових інтервалів доцільно застосовувати коефіцієнт часової нерівномірності:

$$k_{ч\ нер} = \frac{N_t}{\bar{N}}, \quad (1.4)$$

де $k_{ч\ нер}$ – коефіцієнт часової нерівномірності попиту;

N_t – кількість замовлень у конкретному часовому інтервалі;

\bar{N} – середня кількість замовлень за всіма інтервалами спостереження.

За значення $k_{ч\ нер} > 1$ відповідний часовий інтервал характеризується попитом, вищим за середній рівень. Це дає можливість виділяти найбільш напружені періоди роботи сервісу та враховувати їх під час формування режимів чергування, прогнозування завантаження та оперативного розподілу автомобілів.

Для оцінювання загального ступеня коливання попиту в часі доцільно використовувати коефіцієнт варіації:

$$V_t = \frac{\sigma_t}{\bar{N}} \cdot 100\%, \quad (1.5)$$

де V_t – коефіцієнт варіації попиту в часі, %;

σ_t – середньоквадратичне відхилення кількості замовлень за часовими інтервалами;

\bar{N} – середнє значення кількості замовлень.

Чим більшим є значення цього показника, тим більш нерівномірно розподілений попит у часі. Для системи ride-hailing це означає зростання вимог до гнучкості сервісу, швидкості перерозподілу транспортних засобів і здатності оперативно реагувати на короткочасні зміни навантаження.

Ще одним аналітичним показником є коефіцієнт піковості попиту:

$$k_{\text{пik}} = \frac{N_{\text{max}}}{\bar{N}}, \quad (1.6)$$

де $k_{\text{пik}}$ – коефіцієнт піковості попиту;

N_{max} – максимальна кількість замовлень у найбільш напруженому інтервалі;

\bar{N} – середнє значення кількості замовлень.

Цей коефіцієнт характеризує, наскільки різко навантаження на сервіс у пікові години перевищує звичайний рівень. У практичному аспекті він є важливим для визначення необхідного резерву пропозиції автомобілів та для оцінки адаптивності сервісу до короткочасних сплесків попиту.

Суттєвий вплив на формування попиту мають транспортні фактори. Користувач обирає таксі або ride-hailing тоді, коли інші способи пересування не забезпечують належного рівня прямої маршруту, швидкості, комфортності або доступності в потрібний момент часу. У Тернополі така ситуація може виникати у випадках, коли громадський транспорт не забезпечує прямого зв'язку між пунктами поїздки, потребує пересадок, супроводжується значним очікуванням або є менш зручним за несприятливих погодних умов. Окрім того, на попит

впливає конфігурація вулично-дорожньої мережі, транспортне навантаження на окремі ділянки, наявність вузьких місць та локальних затримок. У цьому разі значення має не тільки географічна відстань між автомобілем і пасажиром, а й фактичний час під'їзду.

Транспортна складова особливо важлива під час оцінки співвідношення між попитом і пропозицією в окремій зоні міста. Для цього доцільно використовувати показник локального балансу попиту і пропозиції:

$$B_i = \frac{N_i}{A_i}, \quad (1.7)$$

де B_i – навантаження на один доступний автомобіль у зоні i ;

N_i – кількість замовлень у зоні i ;

A_i – кількість доступних автомобілів у зоні i .

Збільшення цього показника свідчить про дефіцит пропозиції у відповідній зоні, тоді як його низьке значення може вказувати на надлишкову концентрацію автомобілів. Для задачі оптимізації роботи сервісу такий показник є принципово важливим, оскільки він дозволяє перейти від простого обліку замовлень до аналізу фактичного просторового дисбалансу.

Соціально-економічні фактори відображають взаємозв'язок попиту на поїздки з розселенням населення, місцями прикладання праці, функціональною структурою міста та рівнем ділової активності. Райони зі щільною житловою забудовою генерують значний обсяг поїздок, особливо в години трудових і навчальних переміщень. Ділові та адміністративні осередки є зонами тяжіння. Освітні заклади формують стабільний сегмент попиту в періоди початку та завершення занять. Медичні установи створюють попит, який є менш ритмічним, однак достатньо стійким. Великі торговельні об'єкти, центри обслуговування та рекреаційні локації спричиняють додаткові хвилі поїздок у денний і вечірній час. Таким чином, попит на таксі у Тернополі визначається не лише чисельністю

населення, а й розподілом міських функцій і характером повсякденної активності мешканців.

Важливу роль відіграють поведінкові фактори. Рішення про замовлення таксі приймається не тільки на основі об'єктивної транспортної необхідності, а й з урахуванням індивідуального сприйняття часу, вартості, комфорту, безпеки та зручності користування сервісом. Для одних пасажирів вирішальним є скорочення часу в дорозі, для інших - відсутність пересадок, можливість прямої поїздки, захищеність від несприятливих погодних умов або зручність переміщення з багажем, дітьми чи у вечірній час. Важливим чинником стає також цифрова зручність сервісу: простота виклику автомобіля через мобільний додаток, автоматичне визначення місцезнаходження, прозоре ціноутворення, безготівкова оплата та можливість відстеження подачі автомобіля в реальному часі. Усе це формує додаткову споживчу цінність послуги та підвищує ймовірність вибору таксі порівняно з альтернативними варіантами пересування.

До окремої групи належать погодні та сезонні фактори. У разі опадів, зниження температури, погіршення умов пішохідного доступу або загального зниження комфортності пересування попит на індивідуальні поїздки, як правило, зростає. У сезонному аспекті на інтенсивність замовлень впливають періоди підвищеної ділової активності, навчальний цикл, святкові дні та зміна характеру рекреаційної поведінки населення. Для міста Тернополя, як і для інших міст із вираженою залежністю пересувань від погодних умов, ці фактори можуть спричиняти помітні короткострокові відхилення попиту від середнього рівня.

Подієві фактори формують окремий сегмент коливань попиту. Масові заходи, святкові події, підвищена активність у центральній частині міста, прибуття і відправлення міжміського транспорту, локальні скупчення людей біля окремих об'єктів здатні викликати різкі, але короткочасні сплески замовлень. Для таких ситуацій особливо важливою є не лише фіксація фактичного збільшення попиту, а й виявлення конкретних комбінацій «зона–час», у яких навантаження на сервіс стає критичним.

Для комплексного врахування просторової та часової складової доцільно використовувати інтегральний індекс нерівномірності попиту:

$$I_{\text{нер}} = \frac{N_{i,t}}{\bar{N}}, \quad (1.8)$$

де $I_{\text{нер}}$ – інтегральний індекс нерівномірності попиту для зони i у час t ;

$N_{i,t}$ – кількість замовлень у зоні i за часовий інтервал t ;

\bar{N} – середнє значення кількості замовлень.

Цей показник дозволяє визначити найбільш навантажені просторово-часові комбінації та обґрунтувати пріоритетні зони для підсилення сервісу, проактивного переміщення автомобілів і коригування алгоритму розподілу замовлень.

Окрім абсолютної кількості замовлень, важливо оцінювати структурну вагу кожної зони у загальному попиті. Для цього можна використати частку замовлень зони:

$$d_i = \frac{N_i}{\sum_{i=1}^m N_i}, \quad (1.9)$$

де d_i – частка замовлень у зоні i ;

N_i – кількість замовлень у зоні i ;

m – кількість зон міста.

Чим більшою є ця частка, тим вагомніше місце займає відповідна зона у загальній структурі попиту. Це дає змогу обґрунтувати доцільність пріоритетного резервування ресурсів саме в тих частинах міста, які забезпечують найбільший внесок у загальний обсяг замовлень.

Окреме місце серед факторів формування попиту займають технологічні чинники. Поширення мобільних додатків, геолокаційних сервісів, електронних способів оплати, автоматизованого призначення водія та цифрового контролю

параметрів поїздки суттєво спростило доступ населення до транспортної послуги. Частина користувачів, які раніше не зверталися до таксі через складність виклику або непрозорість умов обслуговування, за наявності цифрової платформи починає активніше користуватися ride-hailing. Отже, технологічні фактори не лише покращують процес обслуговування наявного попиту, а й безпосередньо стимулюють його формування.

Таким чином, попит на послуги таксі та ride-hailing у місті Тернополі має багатофакторну природу та формується під впливом просторових, часових, транспортних, соціально-економічних, поведінкових, погодних, подієвих і технологічних чинників. Для цілей оптимізації функціонування сервісу особливо важливо враховувати не тільки сам факт наявності попиту, а й ступінь його просторово-часової нерівномірності, співвідношення між замовленнями та доступними автомобілями, а також структурну вагу окремих зон у загальній системі міських переміщень. Саме такий підхід створює методичну основу для подальшого зонування міста, аналізу дисбалансу попиту і пропозиції та розроблення заходів щодо скорочення порожнього пробігу й підвищення якості сервісу.

Для узагальнення викладеного матеріалу основні фактори формування попиту та способи їх аналітичного врахування зведено в таблицю 1.1.

Таблиця 1.1 – Фактори формування попиту на послуги таксі та ride-hailing у місті Тернополі та показники їх аналітичного врахування

Група факторів	Зміст факторів	Характер впливу на попит	Аналітичний показник або спосіб врахування
1	2	3	4
Просторові	Центральна частина міста, житлові райони, вокзали, торговельні, освітні,	Формують зони генерації та тяжіння поїздок, визначають	Інтенсивність попиту в зоні λ_i , коефіцієнт просторової

Група факторів	Зміст факторів	Характер впливу на попит	Аналітичний показник або спосіб врахування
1	2	3	4
	медичні та адміністративні об'єкти	географію замовлень	нерівномірності частка замовлень зони d_i k_{np} $нер, i_s$
Часові	Години пік, денні коливання, будні та вихідні, сезонність, святкові періоди	Формують добову, тижневу та сезонну нерівномірність замовлень	Інтенсивність попиту в часі λ_t , коефіцієнт часової нерівномірності k_u $нер,$ коефіцієнт варіації V_t , коефіцієнт піковості $k_{пик}$
Транспортні	Якість обслуговування громадським транспортом, наявність пересадок, стан вулично-дорожньої мережі, затори, транспортна доступність зон	Визначають відносну привабливість таксі порівняно з іншими способами пересування	Показник балансу попиту і пропозиції B_i , час подачі автомобіля, середня транспортна доступність зони
Соціально-економічні	Щільність населення, концентрація робочих місць, рівень ділової	Визначають інтенсивність трудових, навчальних,	Порівняння попиту між зонами, структурна частка зони в загальному попиті d_i

Група факторів	Зміст факторів	Характер впливу на попит	Аналітичний показник або спосіб врахування
1	2	3	4
	активності, наявність навчальних, медичних і торговельних об'єктів	побутових і сервісних поїздки	
Поведінкові	Сприйняття вартості, часу, комфорту, безпеки, зручності замовлення, потреба в поїздках із багажем чи дітьми	Визначають індивідуальну ймовірність вибору таксі замість альтернативного виду транспорту	Частка повторних замовлень, середній час очікування, оцінка сервісу, рейтинг
Погодні та сезонні	Опади, низька температура, погіршення умов пішохідного пересування, сезонні зміни активності	Спричиняють короткострокове зростання або зниження попиту	Порівняння інтенсивності попиту за різних погодних умов, динаміка λ_t
Події	Масові заходи, святкові події, прибуття й відправлення міжміського транспорту, локальні сплески активності	Викликають хвилеподібні та короткочасні піки замовлень у конкретних локаціях	Коефіцієнт піковості $k_{пик}$, інтегральний індекс нерівномірності $I_{нер}$

Група факторів	Зміст факторів	Характер впливу на попит	Аналітичний показник або спосіб врахування
1	2	3	4
Технологічні	Мобільні додатки, GPS, безготівкова оплата, прозоре ціноутворення, цифровий контроль поїздки	Підвищують доступність сервісу та стимулюють використання ride-hailing	Частка цифрових замовлень, середній час підтвердження замовлення, частота використання застосунку

1.4 Аналіз просторово-часової нерівномірності попиту та передумови зонування міста

Однією з визначальних особливостей функціонування сервісів таксі та ride-hailing у міському середовищі є нерівномірний характер попиту. Для міста Тернополя ця риса має принципове значення, оскільки навіть за відносно компактною міською територією замовлення розподіляються нерівномірно як між різними частинами міста, так і між різними часовими інтервалами. Саме ця обставина суттєво впливає на ефективність роботи сервісу, оскільки від неї залежить швидкість подачі автомобіля, ступінь завантаження автопарку, рівень порожнього пробігу та стабільність показників якості обслуговування. Тому аналіз просторово-часової нерівномірності попиту є необхідною передумовою для подальшого обґрунтування зонування міста та побудови більш раціональної системи диспетчеризації.

Просторова нерівномірність попиту означає, що різні райони Тернополя мають різну інтенсивність формування замовлень. Це пов'язано з функціональною структурою міста, розміщенням житлових масивів, ділових і адміністративних осередків, медичних і освітніх закладів, транспортних вузлів, торговельних центрів та рекреаційних локацій. Центральна частина міста

завзвичай виступає зоною тяжіння поїздки, оскільки тут концентруються основні об'єкти громадської та комерційної активності. Житлові райони, навпаки, у певні часові інтервали виконують роль генераторів поїздки, оскільки саме звідти населення прямує до місць роботи, навчання, лікування або обслуговування. Вокзали, великі медичні заклади, заклади освіти та торговельні об'єкти створюють окремі локальні вузли попиту, які можуть мати власний стійкий або хвилеподібний режим активності.

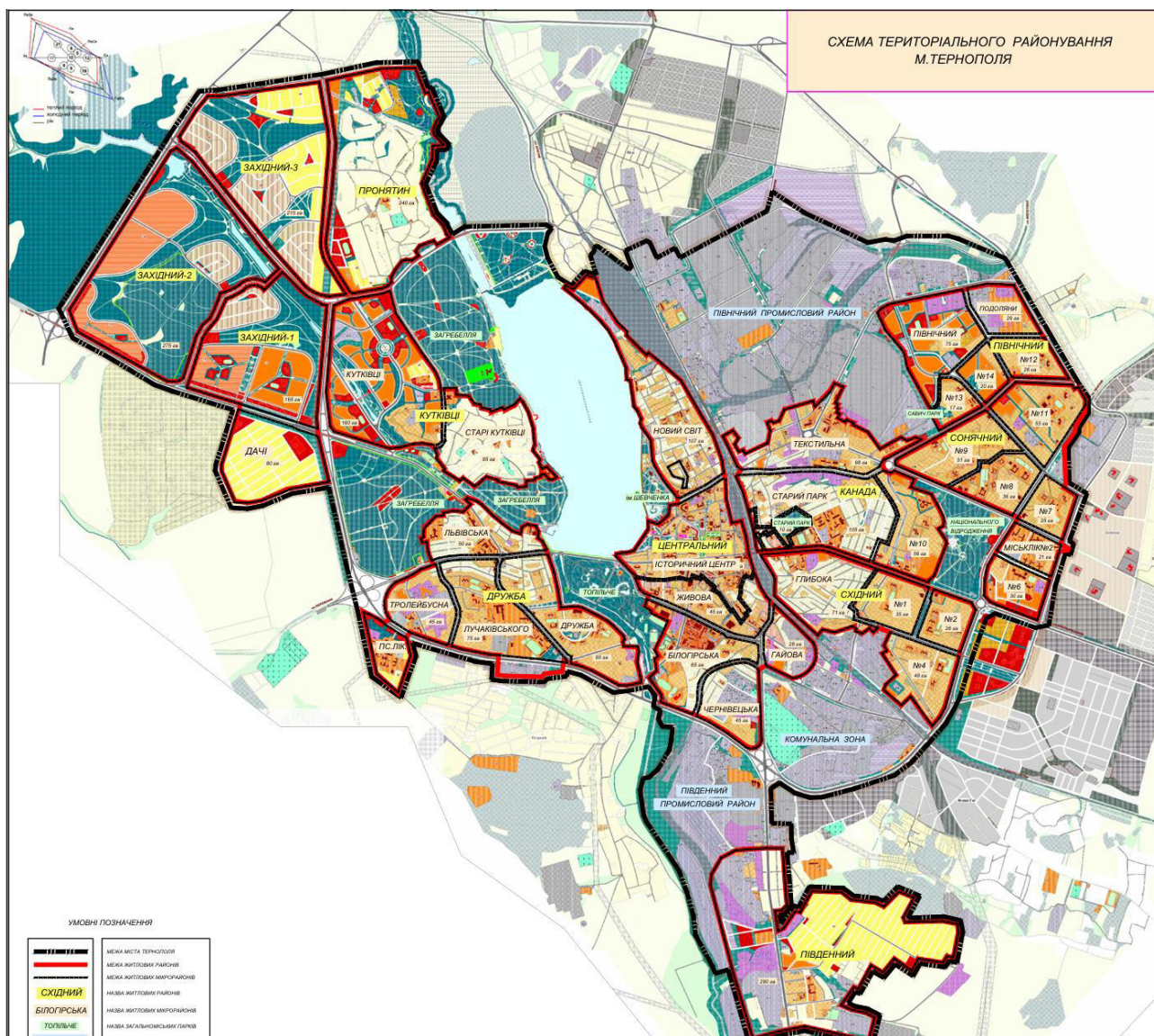


Рисунок 1.3 – Зонування міста Тернополя по мікрорайонах

Для сервісу таксі така просторова нерівномірність має безпосереднє практичне значення. Якщо автомобілі розміщуються в місті без урахування фактичної географії попиту, в одних районах формується дефіцит вільних

машин, а в інших - їх відносний надлишок. У першому випадку збільшується час подачі автомобіля, зростає ймовірність відмови клієнта або втрати замовлення, у другому - виникають простой та непродуктивні переміщення. Для Тернополя ця проблема є особливо актуальною, оскільки компактність міста може створювати хибне уявлення про нібито рівномірну доступність сервісу, хоча фактично попит локалізується нерівномірно й потребує цілеспрямованого управління.

Часова нерівномірність попиту проявляється у зміні інтенсивності замовлень упродовж доби, тижня та окремих сезонних періодів. У ранковий час попит зростає за рахунок трудових і навчальних поїздок, переміщень до центрів ділової активності, адміністративних установ і транспортних вузлів. У денний період активність певною мірою стабілізується, однак зберігається через побутові, сервісні, медичні та ділові переміщення. У вечірні години знову формується виражений пік, пов'язаний із поверненням населення до житлових районів, поїздками до торговельно-розважальних об'єктів та зростанням активності у сфері дозвілля. У пізньовечірній час роль таксі та ride-hailing посилюється внаслідок зменшення доступності частини маршрутів громадського транспорту. У вихідні дні попит змінює свою структуру: частка регулярних трудових поїздок зменшується, натомість зростає частка соціально-побутових, рекреаційних і нерегулярних поїздок.

Для міста Тернополя така часова нерівномірність означає, що одна й та сама зона може мати різний рівень транспортної активності залежно від періоду доби. Житловий район уранці переважно генерує поїздки, вдень може демонструвати помірну активність, а ввечері знову ставати зоною тяжіння у зв'язку з поверненням мешканців. Аналогічно центральна частина міста, освітні осередки чи медичні об'єкти можуть мати різні профілі навантаження залежно від характеру функціонування. Саме тому для якісної організації роботи сервісу недостатньо знати лише загальну карту попиту; необхідно розуміти, як ця карта змінюється упродовж часу.

Особливо важливим є те, що просторова і часова нерівномірність у реальних умовах не існують окремо одна від одної, а формують спільну

просторово-часову структуру попиту. Це означає, що для сервісу таксі критично важливим є не просто район міста і не просто час доби, а конкретне їх поєднання. Одна зона може бути малозначущою в денний період, але надзвичайно активною вранці або ввечері. Інша зона може демонструвати стабільно високий попит майже впродовж усього дня. Окремі транспортні вузли або торговельні локації можуть формувати короточасні, але різко виражені хвилі замовлень. Таким чином, робота сервісу має орієнтуватися не на усереднені по місту значення, а на динамічну картину просторово-часового розподілу замовлень.

Наслідком такої нерівномірності стає дисбаланс між попитом і пропозицією автомобілів. У певних зонах у певний час може виникати дефіцит вільних машин, тоді як в інших районах ті самі автомобілі простоюють або змушені очікувати замовлення. Саме тут формується одна з основних причин порожнього пробігу: транспортний засіб після завершення поїздки часто опиняється в зоні зі слабким попитом і має переміщуватися в інший район, де ймовірність нового замовлення є вищою. Якщо подібне переміщення виконується безсистемно, воно збільшує непродуктивні витрати часу та ресурсу автомобіля. Якщо ж воно організоване на основі аналізу нерівномірності попиту, сервіс отримує змогу істотно скоротити холості пробіги та підвищити ефективність використання автопарку.

У зв'язку з цим зонування міста виступає не допоміжним, а базовим інструментом організації роботи сервісу. Його сутність полягає у поділі міської території на окремі аналітичні зони, кожна з яких характеризується певним рівнем попиту, функціональною роллю, часовим профілем замовлень і транспортною специфікою. Такий підхід дозволяє перейти від хаотичного сприйняття множини окремих точок замовлення до більш впорядкованої моделі, у межах якої можна аналізувати поведінку попиту не в розрізнених координатах, а в межах логічно сформованих територіальних одиниць.

Зонування міста має кілька важливих практичних переваг. Передусім воно спрощує аналітичне опрацювання інформації, оскільки дозволяє узагальнювати дані про попит за районами, а не за тисячами окремих точок. Крім того,

зонування дає можливість виявляти території стабільної генерації поїздок, зони тяжіння, райони дефіциту автомобілів і просторові напрями основних переміщень. На цій основі можна формувати правила чергування, резервування та проактивного переміщення автомобілів. Також зонування створює основу для побудови матриці кореспонденцій між зонами, що дозволяє виявити не лише інтенсивність попиту в межах кожної території, а й найбільш характерні напрямки поїздок у місті.

Для умов Тернополя зонування повинно враховувати функціональну структуру міста. Межі зон доцільно формувати не механічно, а з урахуванням реального міського середовища: житлових масивів, центральної частини, транспортних вузлів, навчальних, медичних, торговельних і рекреаційних осередків. Важливо, щоб виділені зони були достатньо однорідними за характером попиту, але водночас не надто дрібними, щоб система управління не втрачала простоти й оперативності. Іншими словами, зонування має бути таким, щоб відображати реальну транспортну логіку міста і водночас залишатися придатним для диспетчерського використання.

З аналітичної точки зору доцільно виділяти щонайменше три типи зон. Перший тип - це зони генерації поїздок, де переважає формування замовлень на виїзд, зокрема житлові масиви у ранкові години. Другий тип - зони тяжіння, де переважає прибуття пасажирів, наприклад центральна частина міста, торговельні та адміністративні осередки. Третій тип - зони змішаного характеру, у яких поєднуються функції генерації та тяжіння залежно від часу доби або дня тижня. Саме наявність таких змішаних зон особливо важлива для Тернополя, оскільки значна частина міських територій має багатофункціональне використання і не може бути однозначно віднесена лише до одного типу.

Зонування також створює основу для подальшого оцінювання КРІ сервісу. Показники часу подачі, частки успішних призначень, тривалості очікування, частоти скасування, порожнього пробігу та стабільності обслуговування значно інформативніші тоді, коли аналізуються не лише в середньому по місту, а в розрізі окремих зон. Це дозволяє бачити, у яких частинах міста сервіс працює

стабільно, а де існують проблеми з доступністю автомобіля або нерівномірністю пропозиції. Відповідно, саме зонування перетворюється на основу не тільки для аналізу попиту, а й для побудови повноцінної системи управління якістю сервісу.

Отже, просторово-часова нерівномірність попиту є базовою характеристикою функціонування сервісів таксі та ride-hailing у місті Тернополі. Вона проявляється у відмінностях між районами міста, коливаннях активності протягом доби і тижня, локальних дисбалансах між попитом та кількістю доступних автомобілів, а також у динамічній зміні напрямків поїздок. Саме ця нерівномірність формує об'єктивну потребу в зонуванні міста як аналітичному та організаційному інструменті. Поділ міської території на зони дозволяє впорядкувати потік замовлень, виявити ключові осередки генерації та тяжіння, створити основу для більш точної диспетчеризації та підготувати підґрунтя для подальшої оптимізації роботи сервісу, зменшення порожнього пробігу й підвищення стабільності обслуговування.

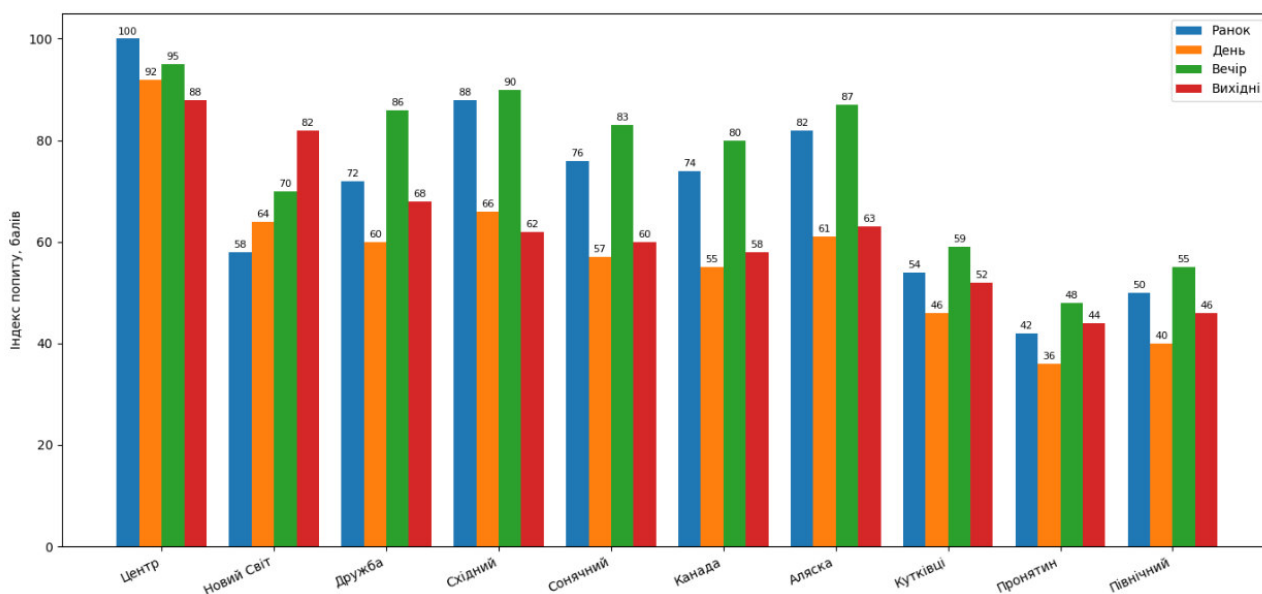


Рисунок 1.4 – Відносний індекс попиту за мікрорайонами

Діаграма (рис. 1.4) побудована на основі натурних спостережень в період з 25 по 26 березня 2026 року. Найвищий попит формують Центр, Східний, Аляска, Дружба. Максимальні вечірні значення мають Центр - 95, Східний - 90, Аляска - 87, Дружба - 86. Найвищий попит у вихідні характерний для Центру - 88 та Нового Світу - 82, що пов'язано з рекреаційною і змішаною функцією

територій біля ставу та центральної частини міста. Найнижчі значення мають Пронятин - 36–48, Північний - 40–55, Кутківці - 46–59, тобто периферійні території з нижчою щільністю генерації поїздок.

За результатами аналізу мікрорайонів м. Тернополя встановлено, що найбільш інтенсивний попит концентрується у центральній, східній та прилеглих до центру житлових зонах. Центр характеризується стабільно високими значеннями індексу попиту протягом усіх періодів доби: 100 балів уранці, 92 вдень, 95 увечері та 88 у вихідні. Високі значення також притаманні мікрорайонам Східний, Аляска, Дружба, Сонячний і Канада, де попит особливо зростає у вечірній період. Периферійні мікрорайони Кутківці, Пронятин і Північний формують істотно нижчий рівень попиту, що свідчить про меншу інтенсивність транспортних кореспонденцій та більшу розосередженість забудови. Отриманий розподіл підтверджує доцільність зонування міста за рівнем транспортного попиту та різними нормативами обслуговування для центральних, проміжних і периферійних зон.

1.5 Висновки та постановка завдань на дипломне проектування

Проведений у першому розділі аналіз теоретичних засад функціонування сервісів таксі та ride-hailing, а також особливостей формування попиту на поїздки в умовах міського середовища, дав підстави стверджувати, що існуючі підходи до організації таких перевезень не повною мірою забезпечують необхідний рівень ефективності використання рухомого складу та якості транспортного обслуговування населення. Для міста Тернополя характерними є просторова та часова нерівномірність попиту, відмінності в інтенсивності поїздок між окремими функціональними зонами, вплив годин пік, щільності забудови, розміщення центрів тяжіння пасажиропотоків і стану вулично-дорожньої мережі. У сукупності це зумовлює потребу у вдосконаленні організації транспортного процесу з урахуванням реальних умов функціонування сервісу.

За результатами проведеного аналізу встановлено, що подальше дипломне проектування доцільно спрямувати на розроблення науково обґрунтованих

організаційних рішень, які дадуть змогу підвищити ефективність роботи сервісу таксі та ride-hailing у межах міста. У зв'язку з цим у другому та наступних розділах роботи необхідно обґрунтувати концептуальну модель функціонування сервісу, яка враховуватиме територіальну диференціацію попиту, особливості міської забудови, транспортну доступність окремих районів та вимоги користувачів до оперативності й надійності поїздок. Важливим завданням є виконання зонування міської території за рівнем попиту на транспортне обслуговування та визначення принципів організації роботи транспортних засобів у межах виділених зон.

Необхідно також розробити підходи до раціонального розподілу замовлень між водіями, що мають забезпечити скорочення часу подачі автомобіля, зниження частки порожнього пробігу та підвищення продуктивності роботи сервісу. Особливої уваги потребує формування комплексу заходів, спрямованих на узгодження параметрів функціонування сервісу з реальними умовами міської транспортної системи, зокрема з добовою нерівномірністю попиту, локалізацією поїздок та характером маршрутних переміщень.

У межах дипломного проектування необхідно також сформулювати систему показників оцінювання ефективності та якості функціонування сервісу, яка дасть змогу кількісно оцінити результати запропонованих рішень. Така система повинна відображати як експлуатаційні результати роботи сервісу, так і рівень транспортного обслуговування користувачів. На основі розрахунково-аналітичного оцінювання необхідно визначити доцільність впровадження запропонованих заходів, оцінити їх вплив на ключові параметри роботи сервісу та сформулювати практичні рекомендації щодо застосування отриманих результатів у діяльності операторів таксі та ride-hailing. Отже, постановка задач на дипломне проектування полягає у необхідності розроблення комплексу організаційних, аналітичних і прикладних рішень, спрямованих на підвищення ефективності функціонування сервісу таксі та ride-hailing у місті Тернополі, покращення якості транспортного обслуговування населення та більш раціональне використання наявного рухомого складу.

2. ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1 Розроблення моделі роботи таксі/ride-hailing для міста

Ефективність функціонування міського сервісу таксі та ride-hailing визначається не лише кількістю автомобілів на лінії, а насамперед якістю організації їх роботи в просторі та часі. У реальних умовах міста попит на індивідуальні поїздки формується нерівномірно: у центральних ділових частинах міста, біля вокзалів, торговельних центрів, навчальних закладів, медичних установ і щільно заселених житлових районів інтенсивність звернень є вищою, ніж на периферії. Крім того, попит істотно змінюється залежно від години доби, дня тижня, погодних умов, транспортної ситуації та локальних подій. За таких умов традиційний підхід, коли найближчий вільний автомобіль просто призначається на найближче замовлення, не завжди забезпечує найкращий результат. Він може призводити до перевантаження одних частин міста, дефіциту автомобілів в інших зонах, зростання часу очікування пасажира та збільшення непродуктивного, тобто порожнього, пробігу.

У зв'язку з цим для дипломної роботи доцільно розробити модель роботи таксі/ride-hailing, яка розглядає сервіс як керовану динамічну систему, де рішення приймаються з урахуванням зонування території міста, прогнозованого попиту, правил розподілу замовлень і механізмів зменшення холостих переміщень автомобілів. Така модель повинна бути орієнтована не лише на швидке реагування на вже сформовану заявку, а й на випереджальне розміщення транспортних засобів у тих частинах міста, де найближчим часом очікується активізація попиту.

Основою моделі є поділ міської території на операційні зони. На відміну від суто адміністративного поділу, у даному випадку зона повинна формуватися за транспортно-функціональним принципом. Це означає, що в межах однієї зони мають поєднуватися схожі характеристики забудови, дорожньої мережі, генерації поїздок та інтенсивності попиту на послуги таксі. Такий підхід

дозволяє створити більш реалістичне середовище прийняття рішень, ніж у випадку розгляду міста як однорідного простору. Кожна зона в моделі характеризується середнім рівнем попиту, типовими часовими піками, середньою швидкістю руху, середньою довжиною подачі автомобіля до пасажера, а також імовірністю формування наступного замовлення після завершення поточної поїздки.

Запропонована модель повинна включати три взаємопов'язані функціональні блоки. Перший блок - це блок оцінювання та прогнозування попиту. Він забезпечує визначення зон, де у конкретний період часу очікується найбільша кількість звернень. Другий блок - це блок розподілу замовлень між доступними водіями. Його завдання полягає у виборі такого автомобіля для кожної заявки, який забезпечує прийнятний час подачі та одночасно не погіршує загальну просторову збалансованість системи. Третій блок - це блок керування вільним парком, що відповідає за переміщення вільних автомобілів між зонами з метою зменшення майбутнього порожнього пробігу та підвищення готовності до прийому нових замовлень.

У моделі доцільно розглядати кожний автомобіль як елемент системи, який у кожний момент часу перебуває в одному з кількох операційних станів. Такими станами є очікування замовлення, подача до пасажера, виконання поїздки з пасажиром, цілеспрямоване балансувальне переміщення у перспективну зону та тимчасова недоступність, наприклад через перерву або вихід із системи. Перехід між цими станами відбувається залежно від команд платформи та поточної транспортної ситуації. Саме через зміну станів можна простежити, наскільки раціонально використовується парк транспортних засобів і яка частка часу витрачається продуктивно, а яка - на непродуктивне переміщення.

Ключовим положенням моделі є те, що рішення про призначення автомобіля на замовлення має прийматися не за одним критерієм, а на основі сукупної оцінки. У практиці ride-hailing найбільш очевидним є критерій близькості водія до клієнта. Проте сам по собі він недостатній. Якщо автомобіль знаходиться відносно близько, але після завершення поїздки потрапляє в район

із низькою активністю, система може втратити більше часу й пробігу на подальше повернення цього автомобіля до активної частини міста. Тому в моделі розподілу замовлень доцільно враховувати кілька ознак одночасно: відстань і час подачі, дорожню ситуацію на під'їзді, поточний дефіцит або надлишок автомобілів у зоні відправлення, транспортну привабливість зони призначення, а також імовірність швидкого отримання наступного замовлення після висадки пасажера.

На основі цих міркувань модель розподілу повинна працювати за принципом багатокритеріального ранжування кандидатів. Для кожного нового замовлення формується перелік доступних автомобілів у допустимому радіусі або часовому діапазоні подачі. Далі для кожного такого автомобіля система виконує оцінювання за сукупністю критеріїв. Вищий пріоритет отримує той водій, який не просто швидше доїде до пасажера, а найкраще вписується в загальну логіку роботи сервісу. З транспортно-технологічної точки зору це означає перехід від локального реагування до координованого управління потоком заявок і рухомого складу.

Особливе значення в моделі має мінімізація порожнього пробігу. Для сервісів таксі та ride-hailing порожній пробіг виникає в трьох основних випадках: коли автомобіль їде на подачу до пасажера, коли після завершення поїздки він шукає нове замовлення, а також коли система навмисно переміщує його у перспективнішу зону. Перший вид порожнього пробігу є частково неминучим, оскільки будь-яке обслуговування починається з подачі. Натомість другий і третій види значною мірою залежать від якості організації роботи сервісу. Саме тому модель повинна бути побудована так, щоб завершення однієї поїздки максимально часто приводило автомобіль у таку точку міста, де ймовірність наступного замовлення є високою. У цьому разі зменшується тривалість простою, скорочується холостий пробіг і підвищується продуктивність роботи водія.

Для практичної реалізації цього принципу в моделі вводиться поняття перспективності зони. Під перспективністю доцільно розуміти інтегральну

характеристику, яка поєднує очікувану інтенсивність попиту, стабільність появи замовлень, доступність виїзду на інші ділянки міста, а також ризик перевантаження транспортними засобами. Якщо зона характеризується високим попитом, але вже має значну кількість вільних автомобілів, додаткове спрямування туди машин може не дати позитивного результату. Водночас зона з трохи нижчим поточним попитом, але з дефіцитом автомобілів, може бути більш доцільною для балансування. Отже, модель повинна враховувати не тільки абсолютний попит, а й співвідношення між попитом і реальною доступністю вільного парку.

Алгоритм роботи моделі доцільно подати як послідовність взаємопов'язаних операцій. Спочатку система збирає дані про поточні замовлення, місцезнаходження вільних автомобілів, середні швидкості руху в різних частинах міста та історичну активність за відповідними часовими інтервалами. Далі відбувається актуалізація стану кожної зони: визначається рівень попиту, наявність вільних автомобілів і ступінь дисбалансу. Після цього кожне нове замовлення передається в блок багатокритеріального розподілу, де система формує набір потенційних виконавців і визначає найдоцільнішого водія. Після завершення поїздки автомобіль не залишається в системі пасивно, а повторно оцінюється з точки зору поточної потреби в різних зонах. Якщо зона висадки є перспективною, автомобіль залишається там у режимі очікування. Якщо ж попит у цій зоні низький, система може рекомендувати йому коротке переміщення до сусідньої або більш активної ділянки міста.

Важливо підкреслити, що така модель повинна бути адаптивною. У міських умовах попит не є сталим навіть у межах одного дня. Ранковий пік формують поїздки з житлових районів до ділових і навчальних центрів, у денний період активізуються короткі локальні поїздки, а у вечірній час зростає інтенсивність зворотного потоку. У вихідні дні суттєво змінюється роль торговельно-розважальних зон, закладів харчування, міжрайонних переміщень до місць дозвілля. Через це модель не може базуватися на одній статичній схемі розміщення автомобілів. Вона повинна регулярно оновлювати свої управлінські

рішення залежно від часу доби, типу дня і поточної ситуації на вулично-дорожній мережі.

З огляду на мету зниження порожнього пробігу, до моделі доцільно включити систему правил пріоритетності. Так, у разі однакових умов за часом подачі перевагу слід віддавати тому замовленню, яке завершується в зоні з вищою перспективністю. Якщо ж кілька автомобілів мають близькі характеристики, більший пріоритет варто надати тому з них, чия поточна позиція менш цінна для покриття попиту в зоні, де він перебуває зараз. Інакше кажучи, не доцільно «вимивати» останні вільні автомобілі з території, у якій і без того спостерігається дефіцит пропозиції. Такий підхід дозволяє уникати локального дисбалансу та стабілізує рівень сервісу в масштабі всього міста.

З транспортно-технологічної точки зору особливий інтерес становить показник частки продуктивного пробігу в загальному пробігу автомобіля. Чим вища ця частка, тим ефективніше використовується рухомий склад. Саме тому оцінювання результативності запропонованої моделі має здійснюватися не за одним критерієм, а за системою показників. До таких показників доцільно віднести середній час подачі автомобіля, середній час очікування пасажирів, частку виконаних замовлень без відмови, частку порожнього пробігу в загальному пробігу, середню кількість поїздок на один автомобіль за зміну, середню тривалість простою між замовленнями, а також рівномірність забезпечення зон міста вільними транспортними засобами. Якщо модель справді працює ефективно, вона повинна демонструвати одночасне покращення принаймні кількох із цих показників, а не лише локальне скорочення часу подачі в окремих випадках.

Слід також врахувати, що система ride-hailing функціонує в умовах часткової невизначеності. Частина водіїв може не приймати замовлення, відключатися від системи, змінювати район роботи або завершувати зміну. Частина пасажирів може скасовувати замовлення після призначення автомобіля. Крім того, на час подачі істотно впливають затори, дорожні роботи, світлофорне регулювання та погодні умови. Тому модель повинна бути стійкою до збурень і

передбачати резервні правила перерозподілу замовлень. Зокрема, у випадку скасування або відмови система повинна швидко формувати новий перелік кандидатів без повного перерахунку всієї ситуації в місті. Це підвищує оперативність роботи платформи та запобігає зайвим втратам часу.

Для умов конкретного міста, зокрема Тернополя, така модель має особливу практичну цінність. Місто характеризується наявністю виражених зон тяжіння поїздок, відносно компактною територією, але водночас нерівномірним розподілом житлової забудови, торговельних об'єктів, адміністративних центрів і транспортних вузлів. У цих умовах навіть незначне покращення алгоритму розподілу замовлень може дати відчутний ефект у вигляді скорочення часу подачі, зменшення порожнього пробігу та підвищення оборотності автомобілів. Крім того, для середніх міст характерним є те, що надлишковий парк транспортних засобів економічно не вигідний, тому основний резерв підвищення ефективності полягає не у збільшенні кількості автомобілів, а саме в удосконаленні моделі керування ними.

Отже, розроблена модель роботи таксі/ride-hailing повинна базуватися на поєднанні зонування попиту, багатокритеріального розподілу замовлень і динамічного керування вільним парком. Її головна відмінність від спрощених схем полягає в орієнтації не лише на негайне обслуговування поточної заявки, а й на забезпечення раціональної просторової структури парку в наступні моменти часу. Саме це створює передумови для зниження порожнього пробігу, стабілізації часу подачі, підвищення продуктивності автомобілів і зростання загальної якості транспортного обслуговування пасажирів. У підсумку така модель може бути використана як методична основа для подальшого розрахунку параметрів системи, побудови алгоритму диспетчеризації або комп'ютерного імітаційного моделювання роботи сервісу в умовах конкретного міста.

2.2 Модель розподілу замовлень між водіями та мінімізації порожніх пробігів

Ключовим елементом запропонованої моделі роботи сервісу таксі/ride-hailing є процедура розподілу замовлень між водіями, яка повинна забезпечувати одночасно високу швидкість обслуговування пасажирів, раціональне використання наявного парку транспортних засобів і зниження непродуктивних переміщень автомобілів містом. На відміну від спрощеного підходу, за якого замовлення передається найближчому вільному водієві, у даній моделі розподіл здійснюється за багатокритеріальним принципом, де враховуються не лише поточна відстань до пасажирів, а й прогностичні наслідки такого призначення для подальшої роботи системи.

У межах моделі кожне нове замовлення розглядається як заявка, що характеризується точкою посадки, точкою висадки, моментом надходження, орієнтовною дальністю поїздки, тривалістю виконання та ознаками пріоритетності. Кожний водій, який перебуває в системі, у свою чергу описується набором параметрів, серед яких основними є поточне місцезнаходження, стан зайнятості, час до готовності прийняти нове замовлення, залишкова тривалість поточної поїздки, а також належність до тієї чи іншої зони міста. Таким чином, задача розподілу полягає у встановленні відповідності між множиною активних замовлень та множиною доступних водіїв таким чином, щоб функціонування системи в цілому було найбільш ефективним.

Для математичного опису введемо змінну призначення:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо водій } i \text{ призначається на замовлення } j, \\ 0, & \text{в інших випадках.} \end{cases} \quad (2.1)$$

Тоді для кожного замовлення має виконуватися умова унікальності призначення:

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} \leq 1, \quad (2.2)$$

де n – кількість водіїв, доступних для розгляду в системі. Ця умова означає, що кожне замовлення може бути або передане одному водієві, або залишатися непризначеним протягом короткого періоду до повторного циклу розподілу.

Для кожного водія також має виконуватися обмеження одночасного обслуговування:

$$\sum_{j=1}^m x_{ij} \leq 1, \quad (2.3)$$

де m – кількість активних замовлень у поточному циклі розподілу. Це означає, що в межах одного інтервалу прийняття рішень одному водієві не може бути поставлено більше одного нового замовлення.

Однак сам факт призначення ще не визначає його доцільність. Тому в моделі вводиться інтегральна оцінка вартості призначення водія i на замовлення j . На відміну від попередніх спрощених схем, де критерій зводився лише до мінімуму відстані подачі, тут оцінка повинна враховувати кілька складових: час під'їзду до пасажира, довжину порожнього пробігу до точки посадки, очікувану транспортну цінність зони висадки та вплив призначення на просторовий баланс парку. Узагальнено функцію витрат на призначення можна подати у такому вигляді:

$$C_{ij} = a_1 t_{ij}^{\text{під}} + a_2 l_{ij}^{\text{пор}} + a_3 q_z(i) - a_4 s_z(j), \quad (2.3)$$

де C_{ij} – інтегральні витрати на призначення водія i на замовлення j ;

$t_{ij}^{\text{під}}$ – очікуваний час під'їзду водія до пасажира;

$l_{ij}^{\text{пор}}$ – довжина порожнього пробігу до місця посадки;

$q_{z(i)}$ – коефіцієнт дефіцитності зони, з якої вилучається водій;

$s_{z(j)}$ – коефіцієнт привабливості зони, у якій завершиться поїздка;

a_1, a_2, a_3, a_4 – вагові коефіцієнти моделі.

Зміст цієї залежності полягає в тому, що система намагається уникати таких рішень, які, з одного боку, потребують довгого під'їзду до клієнта, а з іншого – призводять до вилучення водія з критично важливої зони або завершення поїздки у слабоактивному районі міста. Водночас, якщо поїздка закінчується у зоні зі стабільно високим попитом, загальна оцінка такого призначення зменшується, і воно стає більш бажаним.

На основі цієї функції задача розподілу замовлень формулюється як задача мінімізації сумарних витрат на всіх парах «водій–замовлення»:

$$\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m C_{ij} x_{ij}. \quad (2.4)$$

Таким чином, система вибирає не просто найближчого водія для кожного окремого пасажера, а таку сукупність призначень, яка є найкращою з позиції функціонування всього сервісу. Саме це дозволяє перейти від локальної логіки до системної оптимізації.

Важливим доповненням до задачі розподілу є обмеження на допустимий час подачі автомобіля. Якщо під'їзд перевищує встановлену межу, таке призначення вважається неприйнятним, навіть якщо воно формально мінімізує інші витрати. Це можна подати умовою

$$t_{ij}^{\text{під}} \leq t_{\max}, \quad (2.5)$$

де t_{\max} – гранично допустимий час подачі автомобіля до пасажера. Практичне значення цієї умови полягає в тому, що модель не допускає погіршення якості сервісу заради суто експлуатаційної економії.

Окреме місце в моделі посідає задача мінімізації порожніх пробігів. У роботі сервісу таксі/ride-hailing порожній пробіг включає пробіг під час подачі автомобіля до пасажира, пробіг у пошуку наступного замовлення після висадки клієнта, а також пробіг при цілеспрямованому переміщенні автомобіля до іншої зони з метою балансування парку. Сумарна величина такого пробігу за аналізований період визначається як

$$L_{\text{пор}} = \sum_{i=1}^n \left(l_i^{\text{під}} + l_i^{\text{оч}} + l_i^{\text{пер}} \right), \quad (2.6)$$

де $t_i^{\text{під}}$ – порожній пробіг i -го автомобіля до пасажира;

$t_i^{\text{оч}}$ – пробіг у режимі очікування або пошуку нового замовлення;

$t_i^{\text{пер}}$ – пробіг під час цільового переміщення між зонами.

Для оцінювання ефективності системи доцільно використовувати коефіцієнт порожнього пробігу:

$$\beta = \frac{L_{\text{пор}}}{L_{\text{заг}}}, \quad (2.7)$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальний пробіг парку за відповідний період. Чим меншим є значення β , тим раціональніше організовано роботу сервісу. При цьому важливо, що зменшення порожнього пробігу не повинно досягатися ціною істотного збільшення часу очікування клієнтів або зростання кількості відмов у прийнятті замовлень.

Для досягнення цієї мети у моделі вводиться механізм прогнозного позиціонування вільних автомобілів. Його суть полягає в тому, що після завершення поїздки автомобіль не залишається пасивно в точці висадки, а оцінюється з позиції доцільності його подальшого перебування в даній зоні. Якщо зона характеризується високою ймовірністю швидкого надходження нового замовлення, автомобіль залишається в ній. Якщо ж ймовірність низька, а

сусідня зона має дефіцит вільних автомобілів, система може рекомендувати коротке переміщення в напрямку цієї зони.

Для цього доцільно визначати індекс доцільності переміщення з однієї зони до іншої:

$$R_{uv} = h_u - h_v - b_{uv}, \quad (2.8)$$

де R_{uv} – ефект переміщення автомобіля із зони u до зони v ;

h_u – поточна корисність перебування автомобіля в зоні u ;

h_v – очікувана корисність перебування у зоні v ;

b_{uv} – витрати часу або пробігу на переміщення між зонами.

Якщо значення $R_{uv} < 0$, то переміщення є доцільним, оскільки очікувана вигода від роботи в новій зоні перевищує витрати на переїзд. Якщо ж $R_{uv} \geq 0$, автомобіль доцільно залишити в поточній зоні.

Таким чином, модель мінімізації порожнього пробігу не зводиться лише до зменшення довжини подачі до клієнта. Вона включає також другий, не менш важливий аспект – зниження ризику «холостого зависання» автомобіля після виконання поїздки в малоактивній зоні. Саме це часто становить головне джерело неефективності в системах таксі, особливо у містах з вираженою просторовою асиметрією попиту.

Ще одним важливим елементом є балансування парку між зонами міста. Для цього вводиться показник забезпеченості зони вільними автомобілями:

$$g_u = \frac{A_u}{D_u + \varepsilon}, \quad (2.9)$$

де g_u – показник забезпеченості зони u ;

A_u – кількість вільних автомобілів у зоні;

D_u – поточна або прогнозована кількість замовлень; ε – мала додатна величина, введена для уникнення ділення на нуль.

Якщо значення g_u є низьким, це свідчить про дефіцит пропозиції в даній зоні, а отже система повинна прагнути поповнити її вільними автомобілями. Якщо ж g_u є надмірно високим, зона містить надлишок транспортних засобів, і частина з них може бути переорієнтована до інших районів. Внаслідок цього сервіс отримує механізм динамічного вирівнювання просторової структури парку.

У комплексному вигляді загальний критерій ефективності моделі може бути поданий як поєднання трьох стратегічних цілей: мінімізації часу подачі, мінімізації порожнього пробігу та забезпечення просторової збалансованості. У загальному вигляді це може бути записано як

$$J = \mu_1 \overline{t^{під}} + \mu_2 \beta + \mu_3 \sigma_g \rightarrow \min, \quad (2.10)$$

де J – узагальнений критерій ефективності;

$\overline{t^{під}}$ – середній час подачі автомобіля до пасажера;

β – коефіцієнт порожнього пробігу;

σ_g – міра нерівномірності забезпечення зон вільними автомобілями;

μ_1, μ_2, μ_3 – коефіцієнти важливості відповідних складових.

Зміст цього критерію полягає в тому, що якісна модель роботи таксі/ride-hailing повинна не просто мінімізувати якийсь один показник, а забезпечувати збалансоване покращення одразу за кількома напрямками. Якщо знизити лише порожній пробіг, але при цьому збільшити час очікування пасажера, система не може вважатися ефективною. Аналогічно, якщо забезпечити дуже швидку подачу, але ціною хаотичних порожніх переміщень, це призведе до зростання експлуатаційних витрат і перевантаження вуличної мережі.

З позиції практичного застосування для міста Тернополя така модель є доцільною з кількох причин. По-перше, у місті спостерігається достатньо виражена нерівномірність попиту між центральною частиною, житловими масивами, районами громадської активності та периферійними зонами. По-друге, відносно компактні розміри міста роблять особливо чутливими навіть

невеликі втрати часу на нераціональне позиціонування автомобілів. По-третє, за обмеженого розміру парку основний резерв підвищення ефективності полягає не в нарощуванні кількості автомобілів, а саме в удосконаленні алгоритму їх розподілу та переміщення.

Отже, удосконалена модель роботи таксі/ride-hailing повинна базуватися на задачі оптимального призначення водіїв на замовлення, доповненій механізмом прогнозного позиціонування та динамічного балансування між зонами. Її головна перевага полягає в тому, що вона враховує не лише поточний момент подачі автомобіля, а й подальшу логіку руху транспортного засобу в системі. Це дозволяє скоротити частку порожнього пробігу, зменшити непродуктивні простої, підвищити продуктивність водіїв і стабілізувати рівень транспортного обслуговування пасажирів у межах міста.

2.3 Алгоритм роботи моделі таксі/ride-hailing з урахуванням зонування попиту, розподілу замовлень і мінімізації порожнього пробігу

Алгоритм роботи запропонованої моделі повинен забезпечувати безперервне узгодження трьох процесів: оцінювання поточного стану попиту в межах міських зон, призначення замовлень конкретним водіям та керування вільним парком після завершення поїздок. На відміну від спрощених схем диспетчеризації, у яких система лише реагує на появу нового замовлення, дана модель функціонує як циклічний механізм оперативного управління, що постійно оновлює інформацію про стан транспортної системи міста та на її основі формує наступні рішення.

На початковому етапі алгоритму система отримує та актуалізує вхідні дані. До них належать поточні координати автомобілів, їхній стан зайнятості, перелік активних замовлень, характеристики вулично-дорожньої мережі, середні швидкості руху на окремих напрямках, часові ознаки періоду доби, а також статистика попиту в кожній зоні міста. У цей самий момент кожен автомобіль класифікується як вільний, такий, що прямує до пасажирів, виконує поїздку,

перебуває в режимі очікування або здійснює балансувальне переміщення. Паралельно оновлюються характеристики кожної зони: кількість нових замовлень, кількість вільних автомобілів, очікуваний рівень попиту на найближчий інтервал часу та поточна ступінь дефіциту або надлишку транспортних засобів.

Після актуалізації вхідної інформації система переходить до оцінювання операційного стану зон. На цьому етапі визначаються зони підвищеного попиту, зони нестачі вільних автомобілів, а також зони, де спостерігається надлишок транспортних засобів. Фактично тут формується просторовий «зріз» міста, який показує, де саме сервіс відчуває найбільше навантаження, а де ресурси використовуються недостатньо ефективно. Це є необхідною умовою подальшого прийняття рішень, оскільки розподіл замовлень між водіями повинен враховувати не лише близькість автомобіля до пасажирів, а й поточний стан тієї зони, з якої автомобіль вилучається, та тієї зони, у яку він, імовірно, переміститься після виконання поїздки.

Після оцінювання зонального стану система переходить до оброблення нових замовлень. Для кожної заявки формується множина потенційних водіїв-кандидатів. До цієї множини включаються лише ті автомобілі, які вільні або будуть доступні через короткий проміжок часу та можуть забезпечити подачу в межах допустимого сервісного інтервалу. На цьому етапі алгоритм відсіює завідомо нераціональні варіанти, наприклад надто далеких водіїв, призначення яких спричинило б неприйнятно великий час подачі або надмірний порожній пробіг.

Далі для кожного кандидата виконується комплексна оцінка доцільності призначення. У межах цієї оцінки враховується час під'їзду до пасажирів, відстань порожнього переміщення до точки посадки, вплив вилучення водія з поточної зони, привабливість зони висадки, а також очікувана ймовірність отримання наступного замовлення після завершення поточної поїздки. Таким чином, система порівнює кандидатів не лише за локальними параметрами, а за

їхнім внеском у загальну ефективність роботи сервісу. Після цього замовлення передається тому водієві, для якого сукупна оцінка є найкращою.

Після призначення автомобіля система змінює його стан з «вільний» на «подача до пасажира» та одночасно коригує локальний баланс відповідної зони. Це важливо, оскільки навіть одне призначення може вплинути на доступність сервісу в конкретному районі. Якщо після такого вилучення в зоні виникає дефіцит автомобілів, алгоритм фіксує це як сигнал для подальшого перепозиціювання вільного парку.

Коли автомобіль прибуває до пасажира і починає виконувати поїздку, система переводить його у стан «зайнятий». На цьому етапі фактичний вплив на оперативний розподіл замовлень припиняється, але зберігається прогнозна оцінка його майбутнього положення після завершення рейсу. Іншими словами, ще під час виконання поїздки система вже враховує, у якій зоні опиниться автомобіль і наскільки перспективною буде ця зона для подальшої роботи.

Після висадки пасажира алгоритм переходить до одного з найважливіших етапів - прийняття рішення щодо подальшого режиму роботи автомобіля. Якщо зона завершення поїздки характеризується достатньо високою імовірністю швидкого надходження нового замовлення, автомобіль залишається в цій зоні в режимі локального очікування. Якщо ж зона є малоперспективною, а поруч існують території з вищим очікуваним попитом або з дефіцитом вільних автомобілів, система формує рекомендацію щодо короткого перепозиціювання. Саме цей етап є основним механізмом мінімізації порожніх пробігів після завершення поїздки, оскільки автомобіль не залишається випадково в малоефективній точці міста, а цілеспрямовано спрямовується туди, де його присутність є більш корисною для системи.

Паралельно з обробленням індивідуальних поїздок алгоритм виконує періодичне балансування парку між зонами. Якщо в одній частині міста накопичується надлишок вільних автомобілів, а в іншій - спостерігається дефіцит, система відбирає частину транспортних засобів для переміщення в напрямку зони з підвищеним попитом. При цьому перепозиціювання не повинно

бути надмірним: переміщення виконується лише за умови, що очікуваний виграш від покращення доступності сервісу перевищує втрати від самого порожнього переїзду. Таким чином, алгоритм підтримує компроміс між локальною стабільністю та загальноміською ефективністю.

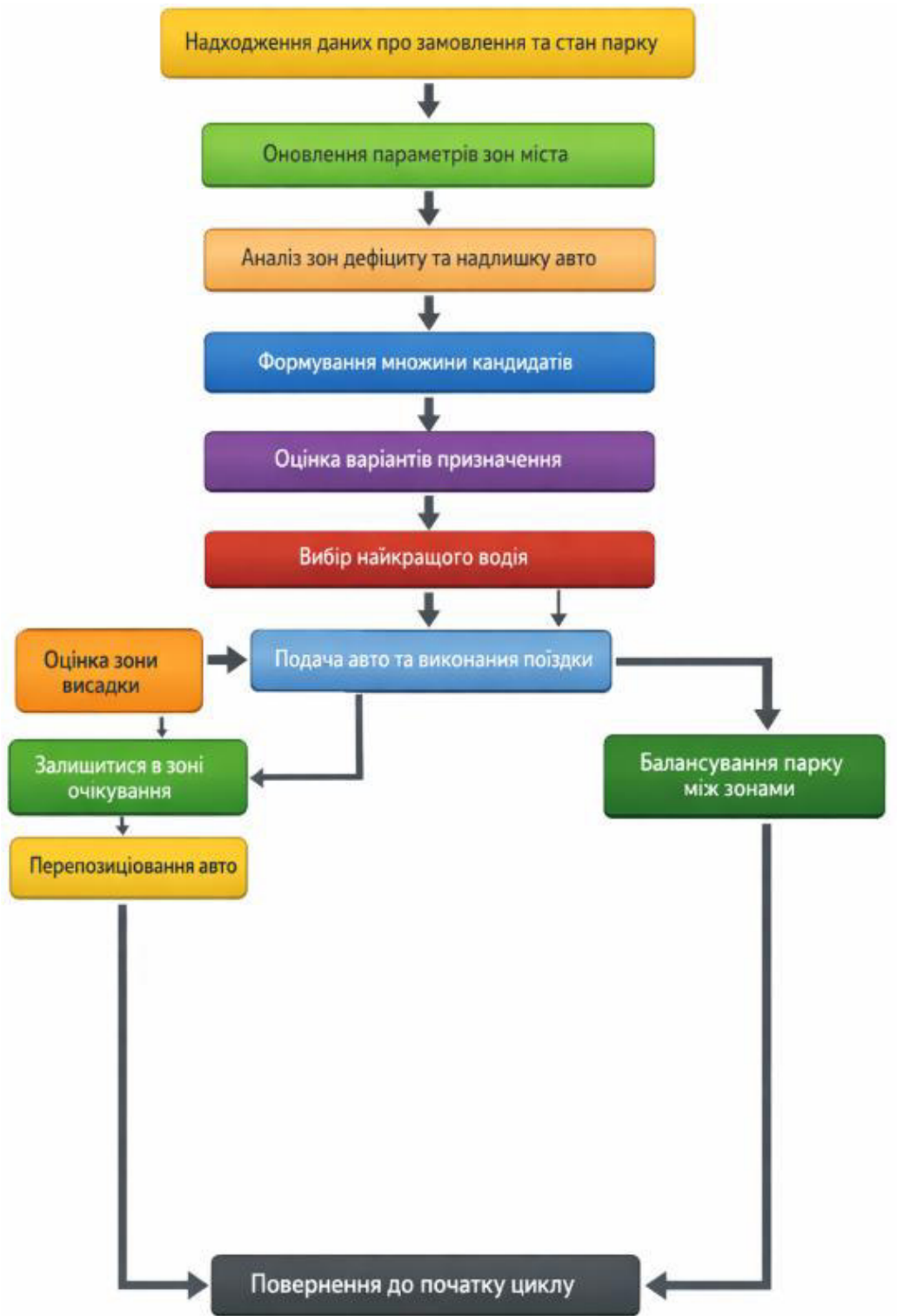


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи моделі таксі/ride-hailing

Окремо алгоритм повинен враховувати ситуації невизначеності та відхилень від штатного режиму роботи. До таких ситуацій належать скасування замовлення пасажиром, відмова водія від прийняття заявки, тривалий простій у заторі, раптова зміна дорожньої обстановки або вихід автомобіля із системи. У таких випадках модель повертає відповідні заявки або транспортні засоби на попередній етап циклу оброблення, повторно формує перелік кандидатів та виконує нове призначення з урахуванням оновленого стану системи. Це забезпечує адаптивність моделі та її придатність до роботи в реальному міському середовищі, де транспортний процес є динамічним і неповністю передбачуваним.

З позиції транспортних технологій запропонований алгоритм є циклічною адаптивною процедурою диспетчеризації, у якій кожне нове рішення базується на оновленому просторово-часовому стані системи. Його принципова перевага полягає в тому, що він поєднує оперативний розподіл заявок із прогнозним керуванням вільним парком. Саме така побудова алгоритму дозволяє одночасно скорочувати час подачі автомобіля, знижувати частку порожнього пробігу та підтримувати більш рівномірне покриття міста транспортними засобами.

Алгоритм роботи моделі таксі/ride-hailing ґрунтується на безперервному циклі оновлення даних, оцінювання стану зон, багатокритеріального призначення замовлень та динамічного репозиціонування вільних автомобілів. Такий підхід дозволяє перейти від реактивного обслуговування окремих заявок до системного керування міським сервісом, орієнтованого на зниження порожнього пробігу, підвищення продуктивності парку та стабілізацію рівня транспортного обслуговування пасажирів.

2.4 Заходи з оптимізації ключових факторів роботи таксі/ride-hailing

Ефективність функціонування сервісу таксі/ride-hailing визначається сукупністю факторів, які формують як рівень якості обслуговування пасажирів, так і експлуатаційну результативність використання автомобілів. До основних

факторів, що потребують оптимізації, належать просторове зонування попиту, точність розподілу замовлень між водіями, рівень порожнього пробігу, збалансованість розміщення вільних автомобілів по території міста, час подачі автомобіля до пасажира та адаптивність системи до змін попиту протягом доби. Для кожного з цих факторів доцільно передбачити окремі цільові заходи.

Першим фактором є якість зонування попиту. Якщо межі зон сформовані неточно або занадто укрупнено, система не може коректно розрізняти ділянки з високою і низькою активністю, а отже втрачає точність у керуванні парком. Для оптимізації цього фактора доцільно перейти від умовного територіального поділу до функціонального зонування міста. Практично це означає виділення окремих зон житлової забудови, центральної ділової частини, транспортних вузлів, торговельно-розважальних районів, навчальних і медичних кластерів. Додатковим заходом має стати перегляд меж зон на основі фактичної статистики поїздок, щоб одна зона не об'єднувала території з різко відмінною інтенсивністю попиту. Також доцільно запровадити поділ зон на постійно активні, пікові та периферійні, що дозволить системі по-різному реагувати на них у різні періоди доби.

Другим фактором є точність розподілу замовлень між водіями. Якщо замовлення передаються лише за принципом мінімальної відстані до пасажира, це нерідко викликає локальні провали в забезпеченні окремих районів вільними автомобілями. Для оптимізації цього фактора доцільно впровадити багатокритеріальний механізм призначення, у якому враховуватимуться не лише близькість водія, а й фактичний час під'їзду, завантаженість дорожньої мережі, дефіцит автомобілів у поточній зоні, а також перспективність зони завершення поїздки. Окремим заходом має бути введення пріоритету для тих призначень, які після завершення рейсу залишають автомобіль у зоні зі стабільним подальшим попитом. Також доцільно встановити граничний допустимий час подачі, після перевищення якого кандидат на замовлення автоматично вважається менш пріоритетним.

Третім фактором є рівень порожнього пробігу. Саме він безпосередньо впливає на собівартість перевезень, продуктивність автомобіля та непродуктивне навантаження на вуличну мережу. Для його оптимізації доцільно запровадити кероване перепозиціювання автомобілів після завершення поїздки. Це означає, що після висадки пасажира водій не просто очікує нового замовлення у випадковій точці, а отримує рекомендацію щодо залишення в поточній зоні або короткого переміщення до сусідньої ділянки з вищим прогнозованим попитом. Додатковим заходом є обмеження надто далеких подач до пасажира, оскільки саме вони часто формують значну частину початкового порожнього пробігу. Ще одним практичним рішенням є створення пріоритетних точок очікування в межах найбільш активних зон, що дозволяє скоротити середню відстань подачі та зменшити хаотичне переміщення вільних автомобілів.

Четвертим фактором є просторовий баланс вільного парку. Навіть за достатньої загальної кількості автомобілів сервіс може працювати неефективно, якщо транспортні засоби нерівномірно розподілені по місту. Для оптимізації цього фактора доцільно запровадити механізм мінімального резерву автомобілів у найбільш активних зонах. Це означає, що система не повинна повністю виводити всі вільні автомобілі з центральних чи високопопитних районів, навіть за наявності нових заявок із сусідніх територій. Крім того, необхідно реалізувати динамічне балансування між зонами, за якого автомобілі з районів надлишку цілеспрямовано переводяться у райони дефіциту. Такий перерозподіл має відбуватися циклічно, через короткі проміжки часу, з урахуванням поточного та очікуваного попиту.

П'ятим фактором є час подачі автомобіля до пасажира. Для користувача саме цей показник часто є головним індикатором якості сервісу. Його оптимізація потребує не тільки збільшення кількості автомобілів, а насамперед правильного їх розміщення та відбору на замовлення. Конкретними заходами в цьому випадку є формування локальних зон швидкого реагування в районах із регулярним попитом, використання історичних даних для прогнозування короткострокових хвиль замовлень та пріоритетне утримання частини вільного

парку поблизу точок стабільного тяжіння пасажирів, зокрема вокзалів, великих торгових центрів, лікарень, університетів і центральних магістралей. Окрім цього, доцільно встановлювати різні порогові значення часу подачі для центральних, проміжних і периферійних зон міста, оскільки умови руху та щільність попиту в них істотно відрізняються.

Шостим фактором є адаптивність системи до часових коливань попиту. Попит на послуги таксі/ride-hailing має яскраво виражений добовий і тижневий цикл, тому статична схема керування парком є неефективною. Для оптимізації цього фактора доцільно застосовувати часові сценарії роботи системи. У ранковий період акцент повинен робитися на житлові райони та напрямки до центру міста, у денний - на локальні короткі переміщення між діловими і комерційними зонами, у вечірній - на зворотні потоки та зони дозвілля. У вихідні дні конфігурація попиту також повинна оцінюватися окремо. Практичним заходом тут є автоматична зміна статусу зон залежно від години доби та дня тижня, а також коригування правил перепозиціювання і резервування парку відповідно до цих часових профілів.

Сьомим фактором є інформаційна керованість системи. Навіть правильно побудована логіка моделі не дасть очікуваного результату без постійного контролю її фактичної ефективності. Тому для оптимізації цього фактора доцільно запровадити моніторинг ключових операційних показників: середнього часу подачі, частки порожнього пробігу, середнього простою між замовленнями, кількості відмов у призначенні водія, забезпеченості зон вільними автомобілями та середньої кількості поїздок на автомобіль за зміну. На основі цих даних система повинна не лише фіксувати стан, а й коригувати параметри зонування, правила розподілу та пороги перепозиціювання.

Отже, оптимізація роботи таксі/ride-hailing повинна здійснюватися не одним універсальним рішенням, а через систему конкретних заходів, прив'язаних до окремих факторів впливу. Для фактора зонування це уточнення меж зон і введення їх динамічного статусу; для фактора розподілу замовлень - багатокритеріальне призначення та обмеження нераціональних подач; для

фактора порожнього пробігу - кероване перепозиціювання та концентрація автомобілів у пріоритетних точках; для просторового балансу - резервування частини парку в активних зонах і циклічне балансування; для часу подачі - формування зон швидкого реагування; для часової адаптивності - застосування добових сценаріїв роботи; для інформаційної керованості - постійний моніторинг та коригування параметрів моделі. Саме така побудова розділу дозволяє зробити його не лише теоретично обґрунтованим, а й практично орієнтованим.

Таблиця 2.1 – Аналіз заходів з оптимізації роботи таксі/ride-hailing

Фактор	Заходи оптимізації	Очікуваний результат
1	2	3
Якість зонування попиту	Перехід від умовного територіального поділу до функціонального зонування міста; виділення окремих житлових, центральних, привокзальних, комерційних, навчальних і периферійних зон; періодичний перегляд меж зон за фактичними даними поїздок	Підвищення точності врахування попиту, краща керованість парком, зменшення помилок у розміщенні вільних автомобілів
Динаміка попиту в часі	Запровадження динамічного статусу зон залежно від години доби та дня тижня; окреме налаштування режимів для ранкового, денного, вечірнього та вихідного періодів	Краще узгодження пропозиції з реальними хвилями попиту, зниження дефіциту авто в пікові години

1	2	3
Точність розподілу замовлень між водіями	Використання багатокритеріального призначення замість вибору лише найближчого автомобіля; урахування часу під'їзду, дорожньої ситуації, дефіциту авто в поточній зоні та привабливості зони висадки	Раціональніший розподіл замовлень, зменшення локальних дисбалансів, підвищення ефективності всієї системи
Надмірно далека подача автомобіля	Встановлення граничного радіуса або граничного часу подачі; почерговий пошук кандидата спочатку в поточній зоні, потім у суміжних	Скорочення часу очікування пасажира, зниження початкового порожнього пробігу
Рівень порожнього пробігу	Кероване перепозиціювання автомобілів після завершення поїздки; рекомендація залишатися в зоні або переміщуватися до перспективнішої ділянки міста	Зменшення холостих переміщень, скорочення непродуктивного пробігу, підвищення продуктивності автомобіля
Хаотичне очікування вільних автомобілів	Організація пріоритетних точок очікування біля вокзалів, торгових центрів, лікарень, університетів, транспортних вузлів і магістральних перетинів	Скорочення середньої відстані подачі, зниження безсистемного руху вільних авто

1	2	3
Просторовий дисбаланс парку	Запровадження мінімального резерву вільних автомобілів у найбільш активних зонах; циклічне балансування між зонами надлишку і дефіциту	Стабільніше покриття міста автомобілями, зменшення «провалів» у доступності сервісу
Низька адаптивність до змін міської ситуації	Регулярне оновлення параметрів зон і правил призначення з урахуванням фактичного попиту, заторів, локальних подій та погодних умов	Підвищення гнучкості системи, краща реакція на зміни транспортної обстановки
Час подачі автомобіля	Формування локальних зон швидкого реагування в районах стабільного попиту; утримання частини вільного парку поблизу точок тяжіння пасажирів	Скорочення середнього часу подачі, покращення якості обслуговування
Інформаційна керованість системи	Постійний моніторинг показників: часу подачі, частки порожнього пробігу, простою між замовленнями, забезпеченості зон, кількості поїздок на авто за зміну	Можливість оперативного коригування моделі, підвищення обґрунтованості управлінських рішень

2.5 Система KPI та шкала оцінювання ефективності сервісу таксі/ride-hailing

Оцінювання ефективності сервісу таксі/ride-hailing доцільно здійснювати на основі системи ключових показників результативності, які дають змогу кількісно охарактеризувати якість обслуговування пасажирів, рівень використання рухомого складу, ступінь раціональності просторового розміщення автомобілів та ефективність алгоритму розподілу замовлень. Для транспортно-технологічного аналізу важливо не лише визначити окремі значення показників, а й встановити межі їх інтерпретації, тобто з'ясувати, які значення відповідають високому рівню сервісу, які є прийнятними, а які свідчать про наявність організаційних проблем. Саме тому система KPI у даному підрозділі розглядається як інструмент комплексної оцінки роботи сервісу з урахуванням як часових, так і просторових характеристик транспортного процесу.

Одним із базових показників є середній час подачі автомобіля до пасажирів. Його значущість полягає в тому, що саме цей параметр безпосередньо формує сприйняття якості сервісу користувачем. Для пасажирів сервіс є привабливим тоді, коли очікування автомобіля є коротким і передбачуваним. Крім того, даний KPI відображає якість зонування попиту, точність позиціонування вільних автомобілів та ефективність процедури призначення замовлень між водіями. Середній час подачі визначається за формулою

$$t_{\text{под,сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{под},i}}{n}, \quad (2.11)$$

де $t_{\text{под,сер}}$ – середній час подачі автомобіля, хв;

$t_{\text{под},i}$ – час подачі за i -м замовленням, хв;

n – кількість виконаних замовлень за досліджуваний період.

На значення цього показника впливають щільність розміщення вільних автомобілів по території міста, структура попиту за зонами, завантаженість вулично-дорожньої мережі, середня швидкість руху та правильність роботи алгоритму диспетчеризації. Якщо середній час подачі не перевищує 4 хв, значення доцільно оцінювати як відмінне. Діапазон 4–6 хв відповідає доброму рівню. Значення 6–8 хв є задовільним і вказує на окремі недоліки в організації роботи. Діапазон 8–10 хв слід вважати низьким рівнем сервісу, а понад 10 хв — незадовільним, оскільки за таких умов сервіс втрачає одну з головних конкурентних переваг.

Другим важливим показником є частка замовлень, виконаних у межах нормативного часу подачі. На відміну від середнього часу подачі, цей КРІ характеризує не лише загальну швидкість реагування системи, а й стабільність досягнення встановленого сервісного рівня. Він визначається за формулою

$$K_{\text{своч}} = \frac{N_{\text{норм}}}{N_{\text{вик}}} \cdot 100\%, \quad (2.12)$$

де $K_{\text{своч}}$ – частка своєчасно поданих автомобілів, %;

$N_{\text{норм}}$ – кількість замовлень, за якими автомобіль прибув у межах нормативного часу;

$N_{\text{вик}}$ – загальна кількість виконаних замовлень.

На цей показник впливають обраний норматив часу подачі, збалансованість розміщення вільного парку, рівень попиту у пікові періоди, наявність резерву автомобілів у високонавантажених зонах та точність прогнозування короткочасних сплесків попиту. Якщо частка своєчасних подач становить 90–100 %, роботу системи слід вважати відмінною. Діапазон 80–90 % відповідає доброму рівню. Значення 70–80 % є задовільним, 60–70 % – низьким, а менше 60 % – незадовільним, оскільки в такому випадку значна частина пасажирів не отримує автомобіль у межах очікуваного часу.

Третім КРІ виступає коефіцієнт виконання замовлень, який відображає частку запитів пасажирів, що були фактично обслужені системою. Його значущість полягає в тому, що навіть за відносно короткого часу подачі сервіс не може вважатися ефективним, якщо значна кількість замовлень втрачається через дефіцит автомобілів, скасування або нераціональний розподіл водіїв. Коефіцієнт виконання замовлень розраховується за формулою

$$K_{\text{вик}} = \frac{N_{\text{вик}}}{N_{\text{отр}}} \cdot 100\%, \quad (2.13)$$

де $K_{\text{вик}}$ – коефіцієнт виконання замовлень, %;

$N_{\text{вик}}$ – кількість фактично виконаних замовлень;

$N_{\text{отр}}$ – загальна кількість отриманих замовлень.

На цей показник впливають розмір і доступність парку автомобілів, їх просторове розміщення, оперативність призначення замовлень, рівень попиту в окремих зонах та частота відмов або скасування. Якщо коефіцієнт виконання становить 95–100 %, це відмінний результат. Діапазон 90–95 % є добрим. Значення 80–90 % є задовільним, 70–80 % — слабким, а менше 70 % — незадовільним, оскільки свідчить про істотну втрату попиту.

Одним із найбільш значущих показників саме для транспортно-технологічної оцінки є коефіцієнт порожнього пробігу. Він характеризує частку непродуктивного пробігу автомобілів без пасажирів у загальному пробігу. Значущість цього КРІ полягає в тому, що він безпосередньо відображає ефективність зонування попиту, логіку розподілу замовлень та раціональність перепозиціонування автомобілів між зонами. Коефіцієнт порожнього пробігу визначається за формулою

$$K_{\text{пор}} = \frac{L_{\text{пор}}}{L_{\text{заг}}} \cdot 100\%, \quad (2.14)$$

де $K_{\text{пор}}$ – коефіцієнт порожнього пробігу, %;

$L_{\text{пор}}$ – сумарний порожній пробіг автомобілів, км;

$L_{заг}$ – загальний пробіг автомобілів за той самий період, км.

На величину цього показника впливають середня довжина подачі до пасажирів, частота завершення поїздок у малоперспективних зонах, якість прогнозування попиту, наявність пріоритетних точок очікування та ефективність балансування вільного парку. Якщо коефіцієнт порожнього пробігу не перевищує 25 %, такий рівень слід вважати відмінним. Діапазон 25–35 % є добрим. Значення 35–45 % є задовільним. Діапазон 45–55 % свідчить про проблемну організацію сервісу, а понад 55 % — про незадовільний стан, коли більше половини пробігу є непродуктивним.

Тісно пов'язаним із попереднім показником є коефіцієнт використання пробігу, який характеризує частку пробігу, виконаного з пасажиром. Його значущість полягає у відображенні транспортної продуктивності автомобіля. Формула для його визначення має вигляд

$$K_{\text{вик.пр}} = \frac{L_{\text{пас}}}{L_{\text{заг}}}, \quad (2.15)$$

де $K_{\text{вик.пр}}$ – коефіцієнт використання пробігу;

$L_{\text{пас}}$ – пробіг з пасажиром, км;

$L_{\text{заг}}$ – загальний пробіг автомобіля або парку, км.

На цей КРІ впливають частка коротких і довгих поїздок, просторовий розподіл попиту, рівень порожнього пробігу, правильність позиціонування автомобілів після висадки пасажирів та частота поїздок у периферійні райони з низькою імовірністю зворотного замовлення. Якщо коефіцієнт перевищує 0,75, рівень використання пробігу є відмінним. Діапазон 0,65–0,75 відповідає доброму рівню. Значення 0,55–0,65 є задовільним. Інтервал 0,45–0,55 вказує на низьку ефективність, а менше 0,45 — на незадовільну організацію транспортного процесу.

Ще одним важливим КРІ є середній простій автомобіля між замовленнями. Його значущість полягає в оцінюванні часової, а не лише просторової

продуктивності автомобілів. Навіть за невисокого порожнього пробігу система може працювати нераціонально, якщо водії значну частину часу перебувають без роботи. Цей показник визначається за формулою

$$t_{\text{прост,сер}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_{\text{прост},i}}{n}, \quad (2.16)$$

де $t_{\text{прост,сер}}$ – середній простій між замовленнями, хв;

$t_{\text{прост},i}$ – тривалість простою автомобіля між двома послідовними замовленнями;

n – кількість інтервалів між замовленнями.

На цей показник впливають інтенсивність попиту в зоні завершення поїздки, якість перепозиціювання автомобілів, добові коливання попиту, погодні умови, а також ступінь просторового балансу між попитом і пропозицією. Якщо середній простій не перевищує 3 хв, це відмінний рівень. Діапазон 3–6 хв є добрим. Значення 6–10 хв — задовільним. Діапазон 10–15 хв слід оцінювати як низький рівень ефективності, а понад 15 хв — як незадовільний, оскільки це означає значне недовикористання рухомого складу.

Для оцінювання виробітку одиниці рухомого складу доцільно використовувати показник кількості виконаних замовлень на один автомобіль за зміну. Його значущість полягає в тому, що він відображає експлуатаційну результативність парку та дозволяє порівнювати різні варіанти організації сервісу. Показник визначається за формулою

$$P_{\text{авт}} = \frac{N_{\text{вик}}}{A_{\text{сер}}}, \quad (2.17)$$

де $P_{\text{авт}}$ – кількість виконаних замовлень на один автомобіль за зміну;

$N_{\text{вик}}$ – кількість виконаних замовлень за зміну;

$A_{\text{сер}}$ – середня кількість автомобілів, що перебували на лінії.

На значення цього КРІ впливають середня тривалість поїздки, частка коротких і довгих замовлень, рівень простою між рейсами, частка порожнього пробігу, інтенсивність попиту за зміною та режим роботи водіїв. Для типового міського сервісу понад 18 замовлень на один автомобіль за зміну можна оцінювати як відмінний результат. Діапазон 14–18 є добрим, 10–14 — задовільним, 7–10 — низьким, а менше 7 — незадовільним рівнем продуктивності.

Для відображення просторової збалансованості системи доцільно використовувати коефіцієнт забезпеченості зони вільними автомобілями. Його значущість полягає в тому, що саме дисбаланс між кількістю доступних автомобілів та поточним попитом у конкретних зонах часто спричиняє збільшення часу подачі, зростання відмов і нераціональне перепозиціонування парку. Для окремої зони цей показник можна визначити так:

$$K_{\text{заб},j} = \frac{A_j}{D_j}, \quad (2.18)$$

де $K_{\text{заб},j}$ – коефіцієнт забезпеченості j -ї зони вільними автомобілями;

A_j – кількість вільних автомобілів у зоні;

D_j – кількість активних або прогнозованих замовлень у цій зоні.

На цей показник впливають правильність зонування, точність прогнозування попиту, якість динамічного балансування між зонами, наявність пріоритетних точок очікування та часові сплески замовлень. Для цього КРІ оптимальною є не максимальна, а збалансована область значень. Якщо коефіцієнт перебуває в межах 0,9–1,2, забезпеченість зони автомобілями слід вважати відмінною. Діапазон 0,7–0,9 або 1,2–1,5 відповідає доброму рівню. Значення 0,5–0,7 або 1,5–2,0 є задовільним. Якщо коефіцієнт менший за 0,5, зона має гострий дефіцит автомобілів. Якщо ж значення перевищує 2,0, це свідчить про надлишок вільного парку, який формує зайві простої та знижує продуктивність.

Для зручності інтерпретації розрахованих показників доцільно використовувати узагальнену шкалу оцінювання, наведену в таблиці.

Таблиця 2.2 – Шкала оцінювання KPI сервісу таксі/ride-hailing

Показник	Відмінне значення	Добре значення	Задовільне значення	Низьке значення	Незадовільне значення
Середній час подачі автомобіля, хв	до 4	4–6	6–8	8–10	понад 10
Частка замовлень у межах нормативного часу подачі, %	90–100	80–90	70–80	60–70	менше 60
Коефіцієнт виконання замовлень, %	95–100	90–95	80–90	70–80	менше 70
Коефіцієнт порожнього пробігу, %	до 25	25–35	35–45	45–55	понад 55
Коефіцієнт використання пробігу	понад 0,75	0,65–0,75	0,55–0,65	0,45–0,55	менше 0,45
Середній простій між замовленнями, хв	до 3	3–6	6–10	10–15	понад 15
Кількість замовлень на 1 автомобіль за зміну	понад 18	14–18	10–14	7–10	менше 7

Показник	Відмінне значення	Добре значення	Задовільне значення	Низьке значення	Незадовільне значення
Коефіцієнт забезпеченості зони вільними автомобілями	0,9–1,2	0,7–0,9 або 1,2–1,5	0,5–0,7 або 1,5–2,0	—	менше 0,5 або понад 2,0

Наведена система КРІ повинна застосовуватися комплексно, оскільки окремий показник не може повною мірою відобразити стан сервісу. Наприклад, зменшення середнього часу подачі саме по собі не означає покращення роботи, якщо одночасно зростає коефіцієнт порожнього пробігу або збільшується дефіцит автомобілів у периферійних зонах.

Графічно шкалу можна зобразити діаграмою рис. 2.2.

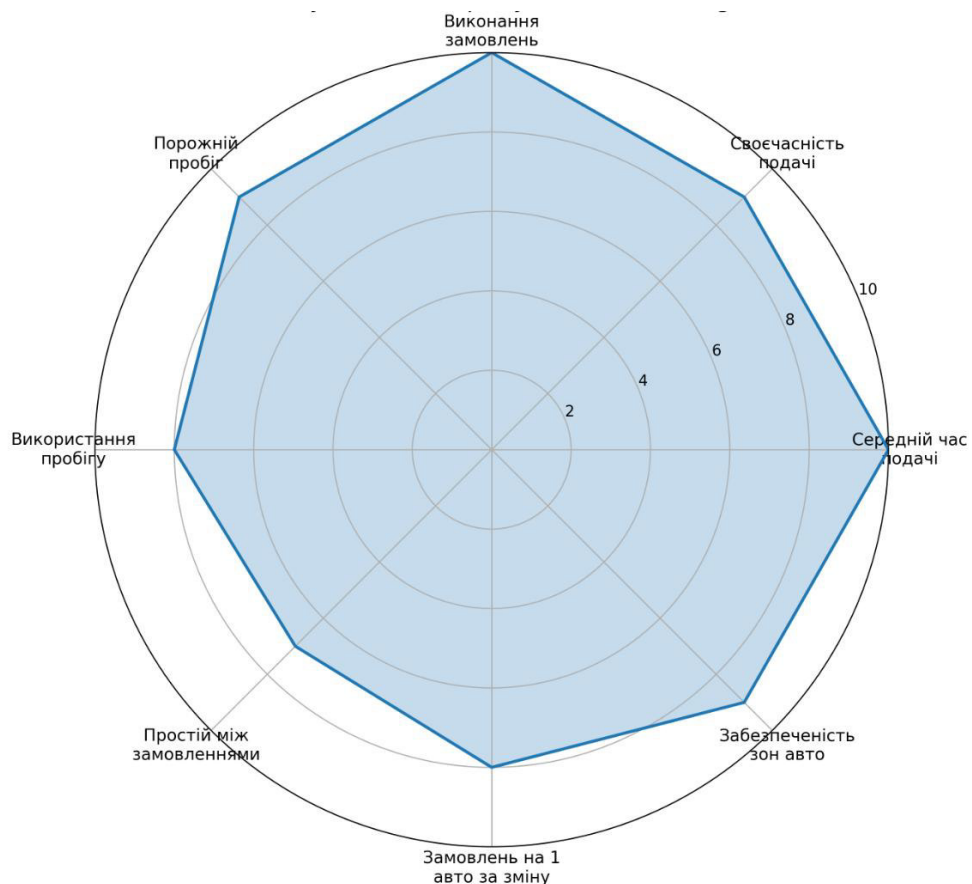


Рисунок 2.2 – Радарна діаграма значущості КРІ сервісу таксі/ride-hailing

Аналогічно, зниження порожнього пробігу не можна вважати позитивним результатом, якщо воно досягається за рахунок збільшення простоїв чи зменшення кількості виконаних замовлень. Тому оцінювання ефективності сервісу таксі/ride-hailing повинно ґрунтуватися на аналізі всієї сукупності показників, що дозволяє виявити сильні та слабкі сторони моделі роботи, оцінити збалансованість її функціонування та визначити напрями подальшого вдосконалення системи розподілу замовлень, позиціонування автомобілів і зниження порожнього пробігу.

3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1 Безпека життєдіяльності на підприємствах автомобільного сервісу

Безпека життєдіяльності на підприємствах автомобільного сервісу є важливою складовою загальної системи організації виробництва, оскільки діяльність станцій технічного обслуговування, ремонтних майстерень, діагностичних дільниць, шиномонтажних постів і мийних комплексів пов'язана з дією значної кількості небезпечних і шкідливих виробничих чинників. Основні засади державної політики у цій сфері в Україні визначає Закон України «Про охорону праці», який закріплює право працівника на належні, безпечні і здорові умови праці та покладає на роботодавця обов'язок створити і підтримувати систему управління охороною праці.

Підприємства автомобільного сервісу характеризуються поєднанням різних за характером технологічних процесів: технічного обслуговування, ремонту агрегатів, діагностування, електротехнічних робіт, зварювання, фарбування, миття, шиномонтажу, заряджання акумуляторів та перевірки паливних систем. Саме така багатофункціональність зумовлює складну структуру ризиків, серед яких найбільш типовими є травмування рухомими частинами машин і механізмів, падіння автомобіля з підйомника, ураження електричним струмом, опіки, отруєння вихлопними газами, вплив шуму, вібрації, пилу, парів паливно-мастильних матеріалів та інших хімічних речовин. Вимоги до безпеки робіт на підприємствах автомобільного транспорту встановлюють чинні Правила охорони праці на автомобільному транспорті.

У системі безпеки життєдіяльності на підприємствах автомобільного сервісу провідне місце займає аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів. До фізичних факторів належать підвищений рівень шуму від роботи двигунів, компресорів, пневмоінструменту, вентиляційного обладнання та стендів; вібрація від обертових і ударних механізмів; недостатня або нерівномірна освітленість; підвищена температура поверхонь двигуна, системи

випуску та технологічного обладнання. До хімічних факторів відносять пари бензину, дизельного палива, мастил, розчинників, мийних засобів, кислот і лугів, а також відпрацьовані гази двигунів внутрішнього згорання. До психофізіологічних факторів належать статичні та динамічні фізичні навантаження, вимушена робоча поза, нервово-емоційне напруження, пов'язане з відповідальністю за якість ремонту та безпеку транспортного засобу після обслуговування. Нормування шумового впливу на робочому місці в Україні регламентується санітарними нормами та граничними і робочими значеннями шумового впливу, затвердженими МОЗ.

Однією з головних умов забезпечення безпеки життєдіяльності є правильна організація виробничого середовища. Планування приміщень підприємства автомобільного сервісу повинно забезпечувати безпечне розміщення постів технічного обслуговування, підйомно-транспортного обладнання, діагностичних стендів, складських зон, проходів і проїздів. Робочі місця мають бути організовані таким чином, щоб мінімізувати непотрібні переміщення працівника, запобігти захаращенню проходів, забезпечити зручний доступ до інструменту і матеріалів та виключити можливість випадкового травмування. Особливої уваги потребує стан підлоги: вона повинна бути рівною, неслизькою, стійкою до дії нафтопродуктів та легко очищуватись від забруднень. Ці вимоги безпосередньо впливають із загальних обов'язків роботодавця щодо створення безпечного виробничого середовища та зі спеціальних правил для автомобільного транспорту.

Суттєве значення має забезпечення безпечної експлуатації підйомного обладнання. На підприємствах автомобільного сервісу широко використовуються двостійкові та чотиристійкові підйомники, домкрати, крани, талі, траверси та інші пристрої для підймання автомобілів і агрегатів. Порушення правил їх використання є однією з найнебезпечніших причин травматизму, оскільки може призвести до падіння автомобіля, затиснення працівника або руйнування опорних елементів. Тому перед початком роботи необхідно перевіряти технічний стан обладнання, правильність встановлення

транспортного засобу, справність фіксувальних пристроїв, а роботи під піднятим автомобілем дозволяється виконувати лише після його надійної фіксації. Такі вимоги прямо відповідають положенням Правил охорони праці на автомобільному транспорті.

Окремий блок питань безпеки життєдіяльності пов'язаний з електробезпекою. На підприємствах автомобільного сервісу працівники контактують з електроінструментом, зарядними пристроями, діагностичними приладами, освітлювальними мережами, системами запуску двигуна, акумуляторними батареями та, дедалі частіше, з високовольтними системами гібридних і електричних автомобілів. Основними умовами електробезпеки є справність ізоляції, наявність захисного заземлення, використання інструменту з неушкодженими кабелями, дотримання регламенту відключення живлення перед втручанням у систему, а також обов'язкове навчання працівників безпечним методам роботи. При заряджанні акумуляторних батарей слід враховувати виділення водню, який у суміші з повітрям може утворювати вибухонебезпечне середовище, тому приміщення повинні ефективно вентилуватися, а будь-які джерела відкритого вогню або іскроутворення мають бути виключені. Загальні вимоги до таких робіт містяться у правилах охорони праці для автомобільного транспорту.

Важливу роль відіграє забезпечення належних санітарно-гігієнічних умов праці. У виробничих приміщеннях необхідно підтримувати нормативні параметри мікроклімату, достатню природну і штучну освітленість, ефективну загальнообмінну та, за потреби, місцеву вентиляцію. Особливо це стосується постів, де двигуни працюють під час діагностики або регулювання, а також фарбувальних, мийних і акумуляторних дільниць. Наявність систем відведення вихлопних газів, локальних відсмоктувачів, вентиляційних каналів і контролю забруднення повітря безпосередньо впливає не лише на збереження працездатності персоналу, а й на запобігання гострим професійним ураженням. Оскільки шум є типовим фактором для сервісних підприємств, роботодавець має

також враховувати чинні санітарні норми виробничого шуму та встановлені МОЗ граничні й робочі значення шумового впливу.

Пожежна безпека на підприємствах автомобільного сервісу має особливе значення через постійну наявність горючих і легкозаймистих речовин. У технологічному процесі використовуються бензин, дизельне паливо, мастила, розчинники, аерозолі, фарби, ганчір'я, просочене нафтопродуктами, а також електрообладнання, здатне стати джерелом займання у разі несправності. Чинні Правила пожежної безпеки в Україні встановлюють загальні організаційні та технічні вимоги до утримання приміщень, евакуаційних шляхів, систем електропостачання, місць зберігання горючих речовин, а також до забезпечення об'єктів первинними засобами пожежогасіння. Для підприємств автомобільного сервісу це означає необхідність чіткого зонування пожежонебезпечних діляниць, правильного зберігання паливно-мастильних матеріалів, прибирання промаслених відходів, заборони куріння і використання відкритого вогню у виробничих зонах, а також регулярного інструктажу персоналу щодо дій у разі пожежі.

Невід'ємною частиною безпеки життєдіяльності є застосування засобів індивідуального захисту. Працівники підприємств автомобільного сервісу повинні бути забезпечені спецодягом, спеціальним взуттям, захисними рукавицями, окулярами або щитками, а в окремих випадках - респіраторами, навушниками чи діелектричними засобами захисту. Правильне використання засобів індивідуального захисту зменшує ризик порізів, опіків, ураження очей, вдихання шкідливих парів та пилю, а також знижує негативний вплив шуму. Однак ефективність такого захисту досягається лише за умови його відповідності характеру робіт, справного стану, навчання персоналу і постійного контролю з боку керівництва. Загальні підходи до забезпечення працівників безпечними умовами праці визначені Законом України «Про охорону праці».

Серйозне значення для безпеки життєдіяльності має підготовка та навчання персоналу. На підприємствах автомобільного сервісу до роботи повинні допускатися лише працівники, які пройшли вступний та первинний

інструктажі, навчання безпечним прийомам праці, ознайомлені з технологічними картами, правилами поводження з інструментом, обладнанням і небезпечними речовинами. Періодичне повторне навчання і перевірка знань є обов'язковими елементами профілактики виробничого травматизму. У сучасних умовах це набуває особливої актуальності у зв'язку з обслуговуванням автомобілів, оснащених складними електронними системами, високовольтними компонентами і спеціалізованими матеріалами. Законодавство України прямо покладає на роботодавця обов'язок організувати навчання, інструктажі та перевірку знань з питань охорони праці.

Окрему увагу слід приділити безпечній організації руху транспортних засобів на території підприємства. Наїзди, затискання і травмування при маневруванні автомобілів нерідко виникають не в процесі ремонту, а під час подачі автомобіля на пост, виїзду з робочої зони, переміщення на мийку або на стоянку. Тому на території сервісного підприємства повинні бути передбачені схеми руху, дорожні знаки, обмеження швидкості, розмітка, безпечні пішохідні маршрути і порядок роботи у зонах із підвищеною небезпекою. Такий підхід узгоджується з вимогами безпечної експлуатації транспорту на виробничих територіях і з загальним обов'язком забезпечити безпечну організацію праці.

В аспекті безпеки життєдіяльності важливим є також забезпечення готовності персоналу до дій у разі аварійної ситуації. На підприємстві повинні бути визначені алгоритми дій у випадку пожежі, витоку палива, ураження працівника електричним струмом, падіння автомобіля з підйомника, розгерметизації акумуляторної батареї чи виявлення ознак отруєння вихлопними газами. Працівники мають знати місця розташування вогнегасників, рубильників аварійного відключення, аптечок, засобів нейтралізації розливів та евакуаційних виходів. Пожежні правила вимагають підтримувати евакуаційні шляхи вільними, а організація охорони праці вимагає готовності до локалізації небезпечних ситуацій та надання домедичної допомоги потерпілим.

Отже, безпека життєдіяльності на підприємствах автомобільного сервісу повинна розглядатися як цілісна система технічних, організаційних, санітарно-

гігієнічних, протипожежних і навчально-профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя і здоров'я працівників, клієнтів та інших осіб, які перебувають на території підприємства. Ефективність цієї системи залежить від правильного проектування робочих місць, справності обладнання, дотримання правил охорони праці, контролю за шкідливими виробничими факторами, належного навчання персоналу та високої виробничої дисципліни. Саме комплексний підхід до організації безпеки життєдіяльності дозволяє знизити рівень виробничого ризику, попередити нещасні випадки, професійні захворювання та аварійні ситуації на підприємствах автомобільного сервісу.

3.2 Охорона праці при обслуговуванні легкових автомобілів

Охорона праці при обслуговуванні легкових автомобілів є однією з ключових складових організації роботи станцій технічного обслуговування, ремонтних дільниць і сервісних підприємств автомобільного транспорту. Її значення зумовлене тим, що під час виконання операцій технічного обслуговування та ремонту працівники постійно контактують із рухомими частинами машин і механізмів, підймальним обладнанням, електроустановками, паливно-мастильними матеріалами, акумуляторними батареями, хімічними речовинами, а також працюють у середовищі підвищеного шуму, запиленості та загазованості. Закон України «Про охорону праці» покладає на роботодавця обов'язок створити на робочому місці безпечні умови праці, забезпечити функціонування системи управління охороною праці, навчання працівників, контроль за станом обладнання та застосування засобів індивідуального і колективного захисту. Ці вимоги поширюються і на підприємства автомобільного сервісу.

Специфіка обслуговування легкових автомобілів полягає в поєднанні ручних, механізованих і діагностичних операцій, які часто виконуються в обмеженому робочому просторі та в умовах значної інтенсивності виробничого процесу. Найбільш поширеними небезпечними і шкідливими виробничими

чинниками тут виступають падіння автомобіля з підйомника або домкрата, травмування під час демонтажу вузлів і агрегатів, ураження електричним струмом при роботі з електрообладнанням, опіки від гарячих поверхонь двигуна і вихлопної системи, отруєння відпрацьованими газами, контакт шкіри та органів дихання з мастилами, паливом, гальмівними рідинами, розчинниками й мийними засобами. Додаткову небезпеку створюють роботи з шинами, акумуляторами, кондиціонерними системами та елементами паливної апаратури, оскільки вони можуть бути пов'язані з підвищеним тиском, кислотами, горючими середовищами або токсичними речовинами. Загальні вимоги безпеки для робіт на автомобільному транспорті та для організації технічного обслуговування транспортних засобів визначені профільними правилами охорони праці та правилами надання послуг з технічного обслуговування і ремонту колісних транспортних засобів.

Важливою умовою забезпечення безпеки є правильна організація виробничого середовища. Приміщення для технічного обслуговування легкових автомобілів повинні мати раціональне планування, достатню площу для безпечного переміщення працівників, транспортних засобів і обладнання, зручні проходи, справне освітлення, вентиляцію та системи видалення вихлопних газів. У зонах, де виконуються роботи з працюючими двигунами, має бути передбачене локальне відведення відпрацьованих газів, оскільки їх накопичення різко погіршує умови праці та підвищує ризик отруєнь. Підлога повинна бути рівною, неслизькою, стійкою до дії нафтопродуктів та легко очищуватись від забруднень. Робочі місця необхідно оснащувати інструментальними візками, стелажми, шафами для зберігання матеріалів і пристроями для безпечного підведення енергоносіїв. Раціональне планування робочого простору дозволяє знизити ймовірність травм, спричинених падінням, спотиканням, ударами об виступаючі елементи та безсистемним розміщенням інструменту.

Особливе місце в системі охорони праці займає безпечна експлуатація підйомного обладнання. При обслуговуванні легкових автомобілів широко використовуються двостійкові та чотиристійкові підйомники, гідравлічні

домкрати, траверси та інші засоби піднімання. Перед початком роботи працівник повинен переконатися у справності обладнання, правильності встановлення автомобіля, надійності фіксації на опорних елементах і відсутності перекосу. Під час підйому та опускання забороняється перебування сторонніх осіб у небезпечній зоні. Після підняття автомобіля робота під ним допускається лише за умови повної фіксації підйомника штатними стопорними пристроями. Використання випадкових підставок, несправних домкратів або перевищення допустимого навантаження створює реальну загрозу падіння автомобіля і тяжкого травмування персоналу.

Не менш важливою є електробезпека, оскільки під час обслуговування автомобілів виконуються діагностичні операції, заряджання акумуляторів, перевірка стартерів, генераторів, освітлювальних приладів, електронних блоків керування та іншого електрообладнання. Для безпечної роботи необхідно використовувати справні електроінструменти, кабелі з неушкодженою ізоляцією, заземлене обладнання та захисне відключення в електромережі. Роботи з електрообладнанням автомобіля доцільно проводити при вимкненому запалюванні, а за потреби - після від'єднання клем акумуляторної батареї. Під час заряджання акумуляторів слід урахувати можливість виділення вибухонебезпечної воднево-повітряної суміші, тому зарядні дільниці мають добре вентилюватися, а користування відкритим вогнем і утворення іскор у таких зонах є неприпустимими.

Окремий комплекс вимог стосується пожежної безпеки. Роботи з паливною системою, мастильними матеріалами, очисниками, фарбами, аерозолями та іншими горючими речовинами завжди пов'язані з ризиком займання. На підприємствах технічного сервісу повинні бути визначені місця зберігання легкозаймистих і горючих рідин, встановлений порядок їх видачі та застосування, організоване прибирання промасленого ганчір'я і відходів. Приміщення повинні бути забезпечені первинними засобами пожежогасіння, а працівники - проінструктовані щодо дій у разі загоряння. На території та у виробничих приміщеннях необхідно дотримуватися вимог Правил пожежної

безпеки в Україні, у тому числі щодо утримання евакуаційних шляхів, заборони захаращення проходів, справності електромереж і забезпечення транспортних засобів вогнегасниками у випадках, передбачених нормами.

Суттєве значення має застосування засобів індивідуального захисту. Працівники, які виконують технічне обслуговування легкових автомобілів, повинні бути забезпечені спецодягом, спеціальним взуттям, захисними рукавицями, окулярами або щитками, а за потреби - респіраторами та засобами захисту слуху. Використання рукавиць є необхідним при роботі з гострими кромками деталей, гарячими поверхнями, мастильними матеріалами та хімічними речовинами. Захисні окуляри обов'язкові під час продування стисненим повітрям, шліфування, зняття і встановлення пружинних елементів, роботи з акумуляторами і технічними рідинами. Спецвзуття зі стійкою підошвою знижує ризик ковзання та травмування стопи у разі падіння інструмента чи деталі. Належне забезпечення і фактичне використання засобів індивідуального захисту розглядається як одна з базових гарантій безпечного виконання виробничих операцій.

Під час виконання окремих видів робіт необхідно враховувати їх спеціальну небезпеку. Так, шиномонтажні роботи потребують особливої обережності через високий тиск у шинах та можливість вибухового руйнування елементів колеса. Роботи з гальмівною системою вимагають уникнення контакту з гальмівною рідиною та дотримання чистоти, оскільки витіки чи забруднення можуть не лише створити небезпеку для працівника, а й безпосередньо вплинути на безпечність подальшої експлуатації автомобіля. При обслуговуванні системи охолодження слід уникати відкривання розширювального бачка чи радіатора на гарячому двигуні, адже викид гарячої рідини та пари може спричинити опіки. Під час роботи з кондиціонерними системами необхідно дотримуватися технологічних вимог до поводження з холодоагентом і застосовувати спеціальне обладнання, яке унеможливило його неконтрольований викид.

Виробнича безпека значною мірою залежить і від організації руху транспортних засобів на території підприємства. Навіть у межах автосервісу чи

станції технічного обслуговування існує ризик наїзду на працівника під час маневрування автомобіля, особливо у вузьких проїздах, поблизу підйомників, оглядових каналів, постів миття та зон приймання-видачі. Тому на внутрішній території повинні бути встановлені схеми руху, дорожні знаки, обмеження швидкості, порядок подачі автомобіля заднім ходом та місця безпечного перебування персоналу. У чинних правилах охорони праці під час експлуатації промислового транспорту наведені орієнтири щодо обмеження швидкості руху на території підприємства, що вказує на загальний принцип: у зонах виробництва швидкість має бути мінімальною та повністю контрольованою.

Важливою організаційною передумовою безпечної праці є навчання та інструктування персоналу. До робіт з технічного обслуговування легкових автомобілів допускаються особи, які пройшли відповідне навчання, вступний і первинний інструктажі, ознайомлені з технологією виконання робіт, правилами користування обладнанням, порядком дій у разі аварійної ситуації, пожежі чи травмування. Періодичне повторне навчання та перевірка знань з охорони праці мають бути невід'ємною частиною функціонування підприємства. Це особливо актуально в умовах постійного оновлення конструкцій автомобілів, поширення гібридних і електричних моделей, використання нових діагностичних систем та спеціального сервісного оснащення.

Сучасний етап розвитку автомобільного сервісу потребує окремої уваги до обслуговування електромобілів і гібридних легкових автомобілів. У таких транспортних засобах додаткову небезпеку становлять високовольтні системи, тягові батареї, силова електроніка та можливість термічних пошкоджень акумуляторних модулів. Тому персонал, який працює з такими автомобілями, повинен проходити спеціальну підготовку, використовувати діелектричні засоби захисту, дотримуватися процедур знеструмлення та ідентифікації високовольтних ланцюгів. Хоча загальні принципи охорони праці залишаються незмінними, технологічне ускладнення сучасних автомобілів вимагає підвищення кваліфікації працівників і жорсткішого дотримання регламентів безпеки. Нормативна база з охорони праці покладає на роботодавця обов'язок

організувати таку роботу з урахуванням реальних ризиків конкретного виробництва.

Отже, охорона праці при обслуговуванні легкових автомобілів повинна розглядатися як комплексна система технічних, організаційних, санітарно-гігієнічних і протипожежних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності персоналу. Її ефективність визначається не лише наявністю формальних інструкцій, а й реальним технічним станом обладнання, рівнем організації робочих місць, справністю вентиляції та електромереж, забезпеченням працівників засобами захисту, якістю інструктажу й виробничою дисципліною. Саме системний підхід до організації безпечної праці на підприємствах автомобільного сервісу дозволяє мінімізувати виробничий травматизм, попередити професійні ризики та забезпечити належну якість технічного обслуговування легкових автомобілів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягає в обґрунтуванні організаційно-технологічних підходів до підвищення ефективності функціонування сервісу таксі/ride-hailing в умовах міського середовища. Досягнуто поставленої мети, а саме сформовано цілісне бачення удосконалення роботи сервісу на основі врахування просторово-часової нерівномірності попиту, раціоналізації розподілу замовлень між водіями, зниження частки порожнього пробігу та запровадження системи показників оцінювання результативності функціонування.

У роботі доведено, що ефективність сервісу таксі/ride-hailing визначається не стільки абсолютною чисельністю автомобілів на лінії, скільки якістю організації їх використання в межах міської території. Встановлено, що ключовими передумовами підвищення результативності є точне врахування зональної структури попиту, адаптація роботи сервісу до добових і локальних коливань транспортної активності, а також узгодження рішень щодо призначення автомобілів із реальним просторовим станом системи. Це дало змогу обґрунтувати доцільність переходу від спрощеної схеми обслуговування замовлень до системного підходу, у якому сервіс розглядається як керована динамічна система міської мобільності.

Теоретичне значення одержаних результатів полягає в розвитку підходу до організації роботи таксі/ride-hailing через поєднання трьох взаємопов'язаних складових: зонування попиту, оптимізації процедури розподілу замовлень та керування просторовим положенням вільного парку. У роботі обґрунтовано, що саме комплексний розгляд цих складових створює умови для підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів і одночасного зниження непродуктивних витрат у роботі сервісу. Таким чином, сформовано методичну основу для подальшого вдосконалення міських систем індивідуальних пасажирських перевезень.

Практична цінність роботи полягає в тому, що отримані результати можуть бути безпосередньо використані для удосконалення діяльності операторів таксі, цифрових платформ ride-hailing, диспетчерських служб та інших суб'єктів ринку міських пасажирських перевезень. Запропоновані підходи дають змогу підвищити точність розміщення вільних автомобілів, скоротити час подачі транспортного засобу до пасажирів, зменшити непродуктивні простой, знизити частку холостих переміщень і забезпечити більш збалансоване покриття міської території транспортними засобами. Їх застосування сприятиме як покращенню рівня сервісу для користувачів, так і підвищенню експлуатаційної ефективності роботи парку.

У роботі сформовано підхід, який дозволяє узгодити інтереси пасажирів і перевізника. Для пасажирів це проявляється у зменшенні часу очікування, підвищенні надійності подачі автомобіля та стабільності обслуговування. Для перевізника або платформи це означає раціональніше використання рухомого складу, підвищення продуктивності одного автомобіля, скорочення порожнього пробігу та більш обґрунтоване управління транспортними ресурсами. Саме ця двостороння спрямованість результатів надає роботі завершеного прикладного характеру.

Окремою вагомою перевагою роботи є формування системи КРІ для оцінювання сервісу таксі/ride-hailing, що дозволяє перейти від описового аналізу до кількісного контролю якості функціонування. Запропонована система показників дає можливість оцінювати рівень оперативності обслуговування, ступінь використання пробігу, продуктивність автомобілів, збалансованість зонального покриття та загальну результативність сервісу. Це створює підґрунтя для подальшого впровадження інструментів моніторингу, порівняльного аналізу та обґрунтування управлінських рішень на основі вимірюваних параметрів.

Одержані в роботі результати можуть бути використані не лише в діяльності сервісів таксі/ride-hailing, а й у ширшому контексті досліджень міської мобільності та транспортного планування. Вони є корисними для аналізу просторової поведінки попиту, оцінювання ролі індивідуальних пасажирських

перевезень у міській транспортній системі, а також для розроблення практичних заходів із покращення транспортного обслуговування населення. У цьому полягає прикладна значущість роботи для підприємств транспортної сфери, міських органів управління та освітнього процесу за спеціальністю транспортні технології.

Таким чином, кваліфікаційна робота має завершений характер, характеризується практичною спрямованістю та містить результати, що можуть бути використані для підвищення ефективності функціонування сервісу таксі/ride-hailing у міських умовах. Реалізація запропонованих підходів дозволяє покращити якість транспортного обслуговування пасажирів, знизити експлуатаційні витрати, підвищити продуктивність використання рухомого складу та забезпечити більш раціональну організацію індивідуальних пасажирських перевезень у місті.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Яновський П. О. Пасажирські перевезення : навч. посіб. Київ : НАУ, 2008. 469 с.
2. Марінцева К. В. Пасажирські перевезення : підручник. 2-ге вид. Київ : НАУ-друк, 2016. 228 с.
3. Доля В. К. Пасажирські перевезення : підручник. Харків : Форт, 2011. 504 с.
4. Вакуленко К. Є., Доля К. В. Управління міським пасажирським транспортом : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 257 с.
5. Маруніч В. С., Шморгун Л. Г. ; за ред. В. С. Маруніча, Л. Г. Шморгуна. Організація та управління пасажирськими перевезеннями : підручник. Київ : Міленіум, 2017. 498 с.
6. Бондарєв С. І. [та ін.]. Пасажирські перевезення (на автомобільному транспорті) : посібник. Київ : Компринт, 2017. 525 с.
7. Давідіч Ю. О., Куш Є. І., Калюжний М. В. Параметри автотранспортних технологічних процесів при перевезенні пасажирів : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2015. 275 с.
8. Кристопчук М. Є., Лобашов О. О. Приміські пасажирські перевезення : навч. посіб. Харків : НТМТ, 2012. 224 с.
9. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Пасажирські перевезення. Ч. 1. Київ, 2017. 283 с.
10. Ігнатенко О. С., Маруніч В. С. Пасажирські перевезення. Ч. 2. Київ, 2017. 265 с.
11. Бутько Т. В., Долгополов П. В. [та ін.]. Організація пасажирських перевезень у міжнародному залізничному сполученні : навч. посіб. Харків, 2023.
12. Левковець П. Р., Маруніч В. С. Міжнародні перевезення і транспортне право : навч. посіб. 3-тє вид., випр. і допов. Київ : Арістей, 2005. 292 с.

13. Aguilera-García Á., Gomez J., Velázquez G., Vassallo J. M. Ridesourcing vs. traditional taxi services: Understanding users' choices and preferences in Spain // *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. 2022. Vol. 155. P. 161–178. DOI: 10.1016/j.tra.2021.11.002.

14. Tiwari S., Nassir N., Sauri Lavieri P. Ride-hailing vehicle dispatching and matching strategies to prioritize and complement public transport use // *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2025. Vol. 12, Issue 5. P. 1484–1507. DOI: 10.1016/j.jtte.2024.09.010.