

## ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

**бакалавр**

(освітній рівень)

на тему: *Оцінювання якості міських пасажирських перевезень за KPI/SLA та розробка системи диспетчерського контролю на основі GPS-даних*

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

Студент	_____	<u>Пасічник Д.А.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Керівник	_____	<u>Матвіїшин А.Й.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Нормоконтроль	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Рецензент	_____	<u>Комар Р.В.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)
Зав. каф.	_____	<u>Цьонь О.П.</u>
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

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

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

Кафедра Автотранспорту та логістики

Освітній рівень бакалавр

Напрямок підготовки \_\_\_\_\_

(шифр і назва)

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному транспорті)

(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач кафедри Цьонь О.П.

«\_\_\_»

2026 р.

## **ЗАВДАННЯ**

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пасічнику Денису Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оцінювання якості міських пасажирських перевезень за KPI/SLA та розробка системи диспетчерського контролю на основі GPS-даних

керівник проекту (роботи) Матвійшин Анатолій Йосипович, к.т.н., доц.

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

затверджені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-31

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

3. Вихідні дані до проекту (роботи) \_\_\_\_\_

Обраний маршрут для дослідження; параметри системи диспетчерського управління

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



## ЗМІСТ

### РЕФЕРАТ

### ВСТУП

#### 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

- |     |   |    |
|-----|---|----|
| 1.1 | Характеристика об'єкта дослідження та умов перевезень.  | 10 |
| 1.2 | Вихідні дані та припущення для розрахунків KPI/SLA  | 12 |
| 1.3 | Аналіз графіка руху та кількості рухомого складу громадського транспорту м. Тернополя   | 20 |
| 1.4 | Вимоги до зупинок громадського транспорту при впровадженні показників KPI та SLA на основі GPS-даних для системи громадського пасажирського транспорту м. Тернополя | 25 |
| 1.5 | Вимоги до обладнання транспортних засобів при впровадженні показників KPI та SLA на основі GPS-даних для системи громадського пасажирського транспорту м. Тернополя | 29 |
| 1.6 | Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу   | 36 |

#### 2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

- |      |  |    |
|------|--|----|
| 2.1  | Математична модель диспетчерського контролю маршруту №11 (м. Тернопіль)  | 38 |
| 2.2  | Методика визначення подій «прибуття/відправлення» транспортних засобів на зупинках громадського транспорту за GPS-даними | 47 |
| 2.3. | Алгоритми контролю відхилень і правила сповіщення  | 51 |
| 2.4  | Розрахунок очікуваного ефекту від упровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху                      | 58 |

<b>3</b>	<b>БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ</b>	
3.1	Характеристика умов праці диспетчера та персоналу, що працює з системою GPS-моніторингу	67
3.2	Безпека в надзвичайних ситуаціях у міських перевезеннях і роль диспетчерської системи.	71
	<b>ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ</b>	78
	<b>ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ</b>	80

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота присвячена оцінюванню якості міських пасажирських перевезень за показниками KPI/SLA та розробленню системи диспетчерського контролю на основі GPS-даних для умов м. Тернополя. У роботі обґрунтовано актуальність переходу від епізодичного контролю перевезень до безперервного кількісного моніторингу, що забезпечує об'єктивне оцінювання регулярності руху, пунктуальності прибуття транспортних засобів на зупинки, надійності інтервалів та керованості транспортного процесу.

Об'єктом дослідження є процес міських пасажирських перевезень на маршрутах громадського транспорту, а предметом дослідження — методика розрахунку KPI/SLA з GPS-даних і алгоритми диспетчерського контролю, що забезпечують виявлення та реагування на порушення режиму роботи маршрутів. У роботі проаналізовано умови функціонування міського транспорту Тернополя, вихідні дані для розрахунків KPI/SLA, вимоги до зупинок і бортового обладнання транспортних засобів при впровадженні GPS-моніторингу.

У практичній частині розроблено математичну модель диспетчерського контролю маршруту №11 м. Тернополя, запропоновано методику визначення подій «прибуття/відправлення» транспортних засобів на зупинках за GPS-даними, сформовано алгоритми контролю відхилень і правила сповіщення, а також передбачено розрахунок очікуваного ефекту від упровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху. Окрему увагу приділено питанням безпеки життєдіяльності, умовам праці диспетчера та ролі диспетчерської системи в підвищенні стійкості міських перевезень у надзвичайних ситуаціях.

Результати роботи можуть бути використані під час удосконалення системи управління міськими пасажирськими перевезеннями, підвищення якості транспортного обслуговування населення, зменшення відхилень від графіка руху та впровадження сучасних цифрових підходів до диспетчерського контролю в практиці роботи транспортних підприємств і органів місцевого самоврядування.

## ВСТУП

В умовах зростання мобільності населення та підвищених вимог до доступності міських послуг якість міських пасажирських перевезень набуває ключового значення для сталого розвитку міста, соціальної інтеграції та економічної активності. Для пасажирів «якість» передусім проявляється не лише у швидкості поїздки, а у передбачуваності та стабільності: регулярності руху, пунктуальності прибуття на зупинки, надійності інтервалів між транспортними засобами та здатності перевізника керувати підтримувати заданий режим роботи маршруту. Порушення регулярності спричиняє «злипання» транспортних засобів, збільшення очікування на зупинках, нерівномірне завантаження салонів, зниження довіри пасажирів і, як наслідок, падіння привабливості громадського транспорту порівняно з індивідуальними способами пересування. Отже, забезпечення керованості процесу перевезень, а саме – можливості оперативно виявляти відхилення від графіка та інтервалів, локалізувати їх причини та коригувати роботу рухомого складу – є одним із визначальних напрямів підвищення якості міських перевезень.

Традиційні підходи до контролю якості перевезень часто спираються на епізодичні обстеження, візуальні спостереження, вибірккові заміри або суб'єктивні скарги пасажирів. Такі підходи не гарантують повноти охоплення у часі та просторі, мають обмежену відтворюваність і не дозволяють сформувати прозорий механізм відповідальності за фактичне виконання послуг. Натомість впровадження показників KPI (Key Performance Indicators) та SLA (Service Level Agreement) на основі GPS-даних створює можливість перейти від описових і нерегулярних оцінок до кількісного, доказового та безперервного диспетчерського контролю. GPS-лог рухомого складу, синхронізований із розкладом, переліком зупинок та схемами маршрутів, дає змогу автоматично обчислювати метрики пунктуальності, регулярності, надійності інтервалів, фактичного дотримання траєкторії руху, стабільності часу проходження ділянок та інших параметрів, що безпосередньо впливають на транспортний сервіс.

Завдяки цьому KPI/SLA можуть виконувати подвійну функцію: по-перше, слугувати інструментом оперативного управління (раннє виявлення відхилень і підтримка рішень диспетчера), по-друге, забезпечувати прозорий моніторинг виконання послуг для замовника перевезень, перевізника та громадськості, уніфікуючи вимоги до якості в вимірюваних показниках.

Метою даної кваліфікаційної роботи є оцінювання якості міських пасажирських перевезень за KPI/SLA та розроблення системи диспетчерського контролю на основі GPS-даних, орієнтованої на підтримання регулярності руху, пунктуальності та надійності інтервалів. Об'єктом дослідження є процес міських пасажирських перевезень на маршрутах (функціонування рухомого складу в умовах розкладу, зупиночної мережі та змінних дорожніх умов). Предметом дослідження є методика розрахунку KPI/SLA з GPS-даних і алгоритми диспетчерського контролю, що забезпечують виявлення, класифікацію та реагування на порушення режиму роботи маршрутів.

Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати сукупність взаємопов'язаних завдань, що охоплюють шлях від аналітики даних до проектування логіки контролю. До таких завдань належать: аналіз наявних підходів до вимірювання якості міських перевезень та формалізація вимог до KPI/SLA; опис структури та якості вхідних даних (GPS-логів, розкладів, зупинок, схем маршрутів) і визначення процедур їх підготовки (очищення, синхронізація, узгодження часових міток, прив'язка координат до зупинок і сегментів маршрутів); розроблення методики обчислення ключових показників пунктуальності, регулярності й інтервальної надійності та визначення правил інтерпретації відхилень; побудова подієвої моделі «прибуття/відправлення» для відтворення фактичного руху на зупинках за GPS-даними; формування алгоритмів диспетчерського контролю (виявлення запізнь, ранніх прибуттів, «злипання», провалів інтервалів, відхилень від траєкторії, а також пропусків зупинок/рейсів) і логіки реагування; визначення вимог до інформаційної структури системи моніторингу та принципів формування звітності й панелей

контролю для різних рівнів управління (оперативний диспетчерський рівень і аналітичний рівень оцінювання SLA).

Методичну основу дослідження становлять методи статистичного аналізу та описової аналітики для узагальнення характеристик роботи маршрутів; методи аналізу часових рядів для виявлення закономірностей, пікових періодів і стійких відхилень у пунктуальності та інтервалах; геоаналітичні методи для просторової прив'язки GPS-даних до зупинок, ділянок та коридорів руху, а також для аналізу впливу просторових факторів на затримки; системний аналіз для формалізації структури процесу перевезень і взаємозв'язку між причинами відхилень та результативними показниками; моделювання подій “прибуття/відправлення” на зупинках як інструмент перетворення безперервного GPS-треку у дискретний набір контрольних подій, придатний для розрахунку KPI/SLA та реалізації логіки диспетчерського контролю.

Інформаційною базою роботи є дані GPS-логів рухомого складу (часові мітки, координати, за можливості – швидкість/курс), планові дані розкладу/графіка руху, перелік і координати зупинок, схеми маршрутів (траєкторії, напрямки, послідовність зупинок), а також, за можливості, додаткова інформація про дорожні умови (ремонтні роботи, перекриття, інтенсивність руху, погодні фактори чи індикатори заторів). Поєднання цих джерел забезпечує підґрунтя для кількісного оцінювання якості послуги та побудови прозорого механізму контролю виконання KPI/SLA, що, у підсумку, сприятиме підвищенню регулярності та передбачуваності міських пасажирських перевезень і формуванню більш керованої, відповідальної системи транспортного обслуговування населення.

# 1 АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Характеристика об'єкта дослідження та умов перевезень.

Об'єктом дослідження є міська система пасажирських перевезень Тернополя, сформована маршрутною мережею автобусних та тролейбусних сполучень, що забезпечують щоденні поїздки населення між житловими районами, центральною частиною міста та основними точками тяжіння попиту. Для міста характерна відносно компактна просторова структура з домінуванням центрального ядра (адміністративно-ділові, торговельні та сервісні функції) і розміщенням значних житлових масивів на периферії, що зумовлює регулярні маятникові переміщення у робочі дні. У таких умовах якість перевезень безпосередньо пов'язана з надійністю інтервалів і здатністю системи підтримувати прогнозований рівень обслуговування в різних режимах завантаження вулично-дорожньої мережі.

Маршрутна мережа міського пасажирського транспорту Тернополя включає автобусні маршрути загального користування та тролейбусні лінії, які працюють на ключових міських коридорах. Автобусні перевезення характеризуються більшою варіативністю трасування, можливістю гнучкого охоплення територій і залежністю швидкості сполучення від поточної дорожньої ситуації. Тролейбусні перевезення вирізняються прив'язкою до контактної мережі та, як правило, більшою повторюваністю режиму руху на тих самих ділянках, що спрощує порівняння планових та фактичних параметрів і є доцільним для впровадження регулярного інструментального контролю за KPI/SLA. У межах даної роботи предметне дослідження доцільно фокусувати на кількох репрезентативних міських напрямках, які поєднують житлові райони з центральною частиною та транспортними вузлами, оскільки саме на таких коридорах найбільш контрастно проявляються проблеми нерівномірності інтервалів, затримок і «злипання» рухомого складу в пікові години.

Умови руху в Тернополі визначаються поєднанням магістральних вулиць, локальних вуличок у центральній частині та низки просторових бар'єрів, що формують «вузькі місця» мережі. Значний вплив на режим руху має проходження потоків через центральну зону з високою інтенсивністю пішохідних і транспортних перетинів, великою кількістю світлофорних регулювань і підвищеною часткою зупинок громадського транспорту. Додатковими факторами є ділянки, пов'язані з перетином водних об'єктів (річка Серет і водосховище), де пропускна здатність часто стає визначальною для формування затримок та накопичення транспортних засобів у транспортні ланцюги. Для міської логістики пасажирських перевезень критичними є також пересадкові вузли й точки концентрації попиту, зокрема райони біля залізничного вокзалу та автовокзалу, центральних торговельних зон і місць тяжіння освітніх та адміністративних установ. Саме в цих локаціях типовими є нерівномірні під'їзди до зупинок, збільшення часу обслуговування пасажирів, додаткові затримки через конфлікти потоків і, як наслідок, порушення інтервальної дисципліни на маршрутах.

Аналіз режимів роботи міського транспорту виконується з урахуванням добової нерівномірності попиту та дорожньої завантаженості. Для Тернополя, як і для більшості середніх міст, робочі дні характеризуються вираженими піковими періодами ранкового та вечірнього маятникового руху, коли суттєво змінюються як середня швидкість сполучення, так і розподіл інтервалів. У пікові години зростає імовірність систематичних запізнь, збільшення варіації часу проходження перегонів, утворення черг на зупинках і «злипання» транспортних засобів, тоді як у непікові періоди проявляються інші ризики, зокрема збільшення розкиду фактичних інтервалів через «провали» руху, диспетчерські простої або нерівномірну роботу водіїв за нижчого попиту. Для коректного KPI/SLA-оцінювання важливо розрізнити ці режими, оскільки нормативні очікування щодо пунктуальності та інтервальної надійності у піку й непіку можуть відрізнитися, а алгоритми диспетчерського контролю повинні мати адаптивні пороги реагування.

Для проведення кількісного аналізу доцільно використовувати часовий інтервал спостережень тривалістю від одного до чотирьох тижнів із перевагою повного чотиритижневого періоду за наявності даних. Такий горизонт є достатнім для репрезентативності з практичної точки зору, оскільки охоплює повний спектр типових тижневих циклів роботи міста, повторюваність робочих днів, відмінності вихідних, а також варіативність дорожньої ситуації. Накопичення даних за кілька тижнів дозволяє оцінювати не одиничні інциденти, а стійкі закономірності відхилень у пунктуальності та інтервалах, формувати розподіли затримок і головних показників, виділяти проблемні ділянки маршруту й часові вікна підвищеного ризику порушень. Водночас інтервал у межах одного–двох тижнів може бути достатнім для первинного пілотного налаштування методики, перевірки коректності прив'язки GPS-координат до зупинок і відпрацювання подієвої моделі “прибуття/відправлення”, але для стабільних висновків щодо SLA-рівня якості перевагу слід надавати тривалішому періоду, що зменшує вплив випадкових факторів.

Таким чином, умови міських перевезень у Тернополі формуються поєднанням компактної територіальної структури, концентрації потоків у центральній частині, наявності просторових бар'єрів і «вузьких місць» на окремих коридорах, а також чітко вираженої добової нерівномірності попиту. Саме ці особливості роблять доцільним застосування KPI/SLA на основі GPS-даних, оскільки вони забезпечують інструментальне вимірювання регулярності, пунктуальності та інтервальної надійності в реальних умовах руху, дозволяючи перейти від загальних оцінок до доказової і порівнюваної аналітики якості перевізного процесу на рівні маршрутів, часових зон і ключових міських локацій.

## **1.2 Вихідні дані та припущення для розрахунків KPI/SLA**

Побудова кількісної системи оцінювання якості міських пасажирських перевезень за KPI/SLA у м. Тернопіль ґрунтується на поєднанні оперативних навігаційних спостережень про фактичний рух транспортних засобів із

плановими параметрами роботи маршрутів. Логіка розрахунків передбачає перетворення потоку GPS-точок у дискретні події “прибуття/відправлення” на зупинках та контрольних точках, після чого виконуються зіставлення з плановим розкладом або плановими інтервалами. Таким чином, вихідні дані мають забезпечувати однозначну ідентифікацію транспортного засобу, маршруту і рейсу, коректну просторову прив’язку до зупиночної мережі та часову синхронізацію з плановими графіками.

У роботі використовується комплекс даних, що охоплює фактичні траєкторії руху (GPS-лог), довідкові описи маршрутної мережі та зупинок, а також планові вимоги до роботи транспорту (розклад або інтервальні нормативи). Взаємоузгодження цих складників є критично важливим для коректного формування KPI/SLA, оскільки навіть незначні розбіжності в координатах зупинок, часових мітках або ідентифікаторах маршрутів здатні суттєво спотворити оцінку пунктуальності та регулярності.

Таблиця 1.2 – Основні набори даних та їх зміст (мінімально необхідний склад)

Набір даних	Основні атрибути	Призначення у розрахунках KPI/SLA	Ключові вимоги до якості
1	2	3	4
GPS-точки (трек)	час фіксації; широта/довгота; (за можливості) швидкість, курс; ідентифікатор ТЗ; (за можливості) маршрут/рейс	реконструкція фактичного руху, оцінка швидкості на ділянках, формування подій на зупинках	стабільна частота оновлень; коректний час; відсутність “стрибків” координат

1	2	3	4
Довідник маршрутів	код маршруту; напрямок; перелік зупинок у послідовності; геометрія траси (за наявності)	просторове та логічне “прикріплення” GPS-точок до маршруту і напряму	однозначні коди; актуальність схем; узгодженість зі зупинками
Координати зупинок	код/назва зупинки; координати центру; належність до маршруту(ів)	створення геозон, визначення подій “прибуття/відправлення”	точність координат; відсутність дублювань; коректні назви/коди
Плановий розклад або планові інтервали	планові прибуття/відправлення на зупинках або планові інтервали; календар (робочий/вихідний); часові вікна піку	база порівняння для КРІ пунктуальності, регулярності та надійності інтервалів	узгодженість часу з GPS; наявність версій (сезонні зміни)
Контрольні точки	координата/геозона; тип (початок/кінець, вузол, кордон центру); прив’язка до маршруту	стабілізація контролю на ключових ділянках, діагностика причин відхилень	розташування в “надійних” місцях, мінімум просторової неоднозначності
Додаткові умови (за можливості)	події перекриттів/ремонтів; погодні дані; індикатори заторів	пояснення аномалій та коригування інтерпретації КРІ	синхронність у часі, прив’язка до ділянок мережі

Для Тернополя доцільно забезпечити, щоб довідник маршрутів та зупинок відображав фактичну структуру руху в центральній частині міста та в районах основних пересадкових вузлів. Саме там похибки просторової прив'язки найчастіше призводять до хибного визначення прибуттів/відправлень через щільне розташування зупинок, обмежену геометрію вулиць і низькі швидкості руху.

#### Принцип організації планових даних

Планова модель роботи може бути подана двома основними способами, і вибір визначає методику KPI/SLA.

Якщо наявні планові прибуття/відправлення по зупинках, то пунктуальність визначається безпосереднім порівнянням фактичних часових міток подій із запланованими. Такий підхід є найбільш інформативним для маршрутів із жорстким графіком та для контрольних точок (початок/кінець рейсу, ключові вузли).

Якщо доступні переважно планові інтервали (headway-based підхід), то центральними стають показники інтервальної надійності та регулярності, а пунктуальність інтерпретується опосередковано через відхилення інтервалів і “злипання” транспортних засобів. Для багатьох міських маршрутів саме інтервальні KPI є ближчими до пасажирського сприйняття якості, оскільки очікування на зупинці прямо пов'язане із стабільністю інтервалів.

#### Базові припущення щодо GPS-даних та допустимих похибок

Оскільки GPS-лог формується в реальному середовищі, він неминуче містить похибки позиціонування та часові нерівномірності. Для забезпечення відтворюваності розрахунків KPI/SLA вводяться припущення, які дозволяють уніфікувати обробку даних і зробити результати порівнюваними між днями та маршрутами.

**Частота GPS-оновлень** у розрахунках приймається квазісталім потоком із номінальним інтервалом 5–15 с, причому алгоритми повинні коректно працювати за нерівномірності оновлень у межах прийняттого діапазону (наприклад, через втрату зв'язку в окремих точках). За відсутності регулярного

оновлення довше певного часу (наприклад, понад 60–120 с) виникає ризик пропуску подій на зупинках, тому такі прогалини трактуються як зони невизначеності та враховуються в правилах якості даних.

**Допустима просторова похибка** позиціювання для міських умов приймається на рівні порядку десятків метрів; при цьому критичною є не абсолютна похибка, а її співвідношення з радіусом геозони зупинки. У щільній центральній забудові Тернополя похибка може зростати через мультипас та екранування сигналу, тому для зупинок у центрі доцільно застосовувати більш обережну логіку подій (поєднання геозони з умовою низької швидкості/часу перебування), щоб зменшити хибні спрацювання.

**Часова похибка** передбачається малою (секунди–десятки секунд) за умови синхронізації часу бортового пристрою із системним часом сервера. Проте на практиці можуть виникати зсуви через некоректні налаштування, тому вводиться процедура перевірки узгодженості часу шляхом порівняння типових тривалостей проходження ділянок та виявлення систематичних зсувів.

Логіка визначення подій на зупинках через геозону

Ключовим технологічним етапом є перетворення безперервного GPS-треку в дискретні події, що безпосередньо використовуються у KPI/SLA. Події “прибуття” та “відправлення” визначаються на підставі входу/виходу транспортного засобу в/з геозони зупинки (геофенс), сформованої навколо координати центру зупинки. Концептуально це показано на рисунку 1.3.

Параметр радіуса геозони  $R$  задається з урахуванням точності координат зупинки та очікуваної похибки GPS. У методиці приймається, що геозона має бути достатньо великою, аби компенсувати похибки позиціювання, але не надмірною, щоб не “захоплювати” паралельні проїзні частини, сусідні зупинки або ділянки з повільним рухом поблизу перехресть. Для окремих типів локацій (зупинки на магістралях, зупинки біля великих вузлів, центральні зупинки зі щільним розміщенням) радіус може відрізнятись, але в розрахунковій постановці приймається одне базове правило з можливістю локального уточнення для проблемних точок.

Щоб відокремити справжнє обслуговування зупинки від випадкового проїзду поруч або повільного руху в заторі, подія зупинки підтверджується додатковими умовами. Практично обґрунтованим є поєднання геозонного критерію з критерієм швидкості та/або часу перебування: у межах геозони фіксується інтервал часу, протягом якого швидкість є малою (або рухомий склад демонструє стаціонарність). Якщо ці умови виконуються, момент першого входу в геозону інтерпретується як фактичне прибуття, а момент остаточного виходу після періоду обслуговування – як фактичне відправлення. Така постановка забезпечує стійкість алгоритму в типових міських умовах Тернополя, де затримки на світлофорах і на під'їздах до центру можуть призводити до тривалого повільного руху поблизу зупинок.

Для забезпечення достовірності KPI/SLA необхідно відокремити системні закономірності роботи транспорту від технічних артефактів навігаційних даних. У методиці вводиться набір правил, що дозволяють автоматично виявляти та вилучати аномалії без втрати інформативності основного масиву.

По-перше, відсікаються “неможливі” стани, коли з різниці координат і часу впливають надмірні швидкості або миттєві переміщення на значні відстані. Такі спостереження найчастіше є наслідком збоїв GPS або помилок передачі й не повинні впливати на визначення подій.

По-друге, обробляються дублікати та повтори, коли однакові точки надходять кілька разів або коли часові мітки не зростають монотонно. Для подієвих алгоритмів монотонність часу є критичною, тому некоректні фрагменти впорядковуються або вилучаються.

По-третє, фіксуються прогалини в даних, що перевищують допустимий інтервал. Якщо в межах такого “провалу” потенційно могла відбутися подія на зупинці чи контрольній точці, то відповідні KPI для цієї частини рейсу позначаються як невизначені або розраховуються з урахуванням зниженої довіри, щоб не формувати хибні висновки про порушення SLA.

По-четверте, застосовується логіка узгодження траєкторії з маршрутною геометрією або, за її відсутності, з послідовністю зупинок. Це важливо для міста

з щільною вуличною мережею, де паралельні вулиці або розворотні петлі можуть призвести до неоднозначної інтерпретації належності точки маршруту. У спрощеному вигляді узгодження може виконуватися через перевірку послідовності відвіданих зупинок і відсікання фрагментів, що суперечать логіці прямого руху.

Таблиця 1.3 – Припущення та параметри обробки даних

Елемент методики	Прийняте припущення/параметр	Практичне обґрунтування для міських умов
1	2	3
Інтервал GPS-оновлень	5–15 с як робочий діапазон; прогалини > 60–120 с вважаються критичними	забезпечує достатню деталізацію для подій на зупинках і контрольних точках
Похибка координат	допускається міська похибка порядку десятків метрів; критично узгодити з радіусом геозони	враховує мультипас/екранування у центральній забудові
Геозона зупинки	подія визначається входом/виходом у геозону; радіус R задається для балансу “не пропустити” і “не сплутати”	мінімізує хибні події, зберігає стійкість до похибок
Підтвердження зупинки	геозона доповнюється умовою низької швидкості/часу перебування	відокремлює обслуговування зупинки від заторів/світлофорів

1	2	3
“Неможливі” швидкості/стрибки	точки з аномальною кінематикою вилучаються або не враховуються в подіях	усуває технічні артефакти GPS
Дублікати/немонотонний час	дублікати усуваються; часові мітки приводяться до зростання або фрагменти відкидаються	забезпечує коректну подієву модель
Пропуски даних	довгі прогалини фіксуються; КРІ для відповідних фрагментів маркуються як невизначені/низької довіри	запобігає хибним штрафам SLA
Узгодження з маршрутом	контролюється логіка напряму та послідовність зупинок; підозрілі фрагменти виділяються	зменшує помилки при близьких паралельних ділянках

Контрольні точки вводяться як додатковий каркас для моніторингу, особливо актуальний для Тернополя з огляду на наявність зон концентрації затримок і нерівномірності руху. На відміну від зупинок, які формують густу сітку подій, контрольні точки обираються у місцях, де відхилення мають високу діагностичну цінність: на входах/виходах із центральної частини, біля основних пересадкових вузлів, у точках розвороту, а також на підходах до мостових переходів чи ділянок, що виступають “вузькими місцями”. Події на контрольних точках дозволяють розкладати загальне запізнення на складники та

відокремлювати відхилення, спричинені локальними дорожніми умовами, від відхилень, пов'язаних з організацією випуску та диспетчерськими рішеннями.

Отже, вихідні дані для розрахунків KPI/SLA в межах роботи формуються як узгоджений набір GPS-логів, довідників маршрутів і зупинок, планових параметрів роботи та системи контрольних точок. Прийняті припущення щодо частоти GPS-оновлень, допустимих похибок і правил подієвого визначення прибуття чи відправлення через геозони створюють формальну основу для відтвореної методики KPI/SLA, придатної для міських умов Тернополя. Одночасно правила відсікання аномалій та контроль якості даних забезпечують, що розраховані показники відображають реальну роботу маршрутів, а не артефакти вимірювання, що є необхідною передумовою для прозорого диспетчерського контролю та коректної інтерпретації рівня сервісу.

### **1.3 Аналіз графіка руху та кількості рухомого складу громадського транспорту м. Тернополя**

Функціонування міського пасажирського транспорту доцільно розглядати через ключові елементи транспортної системи: маршрутну мережу (набір ліній і їх просторове покриття), рухомий склад (кількість, структура парку та його фактичний випуск), графік руху (часові режими роботи упродовж доби та різні типи днів), а також інформаційно-диспетчерську інфраструктуру (публікація розкладів і GPS-моніторинг). Саме узгодженість цих елементів визначає відтворюваність інтервалів, пунктуальність і керованість перевезень, а отже - якість транспортної послуги.

У Тернополі у 2025 році було запроваджено оновлення та уніфікацію маршрутної мережі (зокрема зміну нумерації автобусів і тролейбусів та запуск/модифікацію окремих ліній з 25 червня), що розглядається як інструмент структурного впорядкування мережі та зменшення плутанини між маршрутами. Це важливо саме з погляду системи: нумерація і стабільність трасування маршрутів впливають на коректність довідників маршрутів/зупинок, а отже - на

якість планування розкладів і подальший GPS-контроль (прив'язку точок до географічних «подій» на мережі).

За даними сервісу відстеження транспорту «Де транспорт» у Тернополі представлено автобусні маршрути з нумерацією 1, 11–20, 20А, 21–33, 35–40, 42, 49, 50 (загалом 36 маршрутних позначень) та тролейбусні маршрути 2, 4–10 (загалом 8 маршрутів). У контексті системного аналізу це означає, що автобусна підсистема виконує роль більш розгалуженого «покриття» (більше ліній, ширша варіативність трас), тоді як тролейбусна підсистема зазвичай працює як стабільніший «опорний» каркас на основних коридорах із вищою передбачуваністю руху (за умови достатнього випуску та працездатності контактної мережі).

Кількість транспортних засобів, що реально виходять на маршрути (випуск), є прямим ресурсним обмеженням для графіка: за сталої тривалості оборотного рейсу збільшення випуску зменшує інтервал, а зменшення - збільшує інтервал і підвищує ризик «зривів» регулярності (злипання/«пачкування» руху, росту дисперсії інтервалів).

У відкритій публікації, сформованій на основі відповіді міської влади на запит, наведено структуру автобусного парку за формою власності: приватні перевізники мають 117 автобусів, з яких 84 задіяні в обслуговуванні маршрутів; комунальні підприємства мають 104 автобуси, з яких 95 працюють на маршрутах, а також 52 тролейбуси. Це дозволяє оцінити «коефіцієнт експлуатаційної готовності/використання» автобусного парку як частку ТЗ, що реально працюють на маршрутах: для приватних перевізників близько  $84/117 \approx 71,8\%$ , для комунальних автобусів близько  $95/104 \approx 91,3\%$ , сумарно для автобусів близько  $(84+95)/(117+104) \approx 81,0\%$  (розраховано за наведеними даними). Вищий рівень використання комунального автобусного парку зазвичай означає або кращу ремонтну/резервну дисципліну, або більш «жорсткі» вимоги до забезпечення планового випуску, що важливо для SLA з точки зору стабільності виконання графіка.

Окремо, для КП «Тернопільелектротранс» на офіційному сайті наведено показники на 2025 рік: автобусний рухомий склад - 30 одиниць, тролейбусний рухомий склад - 48 одиниць для перевезення та 1 технічний тролейбус. Це описує «ядро» міського комунального перевізника й підтверджує, що комунальна підсистема є змішаною (електротранспорт + автобуси), що зручно з позиції стійкості системи: за потреби можливі тимчасові компенсаційні заміни на окремих ділянках.

Офіційна публікація розкладів у Тернополі організована за принципом розділення «типів днів» щонайменше на робочі, суботу та неділю для кожного маршруту, що безпосередньо відповідає практиці планування попиту (пік/непік, робочі поїздки проти дозвіллевих). Це видно на сторінці з розкладами тролейбусних маршрутів, де для кожного маршруту надаються окремі файли розкладів на робочі/вихідні дні.

Показовою з погляду «елементів транспортної системи» є внутрішня структура самого розкладу, яка в документах містить операційні параметри випуску: «явка» (час виходу/готовності), «заїзд» (час повернення), кількість рейсів та тривалість зміни. На прикладі тролейбусного маршруту №2 видно, що для робочого дня у розкладі фіксуються ранні «явки» на рівні приблизно 05:47–05:57 та вечірні «заїзди» близько 20:06–20:11 (для відповідних «випусків»/груп), що формує каркас роботи маршруту в будній день. Для неділі/вихідного дня вказані «явки» на рівні приблизно 06:26–06:36, а «заїзди» сягають орієнтовно 21:17–21:22, тобто часовий профіль роботи може зміщуватися і перерозподілятися в межах доби залежно від типу дня. У KPI/SLA-логіці це важливо, тому що «інтервал» і «пунктуальність» мають оцінюватися відносно саме того планового профілю, який затверджений для конкретного типу дня.

Паралельно з «плановим» контуром розкладів функціонує інформаційний контур реального часу: відстеження руху транспорту інтегроване у сервіс «Де транспорт», який відображає автобуси і тролейбуси та перелік маршрутів, і використовується як інструмент поточного спостереження. Міська влада також комунікує можливість відстеження руху через застосунок «e-Тернопіль» у

розділі «Де транспорт», що підкреслює інституційну роль GPS-даних у керуванні перевезеннями.

У таблиці нижче узагальнено ключові кількісні параметри за категоріями підсистем, з фокусом на елементах транспортної системи (мережа - парк - випуск - графік - моніторинг). Числові показники використання розраховано на основі оприлюднених значень.

Таблиця 1.4 – ключові кількісні параметри за категоріями підсистем, з фокусом на елементах транспортної системи (мережа - парк - випуск - графік - моніторинг)

Категорія (елемент системи)	Маршрут на мережа (кількість маршрутів в)	Наявний парк (од.)	Фактично на маршрутах (од.)	Використання парку (оцінка)	Організація графіка (системна характеристика)
1	2	3	4	5	6
Тролейбусна підсистема (комунальний електротранспорт)	8 тролейбусних маршрутів в	52 тролейбуси (загалом по місту)	н/д (у відкритих даних не наведено «випуск» за період)	н/д	Офіційні розклади подані окремо для робочих/суботи/неділі; у документах фіксуються «явка/заїзд/кількість рейсів», що є основою диспетчерського контролю

Закінчення таблиці 1.4

1	2	3	4	5	6
Автобусна підсистема комунальних підприємств	36 автобусних маршрутів (мережа в цілому)	104 автобуси	95 автобусів	≈ 91,3 %	Графік задає планові відправлення/інтервали та випуск; комунальний сегмент характеризується високою часткою фактичного випуску, що стабілізує дотримання плану
Автобусна підсистема приватних перевізників	36 автобусних маршрутів (мережа в цілому)	117 автобусів	84 автобуси	≈ 71,8 %	Графік формується в межах маршрутної мережі міста; нижча частка випуску підвищує чутливість до відмов і «просідань» регулярності в піки
Автобуси загалом (комунальні + приватні)	36 автобусних маршрутів	221 автобус	179 автобусів	≈ 81,0 %	За середнім співвідношенням $\approx 179/36 \approx 5$ автобусів на маршрут (усереднено) інтервальна якість істотно залежить від нерівномірного розподілу випуску між коридорами та піковими годинами

Першоджерела для парку/випуску автобусів і тролейбусів, а також для складу маршрутної мережі наведені у відкритих публікаціях (структура парку за формою власності; перелік маршрутів у сервісі моніторингу; офіційні розклади та приклади їх структури).

Отримана картина підкреслює, що для Тернополя ключовими «важелями» підвищення якості є узгодження випуску з плановими інтервалами в пікові години, стабілізація регулярності на коридорах з найбільшим попитом і формалізація контролю через GPS-дані. Організаційно це означає, що KPI/SLA доцільно будувати як мінімум у розрізі категорій «тролейбус/автобус», «комунальний/приватний сегмент», «робочий день/вихідний», а також у розрізі часових вікон «пік/непік», оскільки саме ці зрізи відображають реальну структуру мережі, парку і графіка, які є базовими елементами транспортної системи.

#### **1.4 Вимоги до зупинок громадського транспорту при впровадженні показників KPI та SLA на основі GPS-даних для системи громадського пасажирського транспорту м. Тернополя**

У сучасних умовах цифровізації міського господарства система громадського пасажирського транспорту розглядається не лише як сукупність маршрутів і рухомого складу, а як складна інформаційно-керована транспортна система. Одним із ключових елементів цієї системи є зупинки громадського транспорту, функціональне значення яких істотно зростає при впровадженні підходів управління якістю перевезень на основі показників KPI (Key Performance Indicators) та договірних параметрів SLA (Service Level Agreement). У місті Тернополі, де значна частина пасажирських перевезень здійснюється автобусами та троллейбусами у змішаному транспортному потоці, саме зупинки стають базовими контрольними точками для оцінювання ефективності та стабільності роботи маршрутної мережі.

З позицій транспортних технологій зупинка громадського транспорту виконує одразу кілька взаємопов'язаних функцій: організацію пасажирообміну, забезпечення безпеки та комфорту очікування, а також формування просторово-часових опорних точок для диспетчерського управління рухом. При використанні GPS-даних зупинка фактично трансформується у «цифровий

маркер» маршрутно́ї мережі, відносно якого визначаються ключові параметри руху транспортних засобів. Це зумовлює необхідність формування чітких та формалізованих вимог до зупинок як до елементів системи вимірювання KPI та контролю виконання SLA.

Однією з базових вимог є точна просторово-географічна ідентифікація зупинки. Для коректного використання GPS-даних координати зупинки повинні бути визначені з високою точністю та закріплені у цифровій транспортній моделі міста. На практиці це означає створення геофенсу зупинки - просторової зони, в межах якої система фіксує факт прибуття та відправлення транспортного засобу. Невідповідність фактичного місця зупинки та її цифрового представлення призводить до помилок у визначенні часу прибуття, що безпосередньо впливає на показники пунктуальності та регулярності руху, які є ключовими KPI для міського транспорту.

У системі KPI зупинка виступає основною точкою вимірювання таких показників, як відхилення від розкладу, стабільність інтервалів руху, середній час стоянки та фактична тривалість рейсу. Для міста Тернополя, де на окремих ділянках маршрутів спостерігається підвищена затримка руху в години пік, саме аналіз даних по зупинках дозволяє ідентифікувати проблемні вузли транспортної мережі. Таким чином, вимоги до зупинок повинні забезпечувати не лише фізичну можливість посадки та висадки пасажирів, а й точність збору експлуатаційних даних.

Особливе значення при впровадженні SLA мають вимоги до інформаційного забезпечення зупинок. Наявність електронних інформаційних табло, що відображають прогнозований час прибуття транспорту на основі GPS-даних, формує прозорість виконання сервісних зобов'язань перед пасажирами. У межах SLA такі табло дозволяють безпосередньо демонструвати рівень дотримання обіцяного інтервалу руху та часу очікування. Для Тернополя це є особливо актуальним на пересадочних зупинках та зупинках у центральній частині міста, де сприймана якість сервісу значною мірою залежить від інформованості пасажирів.

Технічні вимоги до зупинок у KPI-орієнтованій системі громадського транспорту доцільно розглядати в комплексі з вимогами до інфраструктури зв'язку та енергозабезпечення. Для стабільної роботи електронних табло, сенсорного обладнання та систем відеоспостереження необхідне гарантоване електроживлення і захищені канали передачі даних. Відсутність таких елементів знижує надійність сервісу та унеможливорює виконання SLA щодо доступності інформації для пасажирів.

Таблиця 1.5 – Вимоги до зупинок громадського транспорту з позицій KPI та SLA наведено в таблиці, яка відображає функціональний зв'язок між інфраструктурними елементами та показниками якості перевезень

Інфраструктурний елемент зупинки	Функціональна роль у системі	KPI / SLA, на які здійснюється вплив
Точні координати та геофенс зупинки	Фіксація моментів прибуття і відправлення	Пунктуальність, регулярність, дотримання інтервалів
Посадковий майданчик нормативної ширини	Скорочення часу пасажирообміну	Середній час стоянки, час рейсу
Електронне інформаційне табло	Інформування пасажирів у реальному часі	Рівень сервісу, задоволеність пасажирів
Інфраструктура електроживлення і зв'язку	Безперервна робота обладнання	Надійність сервісу, доступність інформації
Елементи безбар'єрного доступу	Забезпечення інклюзивності	SLA доступності для маломобільних груп

Важливим аспектом є також вплив конструктивних та планувальних рішень зупинок на експлуатаційні KPI. Наявність кишень для заїзду автобусів

або виділених смуг громадського транспорту зменшує вплив загального транспортного потоку на тривалість стоянки та час прибуття. У випадку Тернополя це має особливе значення для магістральних вулиць з інтенсивним рухом, де затримки на зупинках можуть акумулюватися і призводити до порушення графіків на всьому маршруті.

Зупинка також виконує функцію контрольної точки виконання SLA між перевізником та органом місцевого самоврядування. Саме на рівні зупинок доцільно фіксувати такі показники, як відсоток рейсів, що прибули в межах допустимого відхилення від розкладу, середній час очікування пасажирів та кількість пропущених рейсів. GPS-дані, прив'язані до конкретних зупинок, дозволяють формувати об'єктивну та прозору систему моніторингу якості перевезень, що мінімізує суб'єктивні оцінки та спірні ситуації.

Окремої уваги заслуговують вимоги до безпеки та комфорту пасажирів на зупинках, які опосередковано впливають на KPI. Наявність освітлення, навісів, лавок та інформаційних вказівників підвищує привабливість громадського транспорту та сприяє зростанню пасажиропотоку. У довгостроковій перспективі це відображається на таких показниках, як середня заповнюваність рухомого складу та економічна ефективність маршрутів.

Таким чином, у системі громадського пасажирського транспорту м. Тернополя зупинки слід розглядати як багатофункціональні елементи транспортної та інформаційної інфраструктури. Їх технічне, інформаційне та просторове оснащення безпосередньо визначає можливість впровадження ефективної системи KPI та SLA на основі GPS-даних. Комплексний підхід до формування вимог до зупинок створює передумови для підвищення керованості транспортної системи, об'єктивного контролю якості перевезень та зростання довіри пасажирів до громадського транспорту міста.

## **1.5 Вимоги до обладнання транспортних засобів при впровадженні показників KPI та SLA на основі GPS-даних для системи громадського пасажирського транспорту м. Тернополя**

Ефективне впровадження системи управління якістю міських пасажирських перевезень на основі KPI та SLA неможливе без належного технічного оснащення рухомого складу. У сучасних умовах транспортний засіб виступає не лише засобом перевезення пасажирів, а й мобільним елементом інформаційно-вимірювальної системи, який у режимі реального часу формує масив експлуатаційних даних. Для міста Тернополя, де громадський транспорт функціонує в умовах змішаного руху та нерівномірного пасажиропотоку, вимоги до обладнання транспортних засобів мають бути орієнтовані на забезпечення достовірності GPS-даних, стабільності зв'язку та можливості подальшої аналітичної обробки інформації.

Ключовим елементом технічного оснащення транспортного засобу в системі KPI та SLA є GPS/ГНСС-трекер. Його основним призначенням є визначення просторово-часових координат руху з необхідною точністю та передача цих даних до диспетчерського центру. Саме на основі GPS-даних формуються такі показники, як пунктуальність прибуття на зупинки, дотримання інтервалів руху, фактична тривалість рейсів та швидкісні режими. Точність та стабільність роботи GPS-обладнання безпосередньо визначає об'єктивність оцінювання KPI та можливість контролю виконання SLA між перевізником і органом місцевого самоврядування.

Важливою вимогою є інтеграція GPS-трекера з іншими бортовими системами транспортного засобу. Зокрема, підключення до датчиків запалювання та відкриття дверей дозволяє більш точно визначати моменти початку та завершення рейсу, а також тривалість стоянки на зупинках. Це має принципове значення для розрахунку KPI, пов'язаних із часом стоянки та регулярністю руху. У контексті SLA такі дані використовуються для

оцінювання дотримання нормативного часу обслуговування пасажирів на зупинках.

Окремої уваги заслуговують вимоги до обладнання зв'язку. Передача GPS-даних повинна здійснюватися з мінімальними затримками, що забезпечує можливість оперативного диспетчерського управління та формування прогнозованого часу прибуття транспортних засобів. Для системи громадського транспорту м. Тернополя доцільним є використання мобільних каналів передачі даних із резервуванням, що підвищує надійність виконання SLA щодо доступності інформації та безперервності сервісу.

З позицій впровадження KPI важливим є також обладнання транспортних засобів бортовими обчислювальними модулями, які здійснюють попередню обробку даних. Такі модулі дозволяють фільтрувати похибки GPS-сигналу, синхронізувати часові мітки та формувати структуровані пакети даних для передачі на сервер диспетчерської служби. У результаті підвищується точність аналітичних показників і зменшується вплив випадкових збоїв на оцінювання якості перевезень.

Важливим елементом обладнання транспортних засобів є також системи візуального та інформаційного оповіщення пасажирів. Внутрішні інформаційні табло та аудіоінформатори, синхронізовані з GPS-даними, дозволяють автоматично оголошувати зупинки та інформувати пасажирів про хід рейсу. Хоча ці системи безпосередньо не впливають на розрахунок технічних KPI, вони формують показники сприйманої якості сервісу, які часто включаються до SLA у вигляді вимог до рівня інформованості пасажирів.

Таблиця 1.6 – Вимоги до обладнання транспортних засобів у межах KPI-та SLA-орієнтованої системи

Елемент обладнання транспортного засобу	Функціональне призначення	KPI / SLA, що підтримуються
GPS/ГНСС-трекер	Визначення координат та часу руху	Пунктуальність, регулярність, час рейсу
Датчики дверей та запалювання	Фіксація стоянок і початку рейсу	Середній час стоянки, дотримання розкладу
Модуль передачі даних	Онлайн-передача інформації диспетчеру	Надійність сервісу, доступність даних
Бортовий обчислювальний модуль	Попередня обробка та синхронізація даних	Точність KPI, стабільність аналітики
Пасажи́рські інформаційні системи	Інформування пасажирів під час руху	SLA рівня сервісу, задоволеність пасажирів

З експлуатаційної точки зору важливою вимогою є надійність і захищеність бортового обладнання. Умови міської експлуатації передбачають вплив вібрацій, перепадів температур, вологості та електромагнітних завад, що вимагає використання сертифікованих пристроїв із підвищеною стійкістю. Ненадійна робота обладнання призводить до втрати даних і, як наслідок, до неможливості об'єктивного контролю виконання KPI та SLA.

Таким чином, вимоги до обладнання транспортних засобів при впровадженні KPI та SLA на основі GPS-даних для системи громадського пасажирського транспорту м. Тернополя мають комплексний характер. Вони охоплюють точність визначення координат, стабільність передачі даних, інтеграцію з іншими бортовими системами та орієнтацію на підвищення рівня сервісу для пасажирів. Реалізація цих вимог створює технічну основу для прозорого та об'єктивного оцінювання якості перевезень, а також для підвищення ефективності управління міським громадським транспортом.



Щоб GPS-дані були безперервними, важливо не тільки “сам трекер”, а й інсталяційний комплект: джгут/кабель, роз’ємні з’єднання, кронштейни, захист ліній живлення та акуратне трасування проводки. У багатьох рішеннях (наприклад, CalAmp) виробники/інтегратори прямо демонструють комплект постачання (модуль, кабель/джгут, кріплення), який забезпечує коректний монтаж і зменшує ризик відмов у польових умовах. Приклад такого комплекту показано на другому зображенні.

Одного GPS часто недостатньо для коректного визначення “прибув/відбув”, бо в щільному трафіку координата може “стрибати”, а геофенс зупинки інколи дає похибку. Тому в робочих системах додають подійні сигнали: статус дверей (відкрито/закрито), запалювання, інколи - CAN-дані. Це дозволяє точніше визначати час фактичної стоянки на зупинці, час посадки/висадки і, відповідно, надійніше рахувати KPI розкладу та SLA інтервалів.

Якщо в KPI/SLA закладаються показники на кшталт заповнюваності, перевантаження, якості обслуговування у піки, потрібні датчики підрахунку пасажирів. Типовий монтаж - у зоні дверей (над дверним прорізом). На третьому зображенні показано приклад сенсора та ілюстрацію його застосування біля входу/дверей.

Відеоспостереження/MDVR як інструмент доказовості SLA та безпеки

Для SLA, що включають безпеку перевезень, інциденти, підтвердження фактів порушення режимів, а також для розслідувань скарг, застосовують бортовий відеореєстратор (MDVR) з камерами в салоні та зовнішніми камерами. У типових рішеннях MDVR інтегрується з GPS і каналом зв’язку (4G), що дозволяє корелювати події з місцем і часом. На четвертому зображенні наведено приклад схеми розміщення компонентів MDVR у автобусі.

Мінімально необхідний набір обладнання, щоб система працювала “повним циклом”

Для Тернополя як для міста зі змішаним рухом і варіативністю затримок критично, щоб “ланцюг даних” не рвався. Практично необхідний комплект на

один транспортний засіб формують так: бортовий GPS/ГНСС-трекер з 4G/LTE та SIM, прихований монтаж і надійне живлення, інтеграція з сигналами запалювання/дверей (а за можливості - з CAN), бортовий канал передачі даних (вбудований модем або окремий маршрутизатор), а також засоби, що підтримують сервісні SLA - пасажирські інформаційні пристрої (внутрішнє табло/аудіо), кнопка тривоги/зв'язок з диспетчером, і за потреби - MDVR та АРС.

Впровадження системи оцінювання якості роботи громадського пасажирського транспорту на основі KPI та SLA вимагає комплексного технічного оснащення рухомого складу. У межах такої системи транспортний засіб розглядається як активний елемент інформаційно-аналітичної інфраструктури, що забезпечує безперервне формування, передачу та первинну обробку експлуатаційних даних. Для міста Тернополя, де маршрути громадського транспорту проходять у складних умовах змішаного руху, вимоги до бортового обладнання повинні гарантувати достовірність даних, стійкість до зовнішніх впливів та можливість об'єктивного контролю виконання KPI і SLA.

Ключовим елементом системи є бортовий GPS/ГНСС-трекер, який забезпечує визначення координат транспортного засобу, швидкості руху та часових міток із подальшою передачею цієї інформації до диспетчерського центру. Саме на основі GPS-даних формуються базові показники KPI, зокрема пунктуальність прибуття на зупинки, дотримання інтервалів руху, фактична тривалість рейсу та середня експлуатаційна швидкість. Від точності та стабільності роботи GPS-обладнання безпосередньо залежить коректність оцінювання SLA між перевізником та органом місцевого самоврядування.

Для підвищення точності визначення подій руху GPS-трекер має бути інтегрований з датчиками стану транспортного засобу, насамперед датчиками запалювання та відкриття дверей. Така інтеграція дозволяє чітко фіксувати моменти початку і завершення рейсу, а також тривалість стоянки на зупинках. Це є критично важливим для розрахунку KPI, пов'язаних із регулярністю руху

та часом обслуговування пасажирів, і водночас слугує доказовою базою при контролі виконання SLA.

Обов'язковою складовою є бортовий канал передачі даних, що забезпечує безперервний обмін інформацією між транспортним засобом і диспетчерським центром у режимі реального часу. Для умов міської експлуатації доцільним є використання мобільних мереж із підтримкою резервування зв'язку, оскільки втрати або затримки даних безпосередньо знижують достовірність KPI та унеможливають оперативне диспетчерське реагування.

З метою підвищення аналітичної якості даних транспортні засоби можуть оснащуватися бортовими обчислювальними модулями, які виконують фільтрацію GPS-сигналу, синхронізацію часових міток та первинну агрегацію інформації. Це дозволяє зменшити вплив похибок позиціонування, характерних для щільної міської забудови Тернополя, та підвищити надійність розрахунку KPI.

У випадку, коли система KPI та SLA охоплює показники попиту та якості обслуговування, до складу обладнання доцільно включати датчики підрахунку пасажирів, що встановлюються в зоні дверей транспортного засобу. Дані таких датчиків дозволяють оцінювати рівень заповнюваності салону, перевантаження у пікові години та відповідність фактичного рівня сервісу встановленим SLA.

Для забезпечення безпеки перевезень і підвищення доказовості виконання SLA застосовуються бортові системи відеоспостереження (MDVR), інтегровані з GPS-даними. Поєднання відеоінформації з просторово-часовими координатами дозволяє об'єктивно аналізувати інциденти, підтверджувати факти порушень та розглядати звернення пасажирів.

Таким чином, мінімально необхідний склад бортового обладнання для впровадження KPI та SLA у громадському пасажирському транспорті м. Тернополя повинен забезпечувати безперервний цикл збору → передачі → обробки → аналізу даних. Комплексний підхід до оснащення транспортних засобів створює технічну основу для прозорого контролю якості перевезень,

підвищення ефективності диспетчерського управління та зростання довіри пасажирів до системи громадського транспорту.

Таблиця 1.6 – Характеристика обладнання транспортних засобів

Елемент обладнання	Дані, що формуються	KPI, що розраховуються	SLA, що контролюються
GPS/ГНСС-трекер	Координати, швидкість, час	Пунктуальність, регулярність, час рейсу	Дотримання розкладу
Датчики дверей і запалювання	Події зупинки, початок/кінець рейсу	Час стоянки, інтервали	Час обслуговування пасажирів
Канал передачі даних (4G/LTE)	Онлайн-потік даних	Актуальність KPI	Доступність сервісу
Бортовий обчислювальний модуль	Оброблені та синхронізовані дані	Точність KPI	Стабільність аналітики
Датчики підрахунку пасажирів	Потоки входу/виходу	Заповнюваність, пікові навантаження	Якість обслуговування
Система MDVR	Відео + координати	Безпека руху	Виконання SLA безпеки

## 1.6 Висновки та постановка завдань на кваліфікаційну роботу

Для досягнення поставленої мети в кваліфікаційній роботі необхідно дослідити особливості організації диспетчерського контролю міського автобусного маршруту №11 у місті Тернополі та виявити основні чинники, що впливають на регулярність і керованість руху. Необхідно розробити

математичну модель диспетчерського контролю маршруту, яка б враховувала параметри руху транспортних засобів, часові характеристики рейсів, відхилення від графіка та можливості оперативного реагування. Необхідно дослідити можливості використання GPS-даних для ідентифікації подій прибуття та відправлення транспортних засобів на зупинках громадського транспорту та розробити методику визначення таких подій на основі просторово-часових параметрів руху. Необхідно розробити алгоритми контролю відхилень транспортних засобів від установлених параметрів руху, а також сформулювати правила сповіщення диспетчера про критичні, допустимі та прогнозовані порушення роботи маршруту. Необхідно виконати розрахунок очікуваного ефекту від упровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху, оцінивши можливе підвищення регулярності перевезень, зменшення відхилень від графіка та покращення якості транспортного обслуговування пасажирів. Необхідно дослідити умови праці диспетчера та персоналу, що працює із системою GPS-моніторингу, з позицій безпеки життєдіяльності та охорони праці, визначити основні шкідливі й небезпечні виробничі чинники та запропонувати заходи щодо їх зниження. Необхідно проаналізувати особливості безпеки в надзвичайних ситуаціях у міських перевезеннях і визначити роль диспетчерської системи у своєчасному виявленні небезпек, координації дій персоналу та підвищенні стійкості функціонування транспортного процесу.

## 2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

### 2.1 Математична модель диспетчерського контролю маршруту №11 (м. Тернопіль)

Для забезпечення ефективного руху на міському автобусному маршруті №11 необхідно оптимізувати інтервал між відправленнями автобусів (головний параметр розкладу). Інтервал руху  $I$  визначає, скільки часу (у хвиликах) проходить між відправленнями послідовних автобусів. Оптимальний інтервал повинен враховувати інтенсивність пасажиропотоку: чим більше пасажирів очікує на зупинках, тим меншим має бути інтервал, аби зменшити час очікування і уникнути переповнення салонів. З іншого боку, занадто малий інтервал приводить до виходу зайвого транспорту і недовикористання його місткості. Таким чином, інтервал слід вибирати з урахуванням пікових навантажень та пропускної спроможності автобусів.

Виходячи з необхідної пропускної здатності маршруту, можна пов'язати інтервал  $I$  з максимальним годинним пасажиропотоком  $Q_{max}$  (пасажирів/год) та місткістю автобуса  $q_{вм}$  (пасажирів). Якщо один автобус за годину може перевезти не більше  $q_{вм} \times 60 / T_{об}$  пасажирів (де  $T_{об}$  – тривалість повного оборотного рейсу, хвилин), то для обслуговування потоку  $Q_{max}$  необхідно підтримувати інтервал не більше певного значення. З формули балансу перевезень випливає умова:

$$I \approx \frac{60 \cdot q_{вм}}{Q_{max}}, \quad (2.1)$$

що є оцінкою максимально допустимого інтервалу (в хвиликах) для перевезення  $Q_{max}$  пасажирів за годину без перевищення місткості автобусів. Наприклад, якщо в годину пік на маршруті №11 потік становить  $Q_{max}=800$  пас/год, а автобуси середнього класу вміщують  $q_{вм}=80$  осіб, то орієнтовний інтервал має бути не більше  $I=(60 \cdot 80)/800=6$  хвилин.

В загальному випадку інтервал руху пов'язаний з кількістю автобусів  $A$  на лінії та тривалістю оборотного рейсу  $T_{об}$ . Математично:

$$I = T_{об}/A \quad (2.2)$$

Звідси видно, що збільшення числа автобусів  $A$  (при фіксованому часу рейсу) дозволяє пропорційно зменшити інтервал руху. В реальних умовах для маршруту №11 (кінцеві: вул. О. Довженка – Обласна психоневрологічна лікарня) загальна довжина становить близько 17,4 км, а повний рейс триває приблизно 66 хвилин. На практиці в будні дні рекомендується випускати  $\sim 3$  автобуси на цей маршрут, що відповідає інтервалу близько  $I=66/3 \approx 22$  хв (фактично 16–17 хв у години пік). У години найбільшого попиту інтервал руху скорочується до  $\sim 10$  хвилин, тоді як у міжпіковий період збільшується до  $\sim 15$ – $20$  хв. Такий гнучкий графік відображає коливання пасажиропотоку: в ранковий (7:00–9:00) та вечірній (16:00–19:00) піки автобуси курсують частіше (менший  $I$ ), а вдень після ранкової години пік – рідше (більший  $I$ ).

Критерієм оптимізації інтервалу може служити мінімізація сумарних витрат часу пасажирів на очікування та поїздки при обмеженні місткості та кількості рухомого складу. Середній час очікування на зупинці приблизно дорівнює половині інтервалу  $t_{очікув}^{сер} \approx I/2$ . Тому скорочення  $I$  зменшує час очікування пасажирів, але водночас вимагає більшої кількості рейсів. Формально можна ввести цільову функцію, що враховує час очікування пасажирів і, наприклад, витрати на експлуатацію автобусів. Хай  $C_{оч}$  – умовна «вартість» години очікування пасажирів (у людино-годинах),  $C_{рейс}$  – вартість одного рейсу автобуса. Якщо середній пасажиропотік  $\lambda$  (пас./год) в певний час доби, то сумарні витрати за годину можна оцінити:

$$Z(I) = C_{оч} \cdot \lambda \frac{I}{2} + C_{рейс} \cdot \frac{60}{I} \quad (2.3)$$

Мінімізуючи цю функцію за  $I$  (прирівнянням похідної до нуля), можна отримати аналітичний вираз оптимального інтервалу  $I_{opt}$ . Втім, на практиці дані для точного обчислення можуть бути відсутні, тому зазвичай використовують емпіричні нормативи та результати обстеження пасажиропотоків. Для маршруту №11 у Тернополі розклад руху було складено на основі замірів пасажиропотоку по годинах доби, що підтвердило доцільність інтервалів  $\sim 10$  хв в години пік та  $\sim 15\text{--}20$  хв у непіковий час. Оптимізація інтервалу полягає у виборі найменшого  $I$ , який все ще дозволяє кожному рейсу вмістити потік без перевантаження автобуса (враховуючи  $q_{em}$  та без простою транспорту).

Запізненням автобуса  $\Delta t$  назвемо відхилення фактичного часу прибуття/відправлення від запланованого (графікового) часу. Для  $i$ -го рейсу на  $j$ -тій зупинці запізнення можна формально визначити як:

$$\Delta t_{i,j} = t_{ij}^{(\text{факт})} - t_{ij}^{(\text{графік})}, \quad (2.4)$$

де  $t_{ij}^{(\text{факт})}$  – реальний час прибуття (або відправлення),  $t_{ij}^{(\text{графік})}$  – час за розкладом. Позитивне  $\Delta t_{ij}$  означає відставання від графіка (рейс запізнився), а негативне – випередження графіка. Задачею диспетчерського контролю є мінімізація запізнень, тобто підтримання  $\Delta t_{ij} \approx 0$  для всіх рейсів і зупинок, забезпечуючи рівномірність інтервалів по факту.

На маршруті №11 можливі відхилення від графіка через коливання дорожніх умов та нерівномірність пасажиропотоку. Зокрема, проїзд через центральну частину міста (ділянка вул. Руська – Центральний ринок) під час заторів може займати більше часу, ніж у розкладі, що призводить до ланцюгового ефекту запізнень наступних зупинок. За спостереженнями, у зимовий період через погодні умови автобуси №11 можуть затримуватися на 5–10 хв у години пік. Влітку рух стабільніший (менше затримок) завдяки зниженню трафіку на канікулах. Крім того, нерівномірний пасажиропотік (наприклад, різко

більше пасажирів на зупинці “Центр” у певні години) збільшує час посадки/висадки і теж може викликати запізнення.

Для математичного опису можна ввести критерій регулярності руху, наприклад, мінімізувати квадрати відхилень по маршруту:

$$J = \sum_{i,j} (\Delta t_{ij})^2 \rightarrow \min \quad (2.5)$$

Диспетчерська система відстежує місцеположення автобусів (через GPS-моніторинг) і порівнює  $\Delta t_{ij}$  з допустимими значеннями. Якщо запізнення перевищує певний поріг, застосовуються регулюючі дії: скорочення інтервалу до наступного рейсу, перенесення часу відправлення наступних автобусів або введення резервного автобуса. У рамках моделі можна вважати, що диспетчер встановлює коригування  $\delta t_i$  для інтервалу перед відправленням  $i$ -го автобуса, залежно від запізнення попереднього. Прості правила регулювання мають вигляд:

$$\delta t_i = -k \Delta t_{i-1} \quad (2.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт реагування (наприклад,  $0 < k < 1$ ). Така формула означає: якщо попередній автобус запізнився на  $\Delta t_{i-1} > 0$  хв, то інтервал до наступного рейсу зменшують на  $k \Delta t_{i-1}$  (тобто наступний автобус вирушає швидше, скорочуючи розрив). Це допомагає «наздогнати» графік та вирівняти інтервали. У реальних умовах подібне регулювання здійснюється через команди диспетчера водіям або автоматичною системою. Наприклад, на кінцевій зупинці диспетчер може скоротити час відстою запізненого автобуса перед наступним рейсом.

Ще один спосіб мінімізувати запізнення – закладання резерву часу в розкладі. Якщо відомо, що на окремих ділянках маршруту можливі затримки, до планового часу проходження додають резерв  $t_{рез}$ . Математично: якщо середній час проїзду між двома ключовими зупинками становить  $\tau$ , а максимальне відхилення –  $\delta_{max}$ , можна призначити графіковий час  $\tau_{гр} = \tau + \theta \delta_{max}$  (де  $0 < \theta < 1$  –

частка від максимального запізнення, яка компенсується резервом). Це дозволяє поглинати більшість флуктуацій без зриву графіка. На маршруті №11, зокрема, в розклад закладено додаткові 2–3 хвилини на кінцевих зупинках («вул. Довженка» та «Обл. психоневрологічна лікарня») для забезпечення своєчасного відправлення згідно графіка (резерв на випадок прибуття з запізненням).

**Регулярність руху.** Показником якості диспетчерського контролю є коефіцієнт регулярності  $R$ , який розраховується як відношення фактичної кількості рейсів, виконаних вчасно, до планової кількості рейсів. Метою є  $R \rightarrow 1$ , тобто максимум рейсів без відхилень. Завдяки впровадженню GPS-контролю і системі «Dozor City» у Тернополі, диспетчери в режимі реального часу відстежують автобуси №11 і можуть оперативно реагувати на відхилення, що значно підвищує регулярність руху. Як наслідок, попри можливі затори на вул. Руській чи бульварі Просвіти, інтервали між автобусами №11 коливаються незначно – пасажир не чекає набагато довше запланованого ( $\sim \pm 2-3$  хв у більшості випадків).

Визначення оптимальної кількості автобусів  $A$  на маршруті тісно пов'язане з інтервалом руху та пасажиропотоком. З одного боку,  $A$  повинно бути достатнім для виконання розкладу з заданим інтервалом. З іншого боку,  $A$  має забезпечувати перевезення максимуму пасажирів без перевантаження. Аналітично необхідну кількість автобусів можна розрахувати за формулою:

$$A = \frac{Q_{max} \cdot T_{об}}{60 \cdot q_{вм}} \quad (2.7)$$

де  $Q_{max}$  – максимальний пасажиропотік за годину (пас./год) в одному напрямку,  $T_{об}$  – час повного оборотного рейсу (хв),  $q_{вм}$  – номінальна пасажиромісткість одного автобуса (пасажирів). Формула відображає інтуїтивне правило: вона рахує, скільки автобусо-годин роботи потрібно для перевезення  $Q_{max}$  пасажирів (чисельник), і ділить на пасажиро-годину, яку забезпечує один автобус (знаменник). Результат слід округлити в більший бік до цілого числа, оскільки кількість автобусів не може бути дробовою.

### Приклад розрахунку для маршруту №11.

За офіційними даними, на маршруті №11 середня тривалість рейсу  $\sim 66$  хв (1,1 год). Припустимо, що максимальний потік  $Q_{max}$  становить 800 пас./год (оцінка для годин пік), а автобуси – середнього класу на  $\sim 80$  місць. Тоді за формулою (2.7):

$$A = 800 \cdot 66 \cdot 80 \approx 528000 / 4800 = 11 \text{ автобусів.}$$

Отримане значення  $A=11$  відповідає інтуїтивним спостереженням: у години пік на маршрут №11 виходить близько 10–12 машин. В інші періоди доби фактична кількість задіяних автобусів може бути меншою (частина може перебувати в резерві або на технічних перервах). Зокрема, у вихідні дні для меншого пасажиропотоку достатньо  $\sim 8$ –9 автобусів.

Також можна перевірити відповідність інтервалу: якщо  $A=11$  і  $T_{об}=66$  хв, то за формулою (2.1) отримаємо  $I=66/11=6$  хв – тобто потенційно можливий інтервал 6 хв у годину пік при випуску 11 автобусів. Фактично ж мінімальний інтервал, що застосовується,  $\sim 7$ –10 хв, оскільки реальний  $Q_{max}$  може бути меншим або нерівномірним по різних ділянках маршруту.

В загальному випадку алгоритм визначення  $A$  такий:

**За розкладом.** Обчислюємо мінімальну кількість автобусів  $A_1 = \lceil T_{об} / I_{план} \rceil$ , необхідну для підтримання заданого інтервалу  $I_{план}$ .

**За пропускною здатністю.** Обчислюємо  $A_2$  за формулою (2.7) на основі прогнозованого максимального потоку  $Q_{max}$ .

Обираємо  $A = \max(A_1, A_2)$ .

Для маршруту №11 за нормативними рекомендаціями мінімально достатня кількість рухомого складу – 3 автобуси (при інтервалі  $\sim 16$ –17 хв), але для забезпечення комфортного перевезення пасажирів у піки фактично задіюється більше машин (до 10–12). Таким чином, модель диспетчерського контролю передбачає збільшення  $A$  у години підвищеного попиту та зменшення у години спаду – це реалізовано через різний випуск на лінію в будні і вихідні, а також через залучення резервних автобусів за потреби.

**Оцінка пасажиропотоку між ключовими зупинками**

Маршрут №11 пролягає через кілька ключових вузлів міста, які генерують основний пасажиропотік. На схемі руху він охоплює густонаселені житлові масиви на сході Тернополя (мікрорайон «Аляска», вул. Довженка) та з'єднує їх із центральною частиною міста, проходячи через великий вузол «Центр» (поблизу Центрального ринку та Театрального майдану) і далі до районів поблизу обласної лікарні та психоневрологічної лікарні. Таким чином, основними зупинками, між якими відбувається найбільший пасажиропотік, є:

- вул. О. Довженка (м-рн «Аляска», початок маршруту) – відправна зупинка у житловому масиві, де багато мешканців починають поїздки;
- Центральний ринок / Театральний майдан (центр міста) – середина маршруту, найважливіший пересадочний вузол; тут значна частина пасажирів виходить і заходить;
- вул. Руська (центр) – ділянка поблизу головних установ і ринків, де спостерігається пікове завантаження транспорту;
- Обласна лікарня / Парк Здоров'я – зупинки в медичному кластері міста, генерують стабільний потік (медпрацівники, відвідувачі);
- Обласна психоневрологічна лікарня (кінцева) – кінцевий пункт призначення маршруту, куди прямує специфічний потік (медперсонал, пацієнти та відвідувачі), менший за обсягом ніж центральний.

За даними управління транспорту, автобус №11 є одним з топ-5 найпопулярніших маршрутів міста. В середньому за день він перевозить понад 9 тисяч пасажирів. Пасажиропотік розподіляється нерівномірно по ділянках: найбільше навантаження припадає на відрізок через центр міста (між зупинками «Центральний ринок» – «вул. Руська»), де сходяться пасажири з різних районів. Близько половини всіх поїздок пов'язано з центральною зоною – багато мешканців мікрорайону «Аляска» їдуть саме до ринку, університетів чи установ у центрі, а ввечері повертаються назад. Це підтверджується тим, що маршрут №11 суттєво розвантажує центральні магістралі в години пік, перевозючи мешканців з віддалених районів напряму до центру.

Для оцінки пасажиропотоків між конкретними зупинками використовуються дані GPS-та білетної статистики, а також опосередковано можуть застосовуватися дані Google Maps (наприклад, щодо завантаженості доріг на різних відрізках маршруту). За допомогою Google Maps можна отримати приблизний час поїздки між ключовими точками. Так, від початкової зупинки “вул. Довженка” до центру (Центральний ринок) автобус №11 їде близько 15–20 хв у стандартних умовах (відстань ~4–5 км), а від центру до кінцевої (психоневрологічна лікарня) – ще близько 15 хв. Таким чином, повний рейс (~8–9 км) триває ~30–35 хв без врахування затримок, що збігається з офіційними ~35–40 хвилин у години непікового руху. У години пік, коли на центральних вулицях виникає уповільнення руху, тривалість рейсу зростає до ~40–45 хв.

Знаючи середній час проїзду між зупинками і кількість пасажирів, що сідають/виходять, можна побудувати матрицю пасажиропотоків для маршруту. Наприклад, для спрощеної схеми розглянемо три сегменти маршруту №11:

- від мікрорайону Аляска (вул. Довженка) до Центру (Центральний ринок).
- від Центру до Обласної лікарні.
- від Обласної лікарні до психоневрологічної лікарні (кінцева).

На першому сегменті в ранковий пік спостерігається максимальний пасажиропотік – до 40–50% від загального (мешканці їдуть на роботу, навчання). На другому сегменті частина пасажирів виходить у центрі, але додаються інші, що прямують до лікарень чи навчальних закладів далі по маршруту; цей сегмент має близько 30% від загального потоку. Останній сегмент (до кінцевої лікарні) акумулює вже меншу частку – близько 20% пасажиропотоку (специфічні поїздки до лікувального закладу). Звичайно, ці цифри змінюються протягом дня: у вечірній час напрям руху пасажирів протилежний (центр → спальні райони), і знову найнавантажениший відрізок – від центру до мікрорайону «Аляска».

Отримані оцінки узгоджуються з загальнодоступною інформацією: найбільш завантаженими зупинками маршруту №11 називаються Центральний ринок та ділянка на вул. Руській (центр), а денний пасажиропотік обчислюється тисячами осіб. Таким чином, математична модель маршруту обов’язково

враховує вузлові точки – центр міста та великі житлові масиви – при оптимізації інтервалів і графіка. Ці точки генерують пікові навантаження, тому саме між ними інтервали руху мають бути мінімальними, а кількість автобусів – достатньою для перевезення максимального потоку без затримок. Модель диспетчерського контролю використовує зазначені аналітичні залежності для проектування розкладу та оперативного управління рухом, забезпечуючи мінімальний час очікування, відсутність значних запізнень та достатню пропускну здатність маршруту №11 у реальних умовах міста Тернополя.

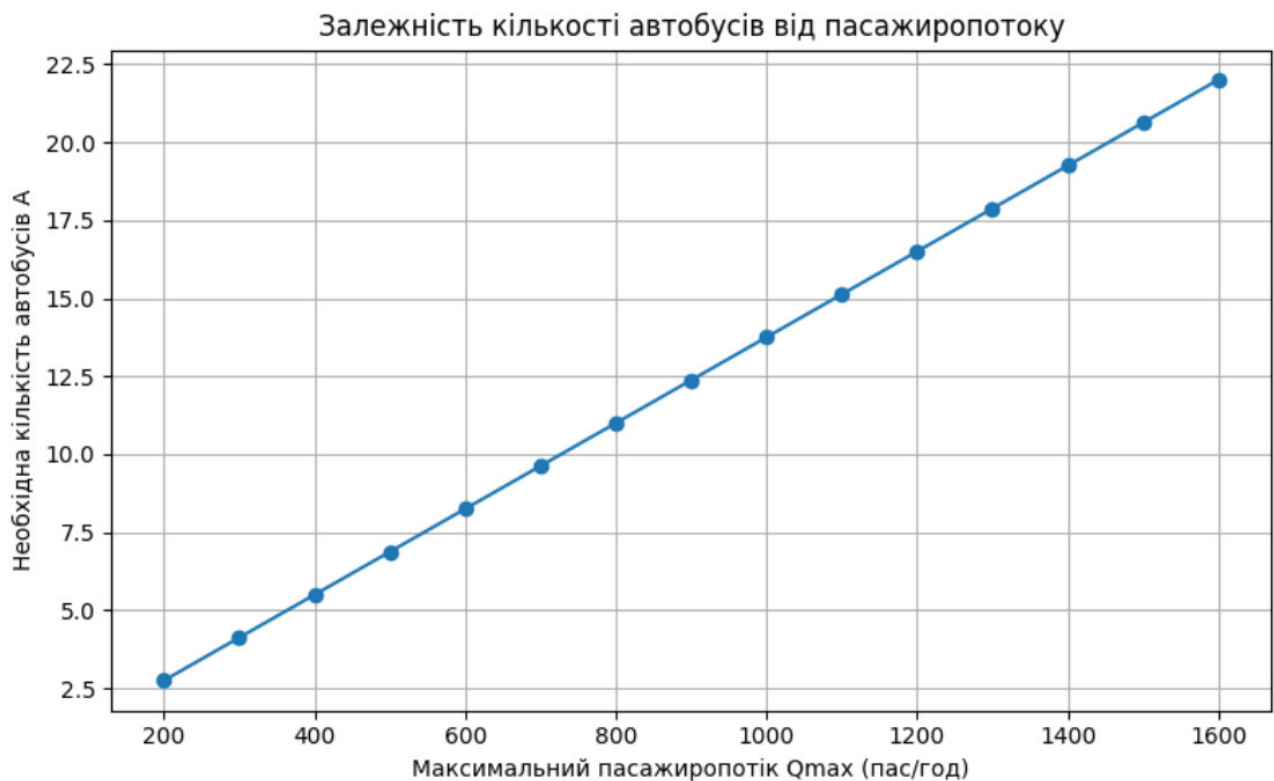


Рисунок 2.1 –

На графіку показано, як змінюється необхідна кількість автобусів  $A$  залежно від максимального пасажиропотоку  $Q_{max}$  за годину.

## 2.2 Методика визначення подій «прибуття/відправлення» транспортних засобів на зупинках громадського транспорту за GPS-даними

Ефективність систем диспетчерського контролю, оцінювання показників пунктуальності, регулярності руху та виконання договірних рівнів сервісу безпосередньо залежить від точності визначення фактичних моментів прибуття і відправлення транспортних засобів на зупинках маршруту. Первинним джерелом інформації в сучасних умовах є телематичні дані супутникового позиціонування, що формують часово-просторовий трек руху транспортного засобу. Проте GPS-сигнал має похибку координат, нерівномірність дискретизації та спотворення в умовах щільної міської забудови, що унеможлиблює пряме використання сирих координат для фіксації подій. З огляду на це формується формалізована методика оброблення треку, заснована на використанні геозон зупинок, правил входу та виходу, часових порогів і фільтрації аномальних ситуацій.

У межах міста Тернополя, де характерними є вузькі вулиці історичного центру, перехрестя з регульованим рухом та локальні затори поблизу зупинок, застосування лише просторового критерію (наближення до точки зупинки) призводить до значної кількості хибних спрацьовувань. Тому методика повинна одночасно враховувати просторові, часові та швидкісні параметри.

Формально GPS-трек транспортного засобу подається у вигляді впорядкованої послідовності вимірів

$T$  дорівнює множині елементів з координатами  $x$ ,  $y$ , часовою міткою  $t$  та швидкістю  $v$ .

Кожна зупинка маршруту описується центром з координатами  $x_c$ ,  $y_c$  та радіусом геозони  $r$ .

Відстань від транспортного засобу до центру зупинки визначається як  $d$  дорівнює квадратному кореню з суми квадратів різниць координат.

Подія входу в зону фіксується, якщо виконується умова  $d$  менше або дорівнює  $r$ .

Подія перебування вважається зупинкою, якщо одночасно виконується час перебування  $\tau$  більше або дорівнює  $t_{\text{мін}}$  та середня швидкість  $v_{\text{сер}}$  не перевищує  $v_{\text{пор}}$ .

Час прибуття визначається як перший момент перетину межі геозони, а час відправлення – як момент остаточного виходу із зони після завершення стоянки.

У практичній реалізації для умов міського руху Тернополя доцільно приймати радіус геозони в межах двадцяти–тридцяти метрів, мінімальний час фіксації стоянки десять–п'ятнадцять секунд, граничну швидкість три–п'ять кілометрів за годину. Такі значення компенсують похибки позиціонування та забезпечують стійкість алгоритму до короткочасних коливань сигналу.

Нижче наведено узагальнену структурну логіку алгоритму визначення подій.

Таблиця 2.1 – Послідовність оброблення GPS-треку

<b>Етап</b>	<b>Зміст операції</b>	<b>Результат</b>
Попередня фільтрація	усунення стрибків координат, інтерполяція пропусків	згладжений трек
Просторовий аналіз	перевірка належності точки до геозони	подія входу або виходу
Часовий аналіз	підрахунок тривалості перебування	кандидат на зупинку
Швидкісний аналіз	контроль малої швидкості	підтверджена стоянка
Класифікація	віднесення до прибуття або відправлення	зупинкова подія

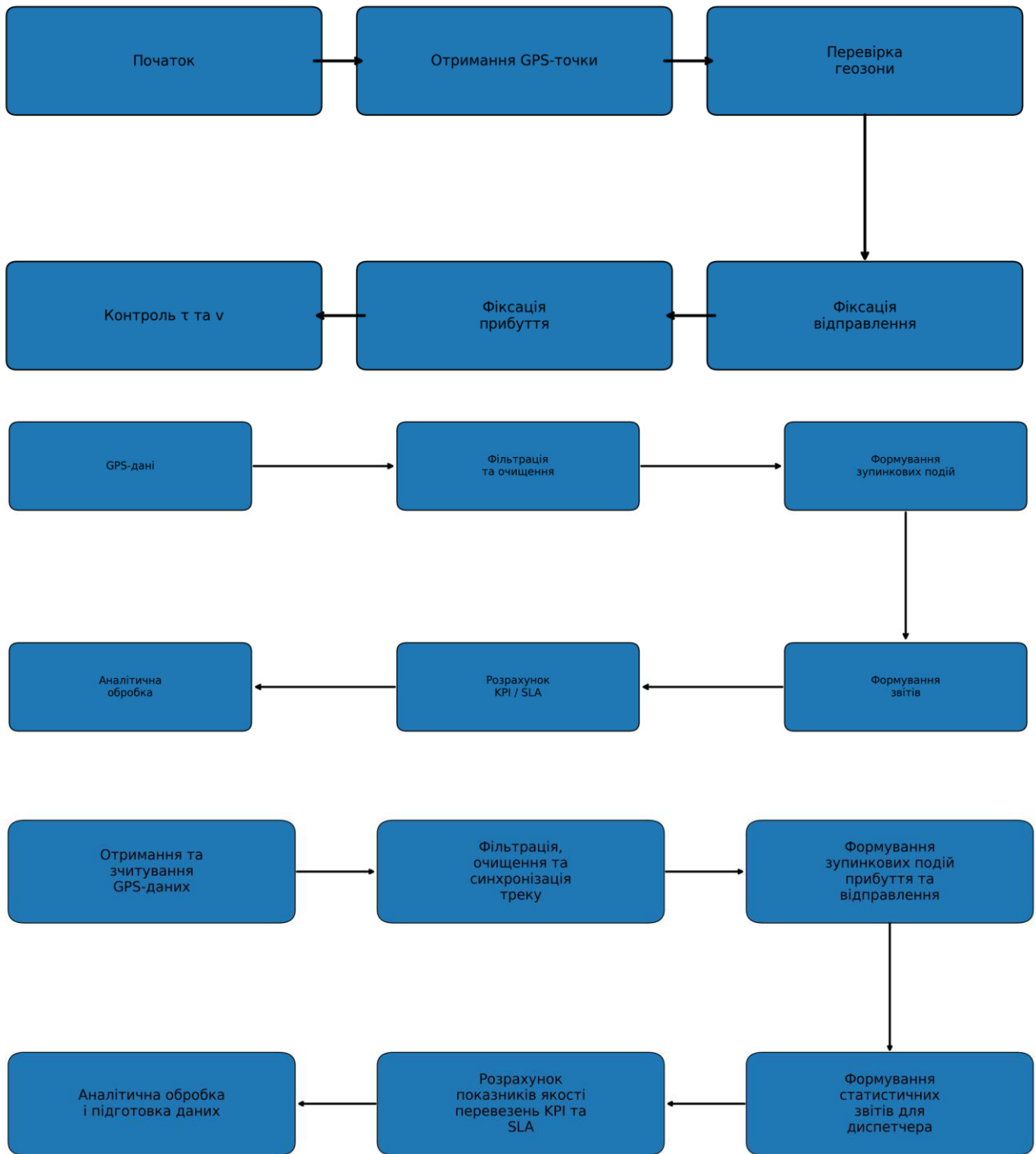


Рисунок 2.2 – Алгоритми формування подій

Окремої уваги потребує обробка нетипових ситуацій. Якщо транспортний засіб проходить зупинку без посадки пасажирів, тривалість перебування у зоні є меншою за встановлений поріг, тому подія класифікується як «проїзд повз» і не враховується у статистиці пунктуальності. Якщо ж автомобіль стоїть у заторі біля зупинки, але з віддаленням від посадкового майданчика, геозона не

активується, що запобігає помилковій реєстрації. Для підвищення достовірності додатково може застосовуватись аналіз напрямку руху та зіставлення з картою траси маршруту.

Таблиця 2.2 – Класифікація ситуацій у зоні зупинки

<b>Умова</b>	<b>Тривалість</b>	<b>Швидкість</b>	<b>Рішення</b>
Коротке проходження	мала	висока	проїзд повз
Стоянка з посадкою	достатня	близька до нуля	зупинка
Затор поруч із зоною	велика	мала	ігнорується
Маневрування на перехресті	середня	змінна	додаткова перевірка

Результатом застосування описаної методики є формування стандартизованого набору «зупинкових подій», який для кожного рейсу містить ідентифікатор транспортного засобу, номер маршруту, код зупинки, час прибуття та час відправлення. Саме ці події слугують первинними даними для подальших розрахунків показників пунктуальності, регулярності інтервалів руху, середнього часу стоянки, а також для оцінювання виконання KPI та SLA системи громадського транспорту.

Поєднання геопросторового моделювання з часовими та швидкісними критеріями забезпечує формування достовірної та відтворюваної інформаційної бази, необхідної для диспетчерського управління перевезеннями у міських умовах, зокрема в транспортній мережі м. Тернополя.

## 2.3 Алгоритми контролю відхилень і правила сповіщення

Ефективність диспетчерського контролю міських пасажирських перевезень значною мірою визначається не лише наявністю навігаційних даних про рух транспортних засобів, а й якістю алгоритмів, за допомогою яких ці дані перетворюються на зрозумілі для диспетчера сигнали про порушення в роботі маршруту. У реальних умовах експлуатації недостатньо лише фіксувати координати транспортного засобу, швидкість та час надходження повідомлень. Необхідно створити систему правил, яка б дозволяла своєчасно виявляти відхилення від встановленого режиму руху, відокремлювати реальні порушення від випадкових похибок даних та формувати для диспетчера обґрунтовані рекомендації щодо подальших дій.

Основне призначення алгоритмів контролю полягає в автоматичному виявленні подій, що погіршують регулярність і надійність перевезень. До таких подій належать раннє або пізнє проходження контрольних точок відносно розкладу, невиконання рейсу, порушення планового інтервалу руху, надмірне зближення транспортних засобів одного маршруту, а також надмірний простій. Для кожного з цих випадків повинні бути встановлені чіткі умови спрацювання: порогове значення, логіка підтвердження події, рівень важливості сповіщення та рекомендована дія диспетчера. Саме такий підхід забезпечує впорядковану роботу диспетчерської служби та запобігає перевантаженню оператора зайвими повідомленнями.

Загальна логіка роботи системи контролю включає кілька послідовних етапів. Спочатку до системи надходять навігаційні дані від транспортних засобів. Далі виконується прив'язка кожного транспортного засобу до конкретного маршруту, напрямку руху та рейсу. Після цього визначається його поточний стан, тобто чи перебуває він у русі, на зупинці, на кінцевому пункті або поза маршрутом. На наступному етапі фактичні параметри порівнюються з плановими значеннями, після чого система перевіряє, чи має відхилення стійкий характер. Лише за наявності підтвердження формується службове або аварійне

сповіщення для диспетчера. Така багатоступенева логіка необхідна для зниження кількості хибних тривог, що можуть виникати внаслідок короткочасного зникнення зв'язку, неточного визначення місцеположення або випадкових затримок передавання даних.

Одним із найважливіших завдань системи є виявлення відхилення від графіка руху. Для цього фактичний час проходження контрольної точки або прибуття на зупинку порівнюється з часом, передбаченим розкладом. Якщо транспортний засіб проходить контрольну точку раніше від нормативного часу, має місце раннє відхилення. Якщо він прибуває пізніше, фіксується запізнення. У міських перевезеннях раннє відхилення є особливо небажаним, оскільки пасажир, який прибуває на зупинку відповідно до розкладу, може не встигнути на транспортний засіб. Запізнення також негативно впливає на якість перевезень, однак його причиною часто є дорожня обстановка, тому логіка реагування в цьому випадку дещо інша.

Доцільно приймати, що раннє відхилення виникає тоді, коли транспортний засіб випереджає графік більш ніж на одну хвилину на проміжних зупинках і більш ніж на дві хвилини на кінцевих або вузлових пунктах. Пізнє відхилення доцільно фіксувати за запізнення більш ніж на три хвилини на маршрутах із жорстким розкладом або більш ніж на п'ять хвилин на маршрутах, де головним контрольованим параметром є інтервал руху. Водночас сповіщення не повинно формуватися після одноразового перевищення порога. Для підтвердження події необхідно, щоб відхилення спостерігалось щонайменше на двох суміжних контрольних точках або зберігалось протягом не менше півтори-двох хвилин. Якщо йдеться про раннє проходження, таке порушення слід віднести до подій високої важливості, оскільки воно безпосередньо порушує доступність перевезень для пасажирів. У цьому разі рекомендована дія диспетчера полягає в наданні водієві вказівки щодо витримки часу на найближчій контрольній зупинці або щодо зменшення темпу руху в межах безпечного режиму. У випадку запізнення диспетчер має з'ясувати причину відставання, оцінити дорожню ситуацію та за потреби скоригувати подальший рух транспортного засобу.

Не менш важливою є своєчасна фіксація невиконання рейсу. Це порушення є одним із найкритичніших, оскільки фактично означає відсутність транспортного обслуговування у певному часовому проміжку. Ознаками такого порушення можуть бути відсутність навігаційного сліду після планового початку рейсу, відсутність подій проходження початкових контрольних точок або відсутність вибуття транспортного засобу з кінцевого пункту відправлення. Практично доцільно вважати, що ознака невиконання рейсу виникає тоді, коли протягом трьох-п'яти хвилин після запланованого початку руху від транспортного засобу не надходить жодного достовірного повідомлення або не фіксується жодної події початку рейсу. Однак перед остаточним формуванням сповіщення система повинна перевірити, чи не пов'язана така ситуація з технічною затримкою передавання даних або короткочасним зникненням зв'язку. Для цього протягом додаткових двох-трьох хвилин виконується повторна перевірка наявності будь-яких ознак руху. Якщо рейс так і не розпочато, формується сповіщення найвищого рівня важливості. У цьому випадку диспетчер повинен негайно встановити зв'язок із водієм, з'ясувати причину невиходу на лінію та, за можливості, організувати заміну транспортного засобу або вжити інших заходів для відновлення перевезень.

На маршрутах із частим рухом транспортних засобів важливим є контроль інтервалу руху. У такій системі перевезень для пасажирів часто важливішим є не дотримання точного часу прибуття за розкладом, а збереження стабільного проміжку між послідовними транспортними засобами. Тому система повинна постійно визначати фактичний інтервал між сусідніми транспортними засобами в обраній контрольній точці та порівнювати його з нормативним значенням. Для практичного застосування доцільно задавати верхню та нижню межі допустимого інтервалу. Наприклад, за планового інтервалу десять хвилин нижню межу можна прийняти на рівні семи-восьми хвилин, а верхню — дванадцяти-тринадцяти хвилин. Якщо фактичний інтервал стає меншим за нижню межу, це свідчить про небажане зближення транспортних засобів. Якщо

ж він перевищує верхню межу, це означає утворення розриву в обслуговуванні пасажирів.

Для уникнення хибних тривог порушення інтервалу повинно мати підтвердження. Разове відхилення в одній точці ще не завжди означає стійкий збій, тому система повинна вимагати повторного підтвердження на наступній контрольній ділянці або збереження порушення протягом часу, що становить не менше половини нормативного інтервалу. Перевищення верхньої межі інтервалу слід вважати подією високої важливості, оскільки воно безпосередньо призводить до збільшення часу очікування пасажирів. Порушення нижньої межі інтервалу має середню або високу важливість залежно від ступеня відхилення. У першому випадку диспетчер може скоригувати рух наступного транспортного засобу, зменшити простій на кінцевому пункті або задіяти резерв. У другому випадку можливе застосування регламентованої витримки часу для одного з транспортних засобів з метою відновлення рівномірності руху.

Особливим випадком порушення інтервалу є надмірне зближення транспортних засобів одного маршруту, коли вони починають рухатися майже разом. Це явище суттєво знижує якість перевезень, оскільки одна частина маршруту отримує надлишкову кількість транспортних засобів, тоді як на іншій частині формується тривалий часовий розрив. Для виявлення такого порушення доцільно використовувати дві взаємодоповнювальні ознаки. Перша ознака — це зменшення фактичного інтервалу між двома транспортними засобами до двадцяти п'яти — сорока відсотків від нормативного значення. Друга ознака — це просторове зближення транспортних засобів на маршруті до відстані менше трьохсот — п'ятисот метрів у межах міської забудови. Водночас система не повинна реагувати на короткочасне зближення, що могло виникнути через роботу світлофора або локальний затор. Тому підтвердження події доцільно виконувати лише тоді, коли така ситуація спостерігається протягом двох-трьох зупинок або зберігається не менше трьох-п'яти хвилин.

Подія надмірного зближення має високий рівень важливості, особливо в години найбільшого пасажиропотоку, коли вона може спричинити каскадне

погіршення роботи маршруту. У такій ситуації диспетчер повинен вжити активних заходів щодо розведення транспортних засобів у часі. Одному з водіїв може бути передана вказівка витримати додатковий час на контрольній зупинці або кінцевому пункті, а іншому — продовжити рух без зайвих затримок. За необхідності можуть застосовуватися більш жорсткі заходи, зокрема скорочення обороту або часткова зміна схеми обслуговування маршруту.

Ще одним важливим напрямом контролю є виявлення надмірного простою. На відміну від регламентованої стоянки на кінцевому пункті чи короткої зупинки для посадки та висадки пасажирів, надмірний простій часто є ознакою порушення технології перевезень, затримки в русі або технічної несправності транспортного засобу. Основною ознакою такого випадку є поєднання нульової або близької до нуля швидкості з відсутністю помітного переміщення транспортного засобу протягом визначеного часу. Водночас обов'язково потрібно враховувати, де саме відбувається зупинка. Якщо транспортний засіб перебуває в межах зупинки, короткочасна стоянка є нормальною. Якщо ж така стоянка надто довга або виникла поза передбаченими місцями, це вже розглядається як підстава для формування сповіщення.

Порогові значення надмірного простою доцільно встановлювати залежно від місця перебування транспортного засобу. На звичайній проміжній зупинці підозрілою слід вважати стоянку тривалістю понад дві-три хвилини. Поза зупинкою або на перегоні вже одна-дві хвилини нерухомості можуть бути підставою для перевірки. На кінцевому пункті контроль виконується за окремим нормативом, який відповідає дозволеному часу відстою між рейсами. Перед формуванням сповіщення система повинна виключити можливість затору, роботи світлофорного об'єкта, залізничного переїзду або інших зовнішніх причин. Якщо після такої перевірки ознаки простою залишаються, формується сповіщення середньої або високої важливості. У відповідь диспетчер має з'ясувати причину зупинки, установити зв'язок із водієм, а за потреби — направити технічну допомогу або скоригувати подальший рух інших транспортних засобів на маршруті.

Для практичного застосування всі правила сповіщення доцільно реалізувати за багаторівневою схемою. На першому рівні система лише реєструє підозрілу подію без подання сигналу диспетчеру. На другому рівні виконується перевірка стійкості відхилення за часом або за кількома суміжними контрольними точками. На третьому рівні подія набуває статусу підтвердженої та відображається на робочому місці диспетчера з відповідним рівнем важливості. Такий підхід дозволяє суттєво зменшити кількість хибних тривог і забезпечує зосередження уваги диспетчера лише на справді значущих відхиленнях.

Доцільно також розподіляти всі сповіщення за рівнями важливості. Низький рівень можуть мати інформаційні події, що не потребують негайного втручання, але корисні для подальшого аналізу. Середній рівень повинні мати порушення, які локально впливають на якість перевезень, але ще не призвели до системного збою. Високий рівень доцільно надавати подіям, що потребують оперативного реагування диспетчера. Найвищий рівень важливості повинні мати невиконання рейсу, тривалий розрив в інтервалі руху, стійке надмірне зближення транспортних засобів у годину пік та надмірний простій, пов'язаний із можливою аварійною або технічною ситуацією.

Таблиця 2.3 – Узагальнення основних правил контролю

Контрольована подія	Порогове значення	Логіка підтвердження	Рівень важливості	Рекомендована дія диспетчера
1	2	3	4	5
Раннє відхилення від графіка	більше 1 хв на проміжних зупинках; більше 2 хв на кінцевих пунктах	підтвердження на 2 суміжних контрольних точках або протягом 90–120 с	високий	витримка часу на найближчій зупинці, уповільнення темпу руху

1	2	3	4	5
Пізнє відхилення від графіка	більше 3 хв для жорсткого розкладу; більше 5 хв для інтервального режиму	стійке запізнення на 2 контрольних точках	середній або високий	з'ясування причини, коригування обігу, скорочення простою, резерв
Невиконання рейсу	відсутність навігаційних повідомлень або подій 3–5 хв після початку рейсу	повторна перевірка наявності зв'язку та ознак руху протягом 2–3 хв	найвищий	зв'язок із водієм, заміна рейсу, введення резервного транспортного засобу
Перевищення верхньої межі інтервалу	фактичний інтервал більше 1,25–1,30 від планового	підтвердження на 2 контрольних ділянках	високий	прискорення наступного транспортного засобу, коригування обігу, резерв
Порушення нижньої межі інтервалу	фактичний інтервал менше 0,75 від планового	стійке збереження на частині маршруту	середній або високий	регламентована витримка часу для одного з транспортних засобів

1	2	3	4	5
Надмірне зближення транспортних засобів	інтервал 25–40 % від планового або відстань менше 300–500 м	збереження протягом 2–3 зупинок або 3–5 хв	високий	розведення транспортних засобів у часі, коригування послідовності руху
Надмірний простій	120–180 с на зупинці; 60–90 с поза зупинкою	виключення затору, світлофора, технічної затримки передавання даних	середній або високий	встановлення причини, технічна допомога, коригування графіка

Алгоритми контролю відхилень і правила сповіщення є важливим елементом системи диспетчерського управління міськими пасажирськими перевезеннями. Їх застосування забезпечує не лише фіксацію порушень, а й формування своєчасної та достовірної інформації для прийняття рішень. Правильно визначені порогові значення, наявність логіки підтвердження та прив'язка кожного типу події до конкретної дії диспетчера дозволяють підвищити регулярність перевезень, зменшити вплив випадкових збоїв і покращити якість транспортного обслуговування пасажирів.

#### **2.4 Розрахунок очікуваного ефекту від упровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху**

Оцінювання результативності впровадження системи диспетчерського контролю повинно ґрунтуватися не лише на описі її функціональних

можливостей, а й на кількісному визначенні очікуваного ефекту для роботи маршруту. У разі, коли фактичні дані після впровадження ще відсутні, доцільно застосовувати сценарний підхід. Його сутність полягає у порівнянні базового стану роботи маршруту з розрахунковим станом, який може бути досягнутий після введення алгоритмів виявлення відхилень, правил сповіщення та коригувальних дій диспетчера. Такий підхід дозволяє ще на етапі проектування обґрунтувати доцільність упровадження системи та оцінити її вплив на регулярність, пунктуальність і повноту виконання транспортної роботи.

У межах цього підрозділу ефект від упровадження системи доцільно визначати за кількома основними показниками. Насамперед йдеться про частку рейсів, що виконуються в межах допустимих відхилень від графіка, середнє абсолютне відхилення від планового часу, ступінь нерівномірності інтервалів руху, частку випадків надмірного зближення транспортних засобів, а також кількість втрачених рейсів, які не були виконані або не були належним чином підтвержені у звітності. Сукупність цих показників дає змогу охарактеризувати ефект від упровадження системи комплексно, оскільки вона впливає не на одну окрему характеристику, а на загальну стійкість перевізного процесу.

Для проведення сценарного розрахунку слід ввести два стани системи. Перший стан є базовим і відображає роботу маршруту без спеціалізованих алгоритмів контролю та регулювання. Другий стан є розрахунковим і враховує, що після впровадження системи диспетчер отримує своєчасні сповіщення про відхилення, а також застосовує передбачені правилами заходи впливу: регламентоване відстоювання на кінцевих пунктах, вирівнювання інтервалів, коригування темпу руху, оперативне реагування на невиконання рейсу та усунення надмірного зближення транспортних засобів. Отже, очікуваний ефект визначається як різниця між показниками в базовому та розрахунковому станах.

Першим важливим показником є частка виконання цільових вимог до якості обслуговування. У межах цієї роботи доцільно розуміти під цим показником частку рейсів або контрольних подій, що відповідають установленим нормативам за часом прибуття, інтервалом руху та фактом

виконання рейсу. Якщо позначити кількість подій, що відповідають нормативу, через  $N_6$ , а загальну кількість контрольованих подій через  $N_3$ , тоді частка виконання цільових вимог визначається за формулою

$$\chi_B = \frac{N_6}{N_3} \cdot 100\% \quad (2.8)$$

Цей показник дає змогу оцінити загальний рівень керованості маршруту. Збільшення його значення після впровадження системи свідчить про те, що більша частка рейсів почала виконуватися в допустимих межах, а якість обслуговування пасажирів стала стабільнішою.

Другим показником є середнє абсолютне відхилення фактичного часу від планового. Воно характеризує типовий розмір порушення графіка незалежно від його напрямку, тобто без поділу на раннє чи пізнє прибуття. Якщо через  $\Delta t_i$  позначити відхилення часу для  $i$ -ї події, а кількість проаналізованих подій – через  $n$ , тоді середнє абсолютне відхилення визначається як

$$\overline{\Delta t_i} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta t_i| \quad (2.9)$$

Зменшення цього показника після впровадження системи означає, що відхилення від графіка стали меншими за величиною, а отже, рух транспортних засобів став передбачуванішим як для диспетчера, так і для пасажирів.

Третім показником доцільно прийняти варіацію інтервалу руху. Саме вона характеризує рівномірність пропуску транспортних засобів на маршруті. Для її оцінювання зручно використовувати середньоквадратичне відхилення фактичних інтервалів від їх середнього значення. Якщо через  $I_i$  позначити фактичний інтервал між сусідніми транспортними засобами, а через  $\bar{I}$  – середній інтервал, тоді показник нерівномірності визначається як

$$\sigma_I = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (I_i - \bar{I})^2} \quad (2.10)$$

Чим менше значення цього показника, тим більш рівномірно транспортні засоби розподілені на маршруті. Зменшення варіації інтервалів після впровадження системи буде свідчити про ефективність алгоритмів попередження надмірного зближення та коригування інтервалів за рахунок відстоювання на кінцевих пунктах.

Окрему увагу слід приділити частці випадків надмірного зближення транспортних засобів. Це явище є одним із найбільш характерних проявів порушення ритмічності руху на маршрутах із частим сполученням. Якщо кількість зафіксованих випадків надмірного зближення позначити через  $N_{збл}$ , а загальну кількість проаналізованих пар суміжних рейсів через  $N_n$ , тоді відповідна частка може бути визначена як

$$\mathcal{C}_{збл} = \frac{N_{збл}}{N_n} \cdot 100\% \quad (2.11)$$

Очікується, що після впровадження керуючих правил цей показник зменшиться, оскільки диспетчер отримує змогу своєчасно виявляти надмірне зближення та вживати заходів щодо розведення транспортних засобів у часі. У практичному аспекті це означає не лише покращення ритмічності перевезень, а й більш рівномірний розподіл пасажиропотоку між транспортними засобами.

Ще одним показником ефекту є кількість втрачених рейсів у звітності. У межах цієї роботи під втраченими рейсами доцільно розуміти рейси, які фактично не були виконані, були зірвані або не були підтверджені надійними навігаційними подіями. Якщо кількість таких рейсів у базовому стані позначити через  $N_{вр}^{(б)}$ , а після впровадження системи – через  $N_{вр}^{(п)}$ , тоді абсолютне зменшення втрачених рейсів визначається як

$$\Delta N_{ep} = N_{ep}^{(\delta)} - N_{ep}^{(p)} \quad (2.12)$$

а відносне зменшення становитиме

$$E_{ep} = \frac{N_{ep}^{(\delta)} - N_{ep}^{(p)}}{N_{ep}^{(\delta)}} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

Цей показник є особливо важливим для управлінської та звітної оцінки роботи перевізника, оскільки він безпосередньо характеризує повноту виконання запланованої транспортної роботи.

Для узагальненої оцінки ефекту від упровадження системи доцільно також визначити зміну кожного показника в абсолютному та відносному вимірі. Якщо  $X^{(\delta)}$  – значення певного показника у базовому стані, а  $X^{(p)}$  – його значення у розрахунковому стані, тоді абсолютна зміна визначається як

$$E_x = \frac{X^{(p)} - X^{(\delta)}}{X^{(\delta)}} \cdot 100\% \quad (2.15)$$

Для показників, зростання яких є позитивним, наприклад для частки виконання цільових вимог, додатне значення ( $E_x$ ) означає покращення. Для показників, зменшення яких є бажаним, зокрема для середнього відхилення, варіації інтервалу, частки надмірного зближення та кількості втрачених рейсів, покращення відповідає від'ємній зміні, тому під час аналізу це слід спеціально враховувати.

Оскільки фактичний стан після впровадження системи ще відсутній, доцільно застосувати сценарний розрахунок на підставі припущень про характер впливу основних керуючих заходів. У першому сценарії можна оцінити ефект від застосування регламентованого відстоювання транспортних засобів на кінцевих пунктах. Такий захід спрямований передусім на зменшення

нерівномірності інтервалів та частоти надмірного зближення. Його логіка полягає в тому, що транспортний засіб, який прибув раніше або надмірно наблизився до попереднього, не відправляється на наступний рейс негайно, а затримується на визначений час для відновлення планового інтервалу. У результаті очікується зменшення частки випадків надмірного зближення та зниження варіації інтервалу руху.

У другому сценарії доцільно розглянути введення правил раннього попередження і корекції відхилень від графіка. У цьому випадку система автоматично виявляє ранні та пізні відхилення, а диспетчер завчасно приймає рішення щодо коригування руху, ще до того, як порушення набуде критичного характеру. Ефект такого заходу проявляється у зменшенні середнього абсолютного відхилення, а також у збільшенні частки рейсів, що виконуються в межах допустимих значень. Таким чином, перший сценарій більшою мірою впливає на ритмічність руху, а другий – на пунктуальність і стабільність виконання графіка.

Для наочності доцільно розглянути умовний приклад сценарного розрахунку. Припустимо, що в базовому стані на досліджуваному маршруті частка виконання цільових вимог до якості обслуговування становить 78 %, середнє абсолютне відхилення від графіка – 3,8 хв, варіація інтервалу – 4,6 хв, частка випадків надмірного зближення – 14 %, а кількість втрачених рейсів за звітний період – 18. За результатами моделювання передбачається, що після впровадження правил регулювання та сповіщення частка виконання цільових вимог зросте до 88 %, середнє абсолютне відхилення зменшиться до 2,4 хв, варіація інтервалу – до 2,9 хв, частка випадків надмірного зближення – до 6 %, а кількість втрачених рейсів – до 7.

У такому випадку абсолютне підвищення частки виконання цільових вимог становитиме

$$\Delta C_x = 88 - 78 = 10 \text{ в.п.}$$

де в.п. – відсоткові пункти.

Відносне покращення цього показника дорівнюватиме

$$E_{\Delta t} = \frac{88 - 78}{78} \cdot 100 = 12,82\%$$

Середнє абсолютне відхилення від графіка зменшиться на

$$\overline{\Delta t} = 2,4 - 3,8 = -1,4 \text{ хв.}$$

а відносне зменшення становитиме

$$E_{\Delta t} = \frac{2,4 - 3,8}{3,8} \cdot 100 = -36,84\%$$

Варіація інтервалу зменшиться на

$$\Delta \sigma_I = 2,9 - 4,6 = -1,7 \text{ хв.}$$

що у відносному вираженні становить

$$E_{\sigma_I} = \frac{2,9 - 4,6}{4,6} \cdot 100 = -36,96\%$$

Частка випадків надмірного зближення зменшиться на

$$\Delta \mathcal{C}_{\text{збл}} = 6 - 14 = -8 \text{ в.п.}$$

а її відносне зниження становитиме

$$E_{\text{збл}} = \frac{6 - 14}{14} \cdot 100 = -57,14\%$$

Кількість втрачених рейсів зменшиться на

$$\Delta N_{\text{втр}} = 7 - 18 = -11 \text{ рейсів}$$

тобто відносне покращення становитиме

$$E_{\text{втр}} = \frac{7 - 18}{18} \cdot 100 = -61,11\%$$

Отримані результати свідчать, що найбільший очікуваний ефект від упровадження системи проявляється у зниженні кількості втрачених рейсів та випадків надмірного зближення транспортних засобів. Це пояснюється тим, що саме ці порушення найбільшою мірою залежать від своєчасного диспетчерського втручання. Водночас суттєве зменшення середнього відхилення та варіації інтервалу підтверджує, що система не лише покращує контроль, а й підвищує загальну стійкість перевізного процесу. Зростання частки виконання цільових

вимог до якості обслуговування узагальнює цей результат і свідчить про підвищення якості транспортного обслуговування пасажирів.

Таблиця 2.4 – Порівняння якості обслуговування до і після провадження заходів

Показник	Базовий стан	Розрахунковий стан	Абсолютна зміна	Відносна зміна, %
Частка виконання цільових вимог до якості обслуговування, %	78,0	88,0	+10,0 в.п.	+12,82
Середнє абсолютне відхилення від графіка, хв	3,8	2,4	-1,4	-36,84
Варіація інтервалу руху, хв	4,6	2,9	-1,7	-36,96
Частка випадків надмірного зближення, %	14,0	6,0	-8,0 в.п.	-57,14
Кількість втрачених рейсів, од.	18	7	-11	-61,11

За потреби сценарний аналіз може бути розширений кількома варіантами впровадження. Наприклад, окремо можна розглянути сценарій лише зі сповіщенням без активного регулювання, сценарій із частковим використанням відстоювання на кінцевих пунктах та сценарій повного впровадження з автоматизованими правилами попередження, підтвердження та коригування. У такому разі можна не лише оцінити загальний очікуваний ефект, а й визначити, які саме функціональні елементи системи дають найбільший внесок у покращення роботи маршруту.



**Очікувані результати впровадження системи**

Рисунок 2.3 – Візуальне відображення очікуваних результатів впровадження системи

Отже, розрахунок очікуваного ефекту від упровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху доцільно здійснювати на основі сценарного порівняння базового і розрахункового станів. Основними показниками ефекту при цьому виступають частка виконання цільових вимог до якості обслуговування, середнє абсолютне відхилення від графіка, варіація інтервалу руху, частка випадків надмірного зближення транспортних засобів і кількість втрачених рейсів. Виконаний імітаційний розрахунок показує, що впровадження системи здатне забезпечити відчутне підвищення пунктуальності та регулярності руху, зменшення кількості порушень у роботі маршруту та покращення якості транспортного обслуговування пасажирів.

## **3 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ**

### **3.1 Характеристика умов праці диспетчера та персоналу, що працює з системою GPS-моніторингу**

У межах системи управління міськими пасажирськими перевезеннями на основі GPS-моніторингу диспетчерська служба виступає центральним елементом оперативного контролю, який забезпечує безперервне спостереження за рухом транспортних засобів, своєчасне реагування на відхилення від планових параметрів та координацію взаємодії між перевізником, водіями і, за потреби, іншими підрозділами міської транспортної інфраструктури. Особливістю сучасної диспетчерської роботи є те, що вона здійснюється в умовах високої інформаційної насиченості, швидкого темпу прийняття рішень і значної відповідальності за підтримання регулярності руху, безпеки перевезень та прогнозованості сервісу для пасажирів. У цьому контексті характеристика умов праці диспетчера та персоналу, який працює з GPS-системою, повинна охоплювати як матеріально-технічну організацію робочого місця, так і організаційні регламенти, психологічні навантаження та комунікаційні процеси.

Робоче місце диспетчера в системі GPS-моніторингу є комп'ютеризованим і, як правило, багатомоніторним, що зумовлено необхідністю одночасного відображення різних інформаційних контурів. Основний екран (або група екранів) використовується для карти з відображенням транспортних засобів у реальному часі, їх маршруту, відхилень від графіка та статусів (на лінії, у депо, на обідній перерві, у простої тощо). Додаткові монітори можуть відводитися під панелі KPI/SLA, журнали подій, чергу повідомлень від водіїв, модулі тривоги (злипання рухомого складу, провали інтервалів, вихід із маршруту, перевищення простою на зупинці), а також під засоби службового зв'язку (месенджери, диспетчерські системи голосового зв'язку, внутрішні CRM/облікові модулі). Така організація дозволяє зменшити час переключення уваги між задачами,

однак водночас підвищує когнітивне навантаження через потребу підтримувати ситуаційну обізнаність у кількох інформаційних “вікнах” одночасно.

З ергономічної точки зору робоче місце повинно відповідати вимогам до тривалої роботи з візуальними дисплейними терміналами: регульоване крісло та стіл, оптимальна висота розміщення моніторів, мінімізація відблисків, достатній рівень освітлення, можливість періодичної зміни пози та коротких перерв. Для диспетчера характерна переважно сидяча статична поза, що за тривалої зміни може спричинити втому опорно-рухового апарату і зниження працездатності. Тому важливими є стандарти організації мікропауз, чергування видів діяльності (спостереження, комунікація, введення даних, аналіз звітів), а також обмеження “монотонного” перегляду екрану за низької інтенсивності подій, що часто змінюється різким зростанням навантаження в пікові години або при виникненні інцидентів.

Режим роботи диспетчера та персоналу, що підтримує GPS-моніторинг, визначається потребою безперервності контролю в робочі години руху транспорту, а для окремих перевізників - у режимі близькому до 24/7, з урахуванням раннього випуску на лінію та пізнього заїзду рухомого складу. Практично поширеним є позмінний графік із фіксованими змінами (наприклад, рання та пізня зміни) або зміни тривалістю 8–12 годин залежно від організації перевезень. Для міського транспорту особливо критичними є часові вікна пікового попиту, коли диспетчерська служба працює в умовах максимальної інтенсивності подій: зростає кількість звернень водіїв, частіше виникають відхилення від графіка, збільшується ризик “злипання” транспортних засобів та “провалів” інтервалів. У непікові періоди характер навантаження змінюється: зростає роль контролю дисципліни виконання рейсів, недопущення самовільних простоїв, підтримання рівномірності руху та підготовки аналітичної інформації для управлінських рішень.

Праця диспетчера пов’язана з вираженими психоемоційними навантаженнями, які зумовлені необхідністю оперативного прийняття рішень в умовах часових обмежень, неповної інформації та конфлікту цілей. Диспетчер

одночасно відповідає за підтримання регулярності руху (що напряду впливає на якість послуги), за безпеку та дотримання правил, за раціональне використання рухомого складу і ресурсів водіїв, а також за комунікацію з персоналом на лінії. Психологічну складність підсилює те, що навіть формально “правильне” рішення не завжди призводить до бажаного результату через некеровані фактори: затори, дорожні роботи, погодні умови, інциденти на дорозі, пасажирські піки, технічні відмови транспорту. У таких умовах від диспетчера вимагається стійкість до стресу, здатність підтримувати концентрацію протягом зміни, швидке перемикавання між задачами та вміння пріоритизувати дії.

Відповідальність диспетчера за оперативні рішення проявляється насамперед у впливі на регулярність та безперебійність перевезень. Типові диспетчерські дії включають коригування інтервалів шляхом керування швидкістю проходження ділянок (у межах правил безпеки), застосування коротких регулювальних простоїв на контрольних зупинках, організацію об’їздів при перекриттях, перерозподіл рухомого складу між напрямками у випадку збою, введення резервного транспортного засобу, коригування випуску або дострокове зняття з лінії при технічних проблемах. Кожне з таких рішень має наслідки не лише для конкретного маршруту, а й для суміжних елементів системи: пересадкових вузлів, взаємоузгодженості роботи кількох маршрутів на спільних ділянках, виконання загальних показників SLA. Відповідно, диспетчерська діяльність повинна бути регламентована внутрішніми інструкціями, а “поле” оперативної свободи має обмежуватися вимогами безпеки, трудового законодавства та стандартами сервісу.

Взаємодія з водіями є невід’ємною складовою роботи диспетчера і має дві взаємопов’язані функції: інформаційну та управлінську. З одного боку, водії є джерелом оперативної інформації про реальний стан дорожньої обстановки, пасажирські потоки, інциденти, технічний стан транспортного засобу та фактичні причини відхилень від графіка. З іншого боку, диспетчер через канали зв’язку доводить рішення щодо режиму руху, необхідності регулювальних зупинок, зміни траси, підміни транспортного засобу або інших організаційних

дій. Комунікація здійснюється в умовах обмеженого часу і часто - на фоні стресових факторів, тому критичною є стандартизація повідомлень (короткі, однозначні формулювання), чіткий розподіл відповідальності між диспетчером і водієм, а також недопущення конфліктних ситуацій, які можуть знижувати дисципліну виконання розпоряджень і погіршувати показники регулярності.

Окрему роль у забезпеченні функціонування GPS-моніторингу відіграє технічний та аналітичний персонал, який підтримує працездатність системи: контролює коректність роботи бортових трекерів, зв'язку та серверної інфраструктури, актуальність довідників маршрутів і зупинок, правильність алгоритмів прив'язки подій, формування звітів і панелей KPI/SLA. У практичному вимірі ці функції можуть бути поєднані в межах одного підрозділу або розподілені між перевізником і зовнішнім провайдером. Важливо підкреслити, що якість праці диспетчера прямо залежить від надійності технічної платформи: збої позиціонування, відсутність даних, некоректні геозони або помилки у розкладі збільшують кількість “хибних тривог”, підвищують когнітивне навантаження та знижують довіру до системи моніторингу.

Таким чином, умови праці диспетчера та персоналу, що працює з GPS-моніторингом, характеризуються високим рівнем інформатизації робочого місця, змінним профілем навантаження залежно від часу доби та типу дня, значними психоемоційними вимогами і підвищеною відповідальністю за оперативні рішення, які безпосередньо впливають на регулярність руху та якість транспортної послуги. Взаємодія з водіями в цьому контексті виступає ключовим організаційним механізмом реалізації диспетчерського управління, а надійність технічної інфраструктури GPS-моніторингу - необхідною передумовою для ефективної, безпечної та керованої роботи всієї системи міських перевезень.

### **3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях у міських перевезеннях і роль диспетчерської системи.**

Безпека в надзвичайних ситуаціях у міських перевезеннях і роль диспетчерської системи

Забезпечення безпеки в надзвичайних ситуаціях (НС) у міських пасажирських перевезеннях є складовою надійності транспортної системи та її здатності зберігати керованість за умов різких збурень. На відміну від «звичайних» відхилень від графіка (затори, нерівномірний пасажиропотік), НС мають потенціал швидко погіршувати рівень сервісу, створювати ризики для пасажирів і персоналу, призводити до каскадних збоїв на суміжних маршрутах і пересадкових вузлах. У таких умовах центральним чинником стає оперативність виявлення події, локалізація місця та масштабу впливу, а також узгоджені дії диспетчерської служби з водіями і зовнішніми службами реагування. Для міста Тернопіль, як і для будь-якої міської системи з концентрацією руху в центральній зоні та на окремих «вузьких місцях», диспетчерська система є інструментом, що перетворює розрізнені повідомлення та спостереження в керовану процедуру реагування й відновлення руху.

НС у міських перевезеннях доцільно трактувати як події, що істотно змінюють нормальний режим роботи рухомого складу, інфраструктури або організації дорожнього руху та потребують втручання поза стандартними сценаріями диспетчеризації. До найбільш типових для міських маршрутів належать дорожньо-транспортні пригоди, загоряння/пожежа у транспортному засобі, різке погіршення погодних умов (ожеледиця, сильний вітер, інтенсивні опади та обмеження видимості), перекриття руху або аварійні ремонти інженерних мереж, необхідність проведення евакуаційних заходів (локальних чи ширших за масштабом), а також загрози транспортній інфраструктурі (пошкодження дорожнього полотна, відмова світлофорного регулювання, аварійні стани мостових споруд, пошкодження контактної мережі електротранспорту). Спільною ознакою цих подій є потреба швидко визначити

«де саме» і «що саме» сталося, які маршрути потрапляють у зону впливу та які дії мінімізують ризики і відновлять керованість перевезень.

Дорожньо-транспортні пригоди у міському русі є одним із найчастіших тригерів оперативних збоїв, оскільки навіть незначна подія може заблокувати смугу руху, створити затримки на підходах до перехрестя та спричинити нерівномірність інтервалів на кількох маршрутах одночасно. Роль диспетчера тут полягає у швидкому підтвердженні факту події (через повідомлення водія, сигнал системи або непрямі ознаки), визначенні її точного місця та організації тимчасової технології руху: перенаправлення по об'їзду, введення регульовальних простоїв на контрольних точках, точкове «розтягування» інтервалів для уникнення злипання, а також забезпечення збереження сполучення із критичними вузлами міста. У випадках, коли ДТП унеможливило подальший рух конкретного транспортного засобу, диспетчерська система повинна забезпечити координацію резерву або підміни, щоб не допустити тривалого «провалу» інтервалів.

Пожежа або загоряння в транспортному засобі належить до подій підвищеної небезпеки, де пріоритетом є збереження життя і здоров'я пасажирів та персоналу, а вже потім - відновлення графіка. Диспетчерська роль у такій ситуації полягає в максимально швидкому визначенні місця зупинки/припинення руху, підтриманні зв'язку з водієм, організації передачі інформації до аварійно-рятувальних служб і, паралельно, в управлінні мережевими наслідками: тимчасове вилучення ТЗ з випуску, перекомпонування руху, обмеження під'їздів інших транспортних засобів до зони події, інформування суміжних маршрутів про обмеження. Для системи це критично, бо така НС часто призводить до локального перекриття руху та швидкого накопичення транспорту.

Різде погіршення погодних умов є НС іншої природи: зазвичай воно не має «однієї точки інциденту», а діє як просторово-часовий фактор, що знижує пропускну спроможність мережі, підвищує ризик ковзання, збільшує варіативність часу проходження перегонів і робить графік менш виконуваним.

Диспетчерське управління в таких умовах має бути спрямоване на підтримання безпечного режиму та керованості інтервалів: допускається контрольоване послаблення пунктуальності в обмін на стабільність інтервалів і недопущення «пачкування» транспорту. Практично це означає оперативне коригування режимів руху, перерозподіл резервів, тимчасове обмеження швидкостей на небезпечних ділянках (із урахуванням вимог безпеки), а також пріоритизацію обслуговування ключових коридорів, де наслідки збоїв найбільш відчутні.

Перекриття руху та аварійні роботи на вулично-дорожній мережі створюють потребу у швидкому впровадженні об'їзних схем і синхронізації рішень із міськими службами та поліцією. Для громадського транспорту це особливо важливо, якщо перекриття зачіпає зупинки або контактну мережу, що унеможлиблює стандартне трасування маршруту. Диспетчерська система в такому випадку виконує функцію оперативного «перемикання» мережі на тимчасову конфігурацію: перерозподіляє ТЗ, забезпечує інструктаж водіїв щодо об'їзду, контролює дотримання тимчасового маршруту та відстежує реальний ефект об'їзних рішень у часових показниках (чи не створюється нове «вузьке місце» на об'їзді).

Евакуаційні заходи та загрози інфраструктурі є класом подій, де транспортна система може виступати як засіб забезпечення мобільності населення, але водночас сама потребує підвищеної координації та контролю доступу до певних зон. Для диспетчерської служби ключовою стає здатність швидко визначити, які транспортні засоби опинилися поблизу небезпечної ділянки, які маршрути проходять через потенційно обмежені коридори, і як оперативно змінити схеми руху, щоб підтримати перевезення у дозволених зонах. У разі пошкодження критичних елементів (мостів, вузлів регулювання, підстанцій електротранспорту) основним завданням стає мінімізація каскадного ефекту на мережі та забезпечення безпечного повернення рухомого складу до точок розвороту/депо.

GPS-система перетворює диспетчеризацію з реакції «за дзвінком» на керовану процедуру, що базується на фактах і часових мітках. Насамперед вона

забезпечує швидке визначення місця транспортного засобу: диспетчер може верифікувати координати ТЗ, оцінити його положення відносно зупинок, перехресть, мостів, пересадкових вузлів та зон перекриття. Це суттєво скорочує час первинного реагування, оскільки усуває невизначеність типу «де саме сталося» і дозволяє одразу планувати подальші дії: повідомлення служб, перенаправлення суміжних маршрутів, відсічення зони впливу.

Другою ключовою функцією є відстеження відхилень та аномалій руху в реальному часі. Різка зупинка ТЗ поза типовими місцями, аномально довгий простій, нетипова траєкторія або вихід із коридору маршруту можуть бути автоматичними тригерами для перевірки диспетчером. Це підвищує ймовірність раннього виявлення НС навіть тоді, коли водій не може оперативно передати інформацію. Одночасно GPS-дані дозволяють оцінювати масштаби наслідків не на рівні одного транспортного засобу, а на рівні потоку: диспетчер бачить, як «хвиля затримки» поширюється по маршруту, чи формується злипання, де виникає провал інтервалів, які зупинки починають накопичувати пасажирів.

Третьою функцією є координація резервів і сценарії відновлення руху. За наявності резервного рухомого складу або можливості перерозподілу ТЗ між маршрутами диспетчерська система за GPS забезпечує вибір найближчого доступного ресурсу та контроль виконання рішення. Для міської системи важливо, що відновлення - це не лише «поставити резерв», а відновити інтервальну дисципліну: після НС рух часто потребує керованого вирівнювання, щоб уникнути тривалого періоду нерівномірності інтервалів. GPS-моніторинг дозволяє реалізовувати таке вирівнювання на основі фактичних інтервалів і позицій ТЗ.

Четверта функція пов'язана з інформуванням зовнішніх служб і внутрішньою комунікацією. Наявність точних координат, часу і статусу транспортного засобу дозволяє формувати стандартизовані повідомлення для служб реагування з мінімальною невизначеністю та забезпечувати документування подій для подальшого аналізу. У межах транспортного підприємства GPS-подієві журнали також використовуються для

післяінцидентного розбору: визначення часової шкали події, оцінки правильності рішень і коригування регламентів.

П'ятою функцією є підтримка відновлення мережі після НС шляхом оцінки фактичної пропускної спроможності та налаштування тимчасових схем. Якщо перекриття або погіршення погоди тривають певний час, система дозволяє перейти від «разових» рішень до режиму адаптивного управління: відстежувати ефективність об'їздів, змінювати контрольні точки, коригувати планові інтервали в пікові вікна, пріоритизувати критичні ділянки. Таким чином диспетчерська система виконує роль не лише засобу реагування, а й інструменту операційної стабілізації.

Таблиця 3.1 – Надзвичайні ситуації (НС) у міських перевезеннях та підтримка реагування засобами GPS-диспетчеризації

Тип НС	Типовий системний ефект у перевезеннях	Ключові дії диспетчера	Як допомагає GPS-система
ДТП	локальне блокування, каскадні затримки, злипання, провал інтервалів	локалізація, об'їзд/регулювання, підміна ТЗ, координація з поліцією	точні координати, контроль відхилень, оцінка хвили затримок
Пожежа/загоряння в ТЗ	зупинка ТЗ, перекриття зони, ризик збоїв на коридорі	пріоритет безпеки, інформування служб, відсічення зони, резерв	швидке визначення місця, фіксація часу, керування потоками ТЗ поруч

Тип НС	Типовий системний ефект у перевезеннях	Ключові дії диспетчера	Як допомагає GPS-система
Різка погіршення погоди	падіння швидкості, зростання варіативності, порушення плановості	адаптація режимів, стабілізація інтервалів, резерви	моніторинг швидкості/затримок, виявлення проблемних ділянок
Перекриття руху/ремонти	необхідність об'їздів, зміна зупинок, перерозподіл потоків	впровадження тимчасових схем, інструктаж водіїв, контроль виконання	контроль траєкторій, виявлення відхилень, оцінка ефективності об'їзду
Евакуаційні заходи	обмеження доступу, потреба зміни мережі, підвищена координація	відведення ТЗ від небезпечних зон, узгодження схем, пріоритизація	визначення ТЗ у зоні ризику, контроль дотримання обмежень
Загрози інфраструктурі	порушення роботи вузлів, обмеження мостів/мереж, каскадні збої	ізоляція ділянок, переключення маршрутів, стабілізація мережі	швидка інвентаризація впливу на маршрути, контроль відновлення руху

Ефективність реагування на НС визначається не лише наявністю GPS, а й організаційною готовністю: регламентами диспетчерських дій, визначенням відповідальних осіб, каналами зв'язку з водіями та зовнішніми службами, а

також належною якістю довідників маршрутів, зупинок і контрольних точок. У практичному вимірі GPS-диспетчеризація забезпечує три критичні переваги для безпеки: скорочення часу локалізації події, можливість керувати наслідками на рівні мережі (а не одного ТЗ) і підтримку відновлення регулярності руху після інциденту. Саме ці властивості роблять диспетчерську систему на основі GPS одним із базових елементів підвищення стійкості міських перевезень до надзвичайних ситуацій та інструментом збереження керованості транспортної системи в умовах ризиків.

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У кваліфікаційній роботі вирішено актуальне завдання підвищення якості міських пасажирських перевезень шляхом застосування показників KPI/SLA та розроблення системи диспетчерського контролю на основі GPS-даних для міських маршрутів м. Тернополя. Встановлено, що в сучасних умовах саме регулярність руху, пунктуальність, надійність інтервалів і можливість оперативного реагування на відхилення визначають фактичний рівень якості транспортного обслуговування пасажирів.

У ході роботи проаналізовано об'єкт дослідження та встановлено, що для міських перевезень Тернополя характерні добова нерівномірність попиту, вплив центральної частини міста на режим руху, наявність пересадкових вузлів і локальних «вузьких місць», які безпосередньо впливають на стабільність інтервалів і дотримання розкладу. Це підтверджує доцільність упровадження системи контролю, що базується на безперервному зборі та обробці GPS-даних.

Обґрунтовано склад вихідних даних, необхідних для розрахунку KPI/SLA, зокрема GPS-логів, довідників маршрутів і зупинок, планових розкладів або інтервалів, а також контрольних точок. Показано, що коректність оцінювання якості перевезень значною мірою залежить від точності просторової прив'язки, якості часових міток, правил виявлення подій на зупинках і процедур відсікання аномалій у навігаційних даних.

У роботі визначено, що зупинки громадського транспорту та бортове обладнання транспортних засобів мають розглядатися як повноцінні елементи інформаційно-керованої транспортної системи. Точні координати зупинок, геозони, інформаційне забезпечення, надійний GPS/ГНСС-трекер, засоби передачі даних, датчики дверей і запалювання формують технічну основу для прозорого диспетчерського контролю та достовірного розрахунку KPI/SLA.

Розроблення математичної моделі диспетчерського контролю маршруту №11, методики визначення подій «прибуття/відправлення» за GPS-даними, алгоритмів контролю відхилень і правил сповіщення створює методичну основу

для оперативного управління рухом. Запропонований підхід дає змогу своєчасно виявляти запізнення, нерівномірність інтервалів, «злипання» транспортних засобів, відхилення від траєкторії руху та інші порушення роботи маршруту.

Практичне значення роботи полягає в тому, що впровадження системи диспетчерського контролю та коригування руху дає змогу очікувати підвищення регулярності перевезень, зменшення відхилень від графіка, покращення інтервальної надійності та підвищення загального рівня транспортного обслуговування населення. Отримані результати можуть бути використані транспортними підприємствами, диспетчерськими службами та органами місцевого самоврядування при модернізації системи міських пасажирських перевезень.

У розділі з безпеки життєдіяльності та охорони праці встановлено, що ефективність диспетчерської системи визначається не лише технічним оснащенням, але й організаційною готовністю персоналу, чіткістю регламентів дій, якістю зв'язку та здатністю системи підтримувати керування перевезень у надзвичайних ситуаціях. GPS-диспетчеризація скорочує час локалізації подій, покращує координацію реагування та підвищує стійкість транспортної системи в умовах ризиків.

Загалом виконана кваліфікаційна робота підтверджує, що впровадження KPI/SLA та GPS-орієнтованого диспетчерського контролю є доцільним і перспективним напрямом удосконалення міських пасажирських перевезень у Тернополі, оскільки забезпечує об'єктивне оцінювання якості послуг, підвищує керування транспортним процесом та створює передумови для подальшої цифрової трансформації міського транспорту

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Про затвердження Порядку розроблення та затвердження паспорта автобусного маршруту : Наказ Мінтрансзв'язку України від 07.05.2010 № 278 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/go/z0408-10> (дата звернення: 06.04.2026).

2. Про затвердження Правил експлуатації трамвая і тролейбуса : Наказ Міністерства інфраструктури України від 03.02.2020 № 36 // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0353-20> (дата звернення: 06.04.2026).

3. Кашканов А. А., Кужель В. П. Організація дорожнього руху : навчальний посібник. Вінниця : ВНТУ, 2017. 125 с.

4. Марченко В. М., Шутюк В. В. Логістика : підручник. Київ : Видавничий дім «Артек», 2018. 312 с.

5. Розклад руху громадського транспорту // Тернопільська міська рада : офіційний сайт. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/gromadyanam/rozklad-ruhu-gromadskogo-transportu/> (дата звернення: 06.04.2026).

6. Розклад руху автобусних маршрутів // Тернопільська міська рада : офіційний сайт. URL: <https://ternopilcity.gov.ua/gromadyanam/rozklad-ruhu-gromadskogo-transportu/41269.html> (дата звернення: 06.04.2026).

7. Про автомобільний транспорт : Закон України від 05.04.2001 № 2344-III. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14> (дата звернення: 06.04.2026).

8. Про міський електричний транспорт : Закон України від 29.06.2004 № 1914-IV. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1914-15> (дата звернення: 06.04.2026).

9. Про затвердження Правил надання послуг пасажирського автомобільного транспорту : Постанова Кабінету Міністрів України від 18.02.1997 № 176. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/176-97-%D0%BF> (дата звернення: 06.04.2026).

10. ДБН В.2.3-5:2018. Вулиці та дороги населених пунктів. Київ : Мінрегіон України, 2018. URL: [https://dbn.co.ua/pay/31-09/dbn-V235\\_dorogi.pdf](https://dbn.co.ua/pay/31-09/dbn-V235_dorogi.pdf) (дата звернення: 06.04.2026).

11. ДСТУ EN 13816:2022. Перевезення. Логістика та послуги. Громадський пасажирський транспорт. Визначення, цільова призначеність і кількісне оцінювання якості наданих послуг (EN 13816:2002, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2022.

12. GTFS Realtime Reference. Realtime Transit. URL: <https://gtfs.org/documentation/realtime/reference/> (дата звернення: 06.04.2026).

13. Vehicle Positions. GTFS Realtime Documentation. Realtime Transit. URL: <https://gtfs.org/documentation/realtime/feed-entities/vehicle-positions/> (дата звернення: 06.04.2026).