

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

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інженерії машин, споруд та технологій

(назва факультету)

Автотранспорту та логістики

(повна назва кафедри)

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра

бакалавр

(освітній рівень)

на тему: Оптимізація маршрутів доставки з використанням GPS навігації

Виконав: студент 4 курсу, групи МН-41

спеціальності 275 «Транспортні технології»

(шифр і назва спеціальності)

Студент

(підпис)

Карбівник І.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник

(підпис)

Матвіїшин А.Й.

(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

Рецензент

(підпис)

Комар Р.В.

(прізвище та ініціали)

Зав. каф.

(підпис)

Цьонь О.П.

(прізвище та ініціали)

м. Тернопіль – 2026

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

Карбівнику Іллі Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Оптимізація маршрутів доставки з використанням GPS навігації

керівник проекту (роботи) _____

Матвійшин Анатолій Йосипович, к.т.н., доц.

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

затвержені наказом по університету від «21» січня 2026 року № 4/9-33

2. Термін подання студентом проекту (роботи) _____

27 червня 2026 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) _____

Система доставки вантажів, дані системи, схема вулично-дорожньої мережі міста

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	5
ВСТУП	8
1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ	
1.1 Загальна характеристика процесу доставки вантажів	10
1.2 Характеристика підприємства та транспортної системи, що досліджується	19
1.3 Аналіз існуючої організації маршрутів доставки	25
1.4 Аналіз використання GPS-навігації у транспортному процесі та виявлення недоліків існуючої системи маршрутизації	31
1.5 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра	39
2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	
2.1 Постановка задачі оптимізації маршрутів доставки	43
2.2 Вибір критеріїв оптимізації маршрутів	49
2.3. Формування вихідної маршрутної схеми доставки в місті Тернополі	60
3 БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ	
3.1 Охорона праці під час організації та виконання доставки вантажів	63
3.2 Безпека в надзвичайних ситуаціях під час виконання доставки вантажів	69
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	73
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	79

РЕФЕРАТ

Об'єктом дослідження є процес доставки вантажів автомобільним транспортом у межах міської транспортно-логістичної системи.

Предметом дослідження є методи та засоби оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігаційних технологій.

Метою роботи є дослідження процесу організації доставки вантажів автомобільним транспортом та обґрунтування заходів щодо оптимізації маршрутів із використанням GPS-навігації для зменшення пробігу, скорочення часу доставки, зниження витрат пального, підвищення своєчасності обслуговування клієнтів і раціонального використання транспортних засобів.

У роботі розглянуто загальну характеристику процесу доставки вантажів, основні етапи транспортного обслуговування клієнтів, роль маршрутизації у забезпеченні своєчасності перевезень, а також особливості доставки в умовах міського транспортного середовища. Як об'єкт аналізу прийнято транспортно-логістичну систему сервісу доставки «Нова пошта» у місті Тернополі, що включає міські відділення, вантажні відділення, поштомати, кур'єрське обслуговування та транспортні засоби для міського розвезення.

У першому розділі проаналізовано організацію процесу доставки, охарактеризовано структуру міської логістичної системи, визначено основні чинники, що впливають на ефективність маршрутів, та розглянуто використання GPS-навігації у транспортному процесі. Встановлено, що основними проблемами чинної системи маршрутизації є надлишковий пробіг, порожні переїзди, простої, затримки через дорожню ситуацію, повторні заїзди до клієнтів, нерівномірне завантаження автомобілів і недостатнє оперативне коригування маршрутів під час виконання доставки.

У другому розділі сформульовано задачу оптимізації маршрутів доставки, обґрунтовано критерії оцінювання ефективності маршрутів, розглянуто використання GPS-даних для оперативного керування рухом транспортних засобів і запропоновано заходи з удосконалення транспортного процесу. До

основних критеріїв оптимізації віднесено мінімальну довжину маршруту, мінімальний час руху, мінімальні транспортні витрати, максимальну кількість доставок за рейс, дотримання часових вікон, рівномірне завантаження автомобілів і мінімізацію відхилень від запланованої схеми руху.

Для підвищення ефективності доставки запропоновано територіальне групування точок обслуговування за логістичними зонами Тернополя, оптимізацію послідовності об'їзду пунктів доставки, скорочення порожнього пробігу, активніше використання поштоматів як групових точок доставки, оперативне коригування маршрутів на основі GPS-даних, зменшення повторних заїздів, рівномірний розподіл замовлень між автомобілями та порівняння планових і фактичних параметрів маршрутів.

У розрахунковій частині виконано порівняння показників існуючої та оптимізованої системи доставки. Для п'яти автомобілів, що обслуговують центральну частину міста, райони «Дружба» і «Новий Світ», «Східний» і «БАМ», периферійні райони, а також поштомати й відділення, визначено пробіг, тривалість маршрутів, частку порожнього пробігу, витрати пального, продуктивність доставки та рівень своєчасності обслуговування.

За результатами розрахунку встановлено, що після впровадження GPS-оптимізації загальний пробіг транспортних засобів зменшується з 300 до 259 км, тобто на 13,67 %. Порожній пробіг скорочується з 54,44 до 29,38 км, що відповідає зменшенню на 46,03 %. Загальна тривалість маршрутів знижується з 37,5 до 34,3 год, витрата пального – з 31,50 до 27,20 л за зміну, а витрати на пальне – з 2457,00 до 2121,21 грн. Продуктивність доставки зростає з 4,96 до 5,42 точки/год, а своєчасність обслуговування підвищується з 88 до 95 %.

У третьому розділі розглянуто питання безпеки життєдіяльності та охорони праці під час організації і виконання доставки вантажів. Проаналізовано небезпечні та шкідливі фактори, які можуть впливати на водіїв, експедиторів, диспетчерів і вантажників, а також розглянуто заходи безпеки під час руху, вантажно-розвантажувальних робіт, експлуатації транспортних засобів і дій у надзвичайних ситуаціях. Визначено, що GPS-навігація може використовуватися

не лише для скорочення пробігу і часу доставки, а й для підвищення безпеки транспортного процесу шляхом контролю місцезнаходження автомобіля, вибору безпечних маршрутів і оперативного реагування на аварійні ситуації.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання запропонованих заходів для вдосконалення міської доставки «Нової пошти» в Тернополі. Запропонований підхід дозволяє перейти від статичного планування маршрутів до динамічного управління транспортним процесом на основі GPS-даних. Це забезпечує скорочення непродуктивного пробігу, зниження експлуатаційних витрат, підвищення продуктивності автомобілів і покращення якості обслуговування клієнтів.

Ключові слова: доставка вантажів, маршрутизація, GPS-навігація, Нова пошта, Тернопіль, транспортний процес, оптимізація маршрутів, пробіг, витрати пального, своєчасність доставки, поштомати, логістична система.

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку автомобільного транспорту особливого значення набуває підвищення ефективності процесів доставки вантажів. Зростання інтенсивності транспортних потоків, збільшення кількості замовлень, підвищення вимог клієнтів до швидкості та надійності обслуговування зумовлюють необхідність удосконалення підходів до планування маршрутів. Для підприємств, які здійснюють доставку вантажів у міському або регіональному сполученні, раціональна організація руху транспортних засобів є одним із ключових чинників зниження витрат, скорочення часу перевезення та підвищення якості транспортного обслуговування.

Традиційні методи планування маршрутів часто не враховують поточний стан дорожньої мережі, зміну інтенсивності руху протягом доби, затори, дорожні роботи, обмеження руху, аварійні ситуації та інші фактори, які безпосередньо впливають на тривалість доставки. У таких умовах використання GPS-навігації дає змогу підвищити точність планування та контролю перевезень, оперативно коригувати маршрути, відстежувати місцезнаходження транспортних засобів у реальному часі та забезпечувати більш раціональне використання рухомого складу.

Актуальність теми полягає в тому, що оптимізація маршрутів доставки з використанням GPS-навігації дозволяє зменшити непродуктивні пробіги, скоротити витрати пального, підвищити своєчасність виконання замовлень і забезпечити кращу координацію між водіями, диспетчерами та клієнтами. Для автомобільного транспорту це має важливе практичне значення, оскільки навіть незначне скорочення часу руху або довжини маршруту при регулярному виконанні доставок може забезпечити помітний економічний ефект.

Метою роботи є дослідження процесу організації доставки вантажів автомобільним транспортом та обґрунтування заходів щодо оптимізації маршрутів із використанням GPS-навігації.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі завдання: розглянути сутність процесу доставки вантажів автомобільним транспортом; охарактеризувати транспортну систему або підприємство, що виконує доставку; проаналізувати чинники, які впливають на вибір і ефективність маршрутів; дослідити можливості застосування GPS-навігації у процесі планування та контролю перевезень; сформулювати підхід до оптимізації маршрутів доставки; оцінити вплив запропонованих рішень на показники роботи транспортної системи.

Об'єктом дослідження є процес доставки вантажів автомобільним транспортом у межах міської або регіональної транспортної мережі.

Предметом дослідження є методи та засоби оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігаційних технологій.

У роботі використовуються методи аналізу транспортних процесів, порівняння маршрутних схем, розрахунку техніко-експлуатаційних показників, оцінювання часу руху, довжини маршрутів, пробігу транспортних засобів, витрат пального та ефективності використання рухомого складу. Застосування цих методів дає змогу обґрунтувати доцільність використання GPS-навігації для підвищення ефективності доставки вантажів.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для вдосконалення роботи транспортного підприємства або служби доставки. Запропоновані підходи можуть бути застосовані для планування раціональних маршрутів, скорочення часу виконання замовлень, зменшення експлуатаційних витрат і підвищення рівня транспортного обслуговування клієнтів.

Таким чином, дослідження оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігації є важливим напрямом удосконалення автомобільних перевезень. Його реалізація сприяє підвищенню ефективності транспортного процесу, кращому використанню технічних ресурсів і забезпеченню стабільної роботи системи доставки в умовах сучасного транспортного середовища.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1. Загальна характеристика процесу доставки вантажів

Доставка вантажів є складним організаційно-технологічним процесом, який забезпечує переміщення матеріальних цінностей від відправника до одержувача з дотриманням установлених вимог щодо термінів, збереження вантажу, раціонального використання транспортних засобів і мінімізації витрат. У сучасних умовах доставка не може розглядатися лише як фізичне переміщення вантажу автомобілем від одного пункту до іншого. Вона охоплює цілу систему взаємопов'язаних операцій, що починаються з отримання замовлення, продовжуються плануванням маршруту, підготовкою транспортного засобу, виконанням перевезення, GPS-контролем руху та завершуються передачею вантажу клієнту й аналізом результатів виконаного рейсу.

У транспортних технологіях процес доставки вантажів доцільно розглядати як керовану систему, у якій поєднуються вантаж, транспортний засіб, маршрут, дорожні умови, водій, диспетчер, клієнт і засоби інформаційного супроводу. Кожен із цих елементів впливає на кінцевий результат. Наприклад, характеристика вантажу визначає вимоги до автомобіля, маршрут впливає на час і витрати перевезення, дорожня ситуація формує фактичну швидкість руху, а GPS-навігація забезпечує контроль і можливість оперативного коригування маршруту.

Загальну логіку процесу доставки вантажів можна подати у вигляді послідовності основних етапів. На першому етапі формується замовлення на доставку, у якому зазначаються адреси завантаження і розвантаження, маса та об'єм вантажу, кількість вантажних місць, вимоги до строків доставки, особливі умови перевезення та контактні дані сторін. Далі виконується аналіз характеристик вантажу і визначається відповідний транспортний засіб. Після цього здійснюється планування маршруту, підготовка автомобіля, завантаження,

безпосереднє перевезення, контроль руху за допомогою GPS-навігації, розвантаження та підтвердження факту виконання доставки.



Рисунок 1.1 – Узагальнена схема процесу доставки вантажів

Подана схема показує, що доставка є не одноразовою дією, а послідовним процесом, у якому кожний наступний етап залежить від якості виконання попереднього. Неправильне визначення параметрів вантажу може призвести до вибору невідповідного автомобіля. Помилки під час планування маршруту спричиняють збільшення пробігу, перевитрату пального або запізнення до клієнта. Недостатній контроль руху унеможливорює оперативне реагування на затори, аварійні ситуації чи відхилення водія від запланованого маршруту.

Сутність процесу доставки полягає в забезпеченні переміщення вантажу в просторі та часі. Просторовий аспект доставки пов'язаний із вибором шляху

руху, розташуванням пунктів завантаження і розвантаження, протяжністю маршруту, кількістю проміжних пунктів обслуговування та особливостями дорожньої мережі. Часовий аспект визначається тривалістю завантаження, часом руху, тривалістю простоїв, часом розвантаження, дотриманням часових вікон і точністю прибуття до клієнта. Організаційний аспект охоплює приймання заявки, диспетчерське управління, розподіл транспортних засобів, контроль виконання рейсу та аналіз результатів доставки.

Особливе місце у процесі доставки займає транспортне обслуговування клієнта. Воно не обмежується лише перевезенням вантажу, а включає також узгодження умов доставки, інформування клієнта про статус замовлення, дотримання погодженого часу прибуття, передачу вантажу та підтвердження виконання замовлення. Для клієнта якість доставки оцінюється насамперед через своєчасність, надійність, збереження вантажу та передбачуваність процесу. Якщо клієнт має можливість отримувати актуальну інформацію про місцезнаходження автомобіля і прогнозований час прибуття, рівень довіри до транспортного сервісу підвищується.

Важливим елементом організації доставки є маршрутизація. Вона передбачає визначення найбільш доцільного шляху руху транспортного засобу з урахуванням відстані, часу руху, дорожніх умов, інтенсивності транспортного потоку, обмежень для вантажних автомобілів, кількості пунктів доставки та встановлених часових обмежень. У найпростішому випадку маршрут формується між одним пунктом завантаження і одним пунктом розвантаження. Однак у практиці доставки часто виникає необхідність обслуговування декількох клієнтів за один рейс, що значно ускладнює задачу маршрутизації.



Рисунок 1.2 – Вплив GPS-навігації на виконання маршруту доставки

Раціонально побудований маршрут дозволяє скоротити загальний пробіг автомобіля, зменшити витрати пального, підвищити продуктивність роботи водія, збільшити кількість виконаних замовлень за зміну та знизити собівартість доставки. Нераціональний маршрут, навпаки, призводить до надлишкового пробігу, запізнень, простоїв, перевитрати ресурсів і зниження якості транспортного обслуговування. Тому маршрутизація є одним із головних інструментів оптимізації процесу доставки вантажів.

У сучасних умовах маршрутизація тісно пов'язана з використанням GPS-навігації. GPS-навігація дає змогу визначати поточне місцезнаходження транспортного засобу, контролювати фактичну траєкторію руху, порівнювати її

із запланованим маршрутом, виявляти відхилення, фіксувати простой та прогнозувати час прибуття до клієнта. Завдяки цьому доставка стає більш керованою, а диспетчер отримує можливість ухвалювати рішення не після завершення рейсу, а безпосередньо під час його виконання.

Наведена схема відображає принцип використання GPS-навігації під час доставки. Поточні координати автомобіля порівнюються із запланованим маршрутом. Якщо відхилення відсутні, транспортний засіб продовжує рух за планом. Якщо виявлено затримку, зміну траєкторії або неможливість подальшого руху за заданим маршрутом, диспетчерська система або водій можуть виконати коригування маршруту. Після цього оновлюється прогнозований час прибуття, а інформація передається диспетчеру або клієнту.

Особливо важливим використання GPS-навігації є в умовах міського транспортного середовища. Міська доставка характеризується високою щільністю транспортного потоку, наявністю заторів, світлофорного регулювання, обмежень швидкості, зон із заборонаю руху вантажного транспорту, складністю паркування біля пунктів доставки та значною мінливістю часу руху протягом доби. Один і той самий маршрут у різний час може мати різну тривалість, тому вибір лише найкоротшого шляху не завжди забезпечує найкращий результат. У багатьох випадках доцільнішим є маршрут, який має більшу довжину, але дозволяє уникнути перевантажених ділянок і скоротити фактичний час доставки.

У регіональному транспортному середовищі процес доставки має інші особливості. Тут більшу роль відіграють протяжність маршруту, технічний стан доріг, наявність об'їзних шляхів, погодні умови, режим праці та відпочинку водія, витрати пального на довгих ділянках, можливість виникнення затримок через ремонт доріг або інші обмеження руху. Якщо в місті основними проблемами є затори, паркування та точність прибуття до багатьох клієнтів, то в регіональних перевезеннях важливими стають надійність планування, прогнозування часу прибуття та безперервний контроль руху автомобіля.

На процес доставки вантажів впливає значна кількість факторів. До них належать характеристики вантажу, тип і технічний стан автомобіля, довжина та складність маршруту, дорожні умови, вимоги клієнта, організація роботи водія, рівень диспетчерського управління та наявність інформаційних технологій. Усі ці фактори необхідно враховувати під час планування та оптимізації маршрутів.



Рисунок 1.3 – Основні фактори впливу на процес доставки вантажів

Характеристика вантажу визначає базові вимоги до доставки. Маса, об'єм, габарити, кількість вантажних місць, крихкість, потреба в спеціальному кріпленні або особливому температурному режимі впливають на вибір транспортного засобу та організацію вантажно-розвантажувальних робіт. Невідповідність автомобіля характеристикам вантажу може призвести до неефективного використання кузова, перевантаження, пошкодження вантажу або порушення умов перевезення.

Транспортний засіб визначає технічні можливості виконання доставки. Вантажопідйомність, місткість кузова, витрата пального, маневреність, технічний стан, наявність GPS-трекера та відповідність умовам маршруту безпосередньо впливають на ефективність перевезення. Для міських доставок доцільно використовувати більш маневрені автомобілі, які можуть ефективно рухатися в умовах щільної забудови та обмеженого простору. Для регіональних маршрутів важливішими є економічність, надійність, запас ходу та придатність до тривалої роботи на міжміських дорогах.

Маршрут руху є одним із найважливіших параметрів доставки. Він визначає довжину пробігу, час руху, кількість зупинок, черговість обслуговування клієнтів і витрати ресурсів. У процесі оптимізації маршруту необхідно враховувати не лише відстань, а й реальний час руху, наявність

заторів, обмеження для вантажного транспорту, стан дорожнього покриття, можливість безпечної зупинки біля пунктів доставки та час виконання вантажно-розвантажувальних операцій.

Дорожні умови формують фактичну тривалість доставки. Навіть оптимально побудований маршрут може стати неефективним за наявності аварії, перекриття дороги, ремонтних робіт, інтенсивного руху або складних погодних умов. Саме тому процес доставки потребує постійного моніторингу та можливості оперативного коригування маршруту.

Вимоги клієнта також істотно впливають на організацію доставки. До таких вимог належать бажаний час прибуття, допустимий інтервал очікування, особливості приймання вантажу, необхідність попереднього інформування, вимоги до документального підтвердження доставки та умови доступу до місця розвантаження. Якщо ці вимоги не враховуються під час планування маршруту, навіть технічно правильно виконане перевезення може бути оцінене клієнтом як неякісне.

У системі доставки важливо розрізняти планові та фактичні параметри. Планові параметри визначаються до початку рейсу. До них належать запланований маршрут, розрахункова відстань, очікуваний час прибуття, передбачена тривалість руху, кількість пунктів доставки та прогнозовані витрати пального. Фактичні параметри формуються під час виконання рейсу. До них належать реальна траєкторія руху, фактичний пробіг, фактичний час доставки, тривалість простоїв, затримки, відхилення від маршруту та фактична витрата ресурсів.

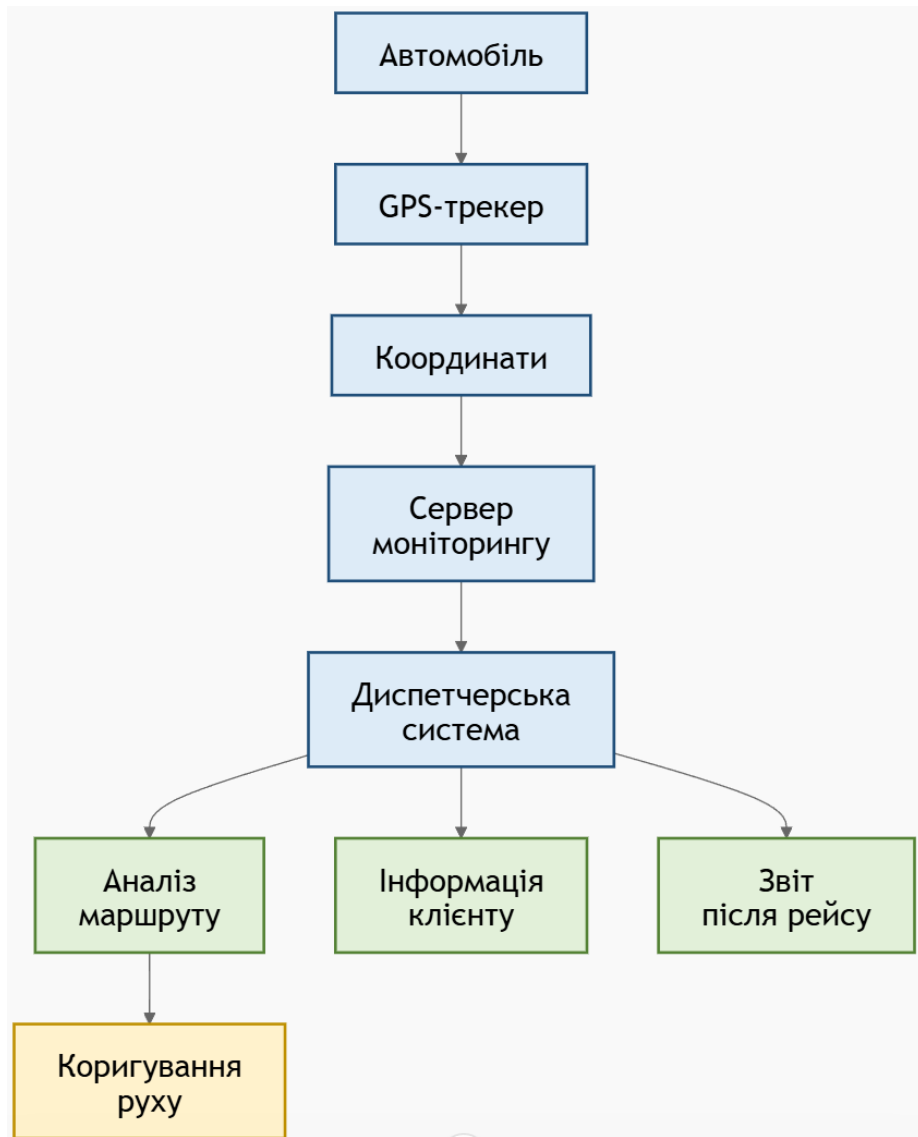


Рисунок 1.4 – Інформаційна модель доставки з використанням GPS-навігації

Порівняння планових і фактичних параметрів дає змогу оцінити якість організації доставки. Якщо фактичний пробіг перевищує плановий, це може свідчити про нераціональний маршрут, вимушений об'їзд або помилку водія. Якщо фактичний час доставки більший за розрахунковий при незначній зміні пробігу, причиною можуть бути затори, тривале очікування біля пункту розвантаження або недостатньо точне прогнозування часу руху. Якщо ж відхилення повторюються систематично, це вказує на потребу перегляду принципів маршрутизації.

Для підвищення ефективності доставки доцільно використовувати інформаційну модель управління, у якій GPS-дані від транспортного засобу надходять до системи моніторингу, аналізуються диспетчером або програмним забезпеченням, після чого ухвалюється рішення щодо подальшого виконання маршруту. Такий підхід дозволяє перейти від статичного планування до динамічного управління доставкою.

Інформаційна модель показує, що GPS-навігація виконує не лише функцію орієнтування водія на місцевості. Вона є джерелом даних для диспетчерського контролю, оцінювання фактичного виконання маршруту, інформування клієнта та формування звітності після завершення доставки. На основі GPS-даних можна визначити, чи рухався автомобіль за запланованим маршрутом, де виникали затримки, скільки часу тривали зупинки, чи були необґрунтовані відхилення та наскільки точно було спрогнозовано час прибуття.

Використання GPS-навігації створює передумови для оптимізації маршрутів доставки. Оптимізація полягає у виборі такого маршруту або такої послідовності обслуговування клієнтів, за якої забезпечується мінімальний пробіг, найменший час доставки, зниження витрат пального, дотримання часових обмежень і підвищення якості обслуговування. При цьому оптимальним не завжди є найкоротший маршрут за відстанню. У реальних умовах більш ефективним може бути маршрут, який має дещо більшу протяжність, але дозволяє уникнути заторів, складних перехресть, ділянок із поганим дорожнім покриттям або зон з обмеженнями руху.

Основними напрямками такого вдосконалення є скорочення непродуктивного пробігу, зменшення часу виконання рейсу, підвищення точності прибуття до клієнта, раціональне використання транспортних засобів, зменшення витрат пального та оперативне реагування на зміну дорожніх умов. GPS-навігація у цьому випадку виступає інструментом збору фактичної інформації, без якої неможливо якісно оцінити ефективність маршруту та обґрунтувати його оптимізацію.

Таким чином, процес доставки вантажів є багатокomпонентною транспортно-логістичною системою, що включає планування, організацію, виконання, контроль і аналіз перевезення. Його ефективність залежить від правильного вибору транспортного засобу, раціональної побудови маршруту, урахування дорожніх умов, дотримання вимог клієнта та використання сучасних інформаційних технологій. GPS-навігація забезпечує перехід від традиційного виконання доставки до керованого процесу, у якому маршрут може не лише плануватися заздалегідь, а й коригуватися під час руху з урахуванням фактичної ситуації на дорозі. Саме це створює основу для подальшої оптимізації маршрутів доставки вантажів у міському та регіональному транспортному середовищі.

1.2. Характеристика підприємства та транспортної системи, що досліджується

У межах роботи як об'єкт аналізу розглянуто транспортно-логістичну систему компанії «Нова пошта» у місті Тернопіль. Це підприємство є одним із найбільших операторів експрес-доставки в Україні та спеціалізується на перевезенні документів, посилок, вантажів, палетованих відправлень, товарів інтернет-торгівлі, а також на організації адресної доставки. Для теми оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігації така система є показовою, оскільки її робота безпосередньо пов'язана з великою кількістю щоденних переміщень транспортних засобів, необхідністю дотримання часових інтервалів, раціональним розподілом замовлень між кур'єрами та ефективним використанням мережі пунктів видачі.

Транспортна система «Нової пошти» у Тернополі має багаторівневу структуру. Її основними елементами є міські відділення, вантажні відділення, поштомати, кур'єрська доставка, транспортні засоби для міського розвезення та магістральні маршрути, які зв'язують Тернопіль з іншими містами України. У межах міста підприємство виконує функції приймання, сортування, тимчасового зберігання, видачі та доставки відправлень кінцевим споживачам. Окреме

значення має взаємодія між відділеннями, поштоматами та кур'єрськими маршрутами, оскільки саме на цьому рівні формується значна частина витрат часу на доставку.

Зона обслуговування досліджуваної системи охоплює територію міста Тернопіль та прилеглі населені пункти Тернопільської міської територіальної громади. У міських умовах доставка здійснюється в межах щільної вулично-дорожньої мережі, яка має нерівномірне транспортне навантаження протягом доби. Найбільші затримки руху можуть виникати в центральній частині міста, на підходах до великих житлових масивів, біля ринків, торгових центрів, вокзалів, навчальних закладів та основних транспортних вузлів. Тому ефективність доставки залежить не лише від кількості транспортних засобів, а й від правильного розташування точок обслуговування та використання GPS-навігації для вибору раціональних маршрутів.

Мережа відділень «Нової пошти» у Тернополі розміщена таким чином, щоб забезпечити доступність послуг у різних частинах міста. Відділення функціонують у центральній частині, у житлових районах «Дружба», «Східний», «БАМ», «Новий Світ», а також поблизу основних магістральних вулиць. Частина відділень має поштовий формат і орієнтована переважно на обслуговування документів та посилок масою до 30 кг. Інші відділення мають вантажний формат і приймають більші за масою або габаритами відправлення. Такий поділ дає змогу розмежувати потоки дрібних посилок і великогабаритних вантажів, що позитивно впливає на організацію роботи персоналу, час обслуговування клієнтів і завантаження транспортних засобів.

Відділення виконують роль стаціонарних вузлів логістичної мережі. Через них проходить основний потік відправлень, які приймаються від населення, підприємств, інтернет-магазинів та інших клієнтів. Для транспортної системи міста такі відділення є пунктами концентрації вантажопотоків. Автомобілі підприємства доставляють відправлення до відділень, забирають нові посилки, перевозять вантажі до сортувальних центрів або розподіляють їх між іншими точками міської мережі. У зв'язку з цим розташування відділень безпосередньо

впливає на довжину маршрутів, кількість зупинок, тривалість вантажно-розвантажувальних операцій і загальний час обігу транспортного засобу.

Окрему роль у транспортній системі відіграють вантажні відділення. Вони доцільно розміщуються ближче до вулиць із кращою транспортною доступністю, де є можливість під'їзду вантажних автомобілів, маневрування та виконання вантажних операцій. Для Тернополя це особливо важливо, оскільки рух вантажного транспорту в центральній частині міста є менш зручним через щільну забудову, обмежену ширину окремих вулиць, інтенсивний рух громадського та приватного транспорту. Тому вантажні відділення доцільно розглядати як опорні логістичні точки, які зменшують потребу в заїзді великогабаритного транспорту в перевантажені райони міста.

Мережа поштоматів є другим важливим елементом системи доставки. На відміну від відділень, поштомати мають меншу пропускну здатність щодо маси та габаритів відправлень, однак забезпечують значно вищу територіальну доступність послуг. Вони розміщуються біля житлових будинків, магазинів, торгових об'єктів, автозаправних станцій, зупинок громадського транспорту та в інших місцях щоденного переміщення населення. Типовою особливістю поштоматів є цілодобовий або майже цілодобовий режим роботи, що дає змогу клієнтам отримувати посилки без прив'язки до графіка роботи відділення.

Для міста Тернопіль мережа поштоматів має виражене значення у скороченні часу останнього етапу доставки. Якщо відправлення доставляється у відділення, клієнт повинен прибути до певної точки обслуговування і, за наявності черги, витратити додатковий час на отримання. У випадку доставки до поштомата процес отримання є швидшим, оскільки клієнт самостійно відкриває комірку через мобільний застосунок або інший засіб і не залежить від роботи оператора. Це зменшує навантаження на персонал відділень та скорочує час перебування клієнта в системі обслуговування.

З погляду маршрутизації поштомати також мають важливу перевагу. Один кур'єрський автомобіль може завантажити декілька десятків посилок у поштомати за один рейс, тоді як адресна доставка потребує зупинки біля кожного

окремого одержувача. Отже, поштомот фактично працює як мікрологістичний пункт колективного обслуговування. Це дозволяє зменшити кількість індивідуальних адресних заїздів, скоротити час простою автомобіля, зменшити витрати пального та підвищити продуктивність кур'єра. Особливо помітний ефект спостерігається в районах багатоповерхової житлової забудови, де велика кількість клієнтів зосереджена на відносно невеликій території.

Водночас мережа поштомотів має певні обмеження. До них належать обмеження за масою та габаритами відправлень, залежність від наявності вільних комірок, необхідність регулярного поповнення та вивантаження посилок, а також потреба в точному плануванні часу обслуговування. Якщо поштомот розміщений у місці з високим попитом, він може швидко заповнюватися, що створює додаткове навантаження на кур'єрські маршрути. У таких умовах GPS-навігація та цифровий моніторинг стають необхідними інструментами, оскільки дають змогу оперативно коригувати порядок об'їзду поштомотів, враховувати дорожню ситуацію і змінювати маршрут залежно від поточного завантаження точок видачі.

За характером вантажопотоків систему доставки «Нової пошти» в Тернополі можна поділити на декілька основних напрямів. Перший напрям пов'язаний із доставкою відправлень з інших міст України до Тернополя. Другий напрям охоплює відправлення з Тернополя до інших населених пунктів. Третій напрям включає внутрішньоміську доставку між відділеннями, поштомотами, підприємствами та кінцевими клієнтами. Четвертий напрям пов'язаний з адресним забором і доставкою відправлень від фізичних та юридичних осіб. Кожен із цих напрямів має власні вимоги до транспортного планування, однак усі вони залежать від узгодженості роботи відділень, поштомотів і транспортних засобів.

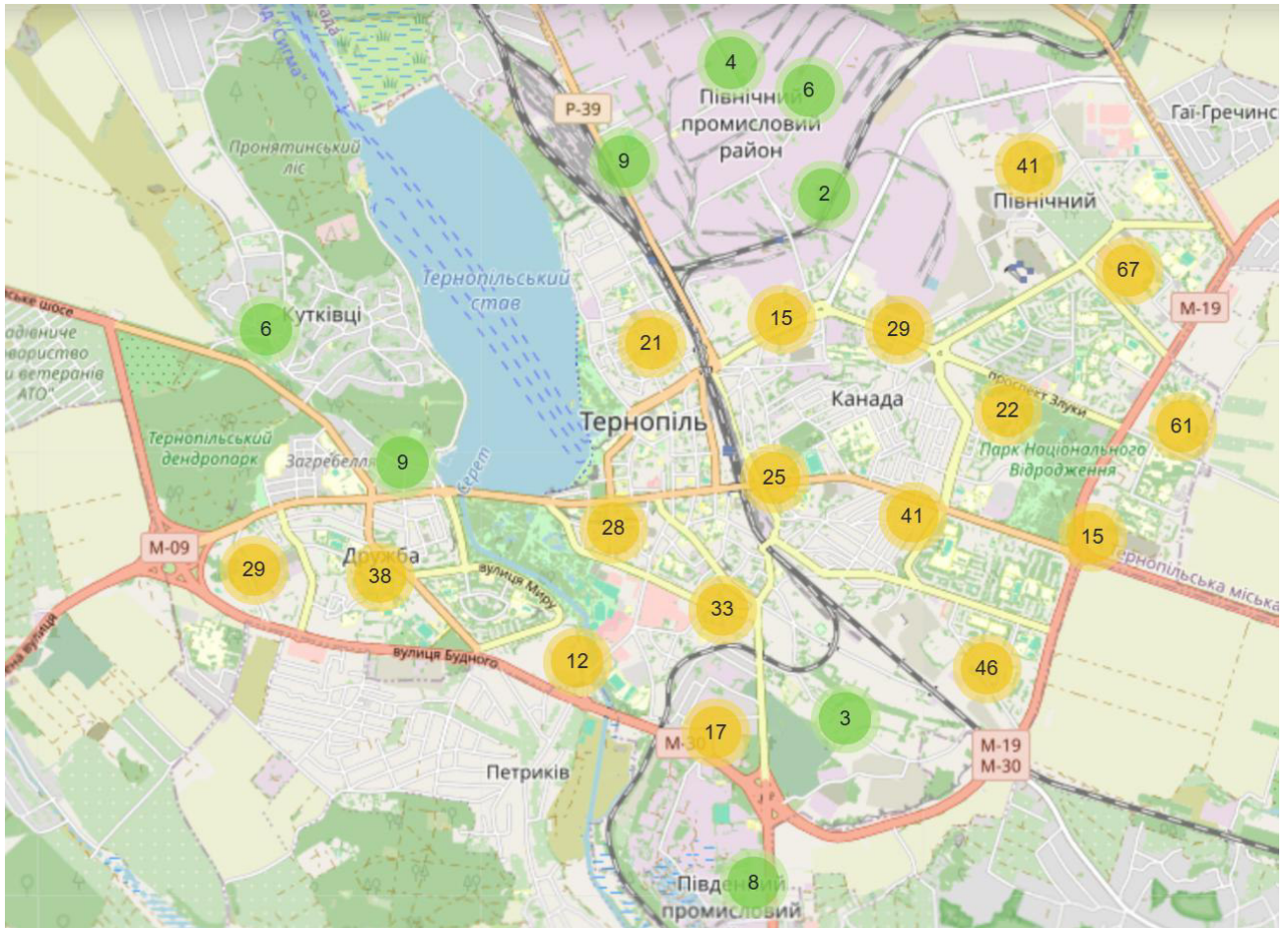


Рисунок 1.5 – Мережа відділень та поштоматів сервісу доставки «Нова пошта»

Основними типами вантажів у досліджуваній системі є документи, дрібні посилки, товари інтернет-магазинів, побутові речі, запасні частини, електроніка, одяг, господарські товари, великогабаритні посилки та палетовані відправлення. Для дрібних і середніх посилок найбільш ефективними є поштові відділення та поштомати. Для великогабаритних вантажів доцільніше використовувати вантажні відділення або адресну доставку. Такий розподіл вантажів за каналами обслуговування дозволяє зменшити перевантаження окремих елементів мережі та підвищити загальну швидкість обробки відправлень.

Режим роботи системи є наближеним до щоденного обслуговування. Відділення зазвичай працюють у денний період із розширеним графіком у будні дні та скороченим графіком у вихідні. Поштомати, навпаки, переважно доступні протягом усієї доби. Така комбінація режимів роботи підвищує гнучкість системи доставки. Відділення забезпечують повний комплекс операцій, зокрема

приймання, видачу, оплату, пакування та консультації, тоді як поштомати забезпечують швидке самообслуговування для стандартних посилок. У результаті клієнти отримують можливість обирати між повноцінним сервісом у відділенні та швидким отриманням у найближчій автоматизованій точці.

Вплив мережі відділень і поштоматів на час доставки є суттєвим. Чим щільніше розміщені точки видачі, тим меншою є середня відстань від клієнта до місця отримання посилки. Для оператора це означає можливість формувати компактніші маршрути розвезення, зменшувати непродуктивні пробіги та раціональніше розподіляти замовлення між транспортними засобами. Для клієнта це означає скорочення часу доступу до послуги, зменшення потреби у поїздках через усе місто та підвищення зручності отримання відправлення.

GPS-навігація в такій системі виконує не лише функцію прокладання маршруту, а й функцію оперативного управління транспортним процесом. Вона дозволяє визначати фактичне місцезнаходження автомобіля, контролювати дотримання маршруту, оцінювати час прибуття до наступної точки, враховувати затори, ремонти доріг, перекриття, аварійні ситуації та інші фактори. Для Тернополя це має практичне значення, оскільки транспортне навантаження в місті є нерівномірним, а час руху між одними й тими самими пунктами може помітно відрізнятися залежно від періоду доби.

Отже, транспортна система «Нової пошти» у Тернополі є розгалуженою міською логістичною мережею, яка поєднує стаціонарні відділення, вантажні пункти, поштомати та кур'єрське обслуговування. Відділення забезпечують основну обробку та видачу відправлень, вантажні відділення концентрують великогабаритні вантажопотоки, а поштомати підвищують доступність послуг і скорочують час отримання стандартних посилок. Найбільший ефект для оптимізації маршрутів забезпечує поєднання щільної мережі точок видачі з використанням GPS-навігації, оскільки це дозволяє зменшити довжину маршрутів, скоротити кількість непродуктивних заїздів, підвищити точність прогнозування часу доставки та покращити якість транспортного обслуговування клієнтів.

Таблиця 1.1 – Структура міської системи доставки «Нової пошти» у Тернополі можна подати у вигляді такої характеристики.

Елемент системи	Основне призначення	Типові відправлення	Вплив на час доставки
Поштові відділення	Приймання та видача стандартних посилок	Документи, посилки до 30 кг, товари інтернет-магазинів	Скорочують відстань до клієнта, але час отримання залежить від графіка роботи та черг
Вантажні відділення	Обслуговування важчих і габаритніших вантажів	Великі посилки, вантажі для підприємств, палети	Концентрують великі вантажопотоки та зменшують потребу у в'їзді вантажного транспорту в щільну забудову
Поштомати	Автоматизована видача та частково відправлення посилок	Невеликі посилки з обмеженням за габаритами і масою	Зменшують час отримання, працюють без участі оператора, знижують навантаження на відділення
Кур'єрська доставка	Доставка або забір відправлень за адресою клієнта	Документи, посилки, комерційні відправлення	Забезпечує максимальну зручність, але потребує більшої кількості зупинок і точного планування маршруту
GPS-навігація	Контроль і коригування руху транспортних засобів	Інформаційний елемент транспортного процесу	Дає змогу зменшити затримки, обирати раціональний маршрут і прогнозувати час прибуття

1.3. Аналіз існуючої організації маршрутів доставки

Організація маршрутів доставки у міській транспортно-логістичній системі ґрунтується на щоденному формуванні потоків відправлень, їх сортуванні за напрямками обслуговування та подальшому розподілі між

транспортними засобами. У випадку системи експрес-доставки, що функціонує в межах міста Тернопіль, маршрутна робота має циклічний характер і включає завезення відправлень до відділень, обслуговування поштоматів, адресну доставку клієнтам, забір посилок від фізичних та юридичних осіб, а також повернення транспортних засобів до базового пункту або сортувального вузла.

Чинна схема формування маршрутів доставки залежить від просторового розташування відділень, поштоматів і клієнтів, кількості замовлень у конкретний день, маси та габаритів відправлень, режиму роботи точок обслуговування, а також дорожньої ситуації в місті. На початковому етапі всі відправлення групуються за районами обслуговування. Далі диспетчер або автоматизована інформаційна система формує завдання для окремих транспортних засобів. При цьому враховується вантажомісткість автомобіля, кількість точок доставки, пріоритетність окремих відправлень і необхідність дотримання орієнтовних часових інтервалів прибуття.

У міських умовах маршрути доставки доцільно поділяти на декілька типів. До першого типу належать маршрути між сортувальним або розподільчим пунктом і відділеннями. Їх основне завдання полягає у завезенні партій відправлень до стаціонарних пунктів обслуговування та заборі посилок, прийнятих від клієнтів протягом дня. До другого типу належать маршрути обслуговування поштоматів. Вони мають вищу щільність зупинок, але коротший час обслуговування кожної точки, оскільки операції виконуються без взаємодії з персоналом відділення або клієнтом. До третього типу належать адресні кур'єрські маршрути, які є найбільш складними з погляду планування, оскільки включають значну кількість індивідуальних адрес, різну тривалість зупинок і залежність від готовності клієнта прийняти або передати відправлення.

Розподіл замовлень між транспортними засобами зазвичай виконується за територіальним принципом. Місто умовно поділяється на зони обслуговування: центральну частину, житлові масиви, промислові зони, райони біля основних магістралей і периферійні території. Такий підхід дає змогу закріпити за кожним автомобілем певний сектор міста, зменшити хаотичні переміщення та уникнути

дублювання маршрутів. Проте в реальних умовах територіальний принцип не завжди забезпечує мінімальну довжину пробігу, оскільки кількість замовлень у різних районах змінюється щоденно, а дорожня ситуація може суттєво впливати на фактичний час руху.

Послідовність обслуговування клієнтів у чинній схемі часто формується з урахуванням географічної близькості точок доставки. Кур'єр або диспетчер намагається побудувати маршрут так, щоб транспортний засіб рухався від однієї адреси до іншої без значних відхилень від загального напрямку. Водночас на практиці така послідовність не завжди є оптимальною. Причинами цього можуть бути затори, перекриття доріг, обмеження на рух вантажного транспорту, відсутність місць для короткочасної зупинки, затримки під час передачі відправлень, а також необхідність повторного заїзду до клієнта у разі його відсутності.

Для умовного аналізу міської доставки в Тернополі можна прийняти, що один автомобіль протягом робочої зміни обслуговує від 35 до 70 точок залежно від типу маршруту. Для маршрутів, які орієнтовані переважно на поштомати та відділення, кількість точок є меншою, але обсяг відправлень у кожній точці більший. Для адресної доставки кількість зупинок є більшою, однак у кожній точці зазвичай передається одна або декілька посилок. Середня довжина одного міського маршруту може становити орієнтовно 45–80 км за зміну, а у випадку обслуговування периферійних районів або прилеглих населених пунктів вона може збільшуватися до 90–120 км.

Тривалість виконання маршруту залежить від довжини пробігу, кількості зупинок, середньої технічної швидкості, часу на вантажно-розвантажувальні операції та простоїв. У межах Тернополя середня швидкість руху автомобіля доставки впродовж дня є нерівномірною. У ранкові та вечірні години вона знижується через збільшення інтенсивності транспортного потоку, тоді як у міжпіковий період рух є стабільнішим. У центральній частині міста додаткові втрати часу виникають через обмежені можливості паркування, пішохідний рух, світлофорне регулювання та щільну забудову.

Простої є одним із важливих чинників, які знижують ефективність доставки. Вони виникають під час очікування клієнта, пошуку адреси або під'їзду до неї, оформлення відправлення, завантаження та розвантаження посилок, очікування доступу до поштоmata або відділення, а також унаслідок затримок у дорожньому русі. Особливо суттєвими є простої в адресній доставці, де час обслуговування однієї точки може значно відрізнятись. Якщо клієнт не відповідає на дзвінок або відсутній за адресою, кур'єр втрачає час, а замовлення може бути перенесене на інший період або повернуте до відділення.

Порожні пробіги в існуючій схемі виникають тоді, коли автомобіль рухається без корисного вантажу або з неповним завантаженням. Найчастіше це спостерігається під час повернення автомобіля після завершення маршруту, переїзду між віддаленими районами міста, виконання повторних заїздів або неузгодженого розподілу замовлень між транспортними засобами. Зменшення порожніх пробігів є одним із головних резервів підвищення ефективності доставки, оскільки кожен кілометр без вантажу збільшує витрати пального, час роботи водія та знос транспортного засобу, але не створює корисного транспортного результату.

Наведені показники свідчать, що ефективність чинної організації маршрутів значною мірою залежить не тільки від кількості транспортних засобів, а й від якості планування їх роботи. Якщо маршрут сформовано без урахування поточної дорожньої ситуації, часових обмежень і реального розташування точок обслуговування, автомобіль може виконувати зайві переїзди, простоювати в заторах або обслуговувати клієнтів у нерациональній послідовності. У результаті збільшується загальний час доставки, погіршується точність прибуття та зростають експлуатаційні витрати.

Таблиця 1.2 – Характеристика основних показників міської доставки.

Показник	Орієнтовне значення для міського маршруту	Вплив на ефективність доставки
Кількість точок обслуговування за зміну	35–70 точок	Визначає завантаження кур'єра та тривалість маршруту
Середня довжина маршруту	45–80 км	Впливає на витрати пального, пробіг і тривалість роботи автомобіля
Тривалість виконання маршруту	6–9 год	Визначає можливість виконання всіх замовлень у межах робочого дня
Середній час обслуговування однієї адресної точки	5–12 хв	Формує значну частину загального часу доставки
Середній час обслуговування поштомата	3–8 хв	Дає змогу швидше обробляти групові точки видачі
Частка порожнього пробігу	10–25 %	Характеризує втрати транспортної роботи
Основні причини простоїв	затори, очікування клієнта, складність під'їзду, завантаження	Збільшують фактичний час доставки та знижують продуктивність автомобіля

Особливої уваги потребує взаємодія між адресною доставкою, відділеннями та поштоматами. Поштомати дають змогу зменшити навантаження на кур'єрську доставку, оскільки багато індивідуальних замовлень концентруються в одній автоматизованій точці. Проте для цього необхідно

правильно визначати черговість їх обслуговування. Якщо поштомати включаються в маршрут без урахування фактичної заповненості, розташування та часу під'їзду, це може спричиняти додаткові відхилення від основного маршруту. Відділення також потребують чіткого графіка завезення і забору відправлень, оскільки несвоєчасне обслуговування стаціонарного пункту може призвести до накопичення посилок і затримки подальшого сортування.

Типовою проблемою існуючої організації доставки є нерівномірність навантаження на маршрути. В одні дні або в окремі періоди доби частина автомобілів може бути перевантажена замовленнями, тоді як інші працюють із неповним завантаженням. Це пояснюється коливаннями попиту, різною щільністю замовлень у районах міста, сезонними чинниками, активністю інтернет-торгівлі та графіком роботи клієнтів. За відсутності оперативного перерозподілу замовлень між транспортними засобами виникає ризик затримок і невиконання частини доставок у запланований час.

Ще однією проблемою є недостатнє врахування динамічних умов руху. Маршрут, який є раціональним за географічною відстанню, не завжди є найкращим за тривалістю руху. Наприклад, коротший шлях через центральну частину міста може потребувати більше часу через затори, світлофори, пішохідні переходи та складність зупинки. Натомість довший маршрут магістральними вулицями може бути швидшим і стабільнішим за часом. Тому для реальної оптимізації необхідно враховувати не лише довжину маршруту, а й фактичну швидкість руху на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі.

Важливе значення має також проблема повторних заїздів. Вони виникають тоді, коли кур'єр не може передати відправлення з першої спроби. Повторний заїзд збільшує пробіг, порушує послідовність обслуговування інших клієнтів і створює додаткове навантаження на транспортний засіб. Частину таких втрат можна зменшити за рахунок попереднього інформування клієнта, уточнення часу доставки, перенаправлення посилки до поштомата або найближчого відділення.

Аналіз існуючої організації маршрутів показує, що основними резервами підвищення ефективності є скорочення порожніх пробігів, зменшення простоїв, раціональніший розподіл замовлень між автомобілями, правильне групування точок доставки за територіальним принципом і використання актуальної інформації про дорожню ситуацію. У цьому контексті GPS-навігація є важливим інструментом удосконалення маршрутної роботи. Вона дає змогу контролювати фактичний рух автомобілів, порівнювати планові та реальні маршрути, визначати місця виникнення затримок, оперативно змінювати порядок обслуговування точок і підвищувати точність прогнозування часу прибуття.

Отже, чинна організація маршрутів доставки у міській логістичній системі має достатньо розвинену структуру, однак характеризується низкою проблем, пов'язаних із нерівномірністю замовлень, простоями, порожніми пробігами, повторними заїздами та впливом дорожньої ситуації. Найбільш складним елементом є адресна доставка, оскільки вона потребує індивідуального підходу до кожного клієнта та має значні коливання часу обслуговування. Відділення та поштамати частково зменшують ці проблеми, оскільки концентрують вантажопотоки в окремих точках. Подальше підвищення ефективності маршрутів доцільно здійснювати шляхом використання GPS-навігації, цифрового моніторингу та оптимізаційних методів планування послідовності обслуговування клієнтів.

1.4. Аналіз використання GPS-навігації у транспортному процесі та виявлення недоліків існуючої системи маршрутизації

У сучасних умовах організації доставки вантажів GPS-навігація є одним із ключових інструментів управління транспортним процесом. Її використання дає змогу не лише визначати поточне місцезнаходження транспортного засобу, а й здійснювати постійний контроль за виконанням маршруту, швидкістю руху, тривалістю зупинок, пробігом автомобіля, відхиленнями від запланованої траєкторії та фактичним часом прибуття до пунктів доставки. Для міської

логістичної системи, яка обслуговує значну кількість відділень, поштоMATів і адресних клієнтів, GPS-навігація має важливе значення, оскільки дозволяє підвищити точність планування та оперативність прийняття управлінських рішень.

Призначення GPS-навігації у транспортному процесі полягає у визначенні координат автомобіля за допомогою супутникових сигналів і передачі цих даних до навігаційної або диспетчерської системи. На основі отриманої інформації можна контролювати переміщення автомобіля в режимі реального часу, аналізувати історію його руху, порівнювати плановий і фактичний маршрути, оцінювати продуктивність роботи водія та виявляти нераціональні переміщення. У доставці вантажів це особливо важливо, оскільки маршрут транспортного засобу складається з великої кількості окремих точок, а затримка на одній ділянці може вплинути на виконання всього графіка.

Однією з основних функцій GPS-навігації є визначення місцезнаходження транспортного засобу. Завдяки цьому диспетчер може бачити, де саме перебуває автомобіль, чи наближається він до наступного пункту доставки, чи виконує заплановану послідовність обслуговування клієнтів. У разі виникнення затору, дорожньо-транспортної пригоди, перекриття дороги або іншої перешкоди диспетчер має можливість оперативно скоригувати маршрут. Це дозволяє зменшити непродуктивні втрати часу та підвищити надійність доставки.

Важливою можливістю GPS-навігації є фіксація швидкості руху транспортного засобу. Аналіз швидкості дає змогу оцінити реальні умови руху на окремих ділянках вулично-дорожньої мережі. Якщо автомобіль тривалий час рухається з низькою швидкістю, це може свідчити про затор, складні дорожні умови, обмеження руху або нераціональний вибір маршруту. На основі таких даних можна визначати ділянки, які систематично створюють затримки, і надалі уникати їх під час планування маршрутів доставки.

GPS-навігація також дає змогу фіксувати загальний і частковий пробіг автомобіля. Це важливо для оцінювання ефективності використання транспортних засобів, контролю витрат пального, визначення частки

порожнього пробігу та аналізу відхилень від запланованого маршруту. Якщо фактичний пробіг суттєво перевищує розрахунковий, це може свідчити про неправильну послідовність обслуговування точок, повторні заїзди, дублювання маршрутів або недостатньо якісне планування доставки. Таким чином, дані GPS-моніторингу можуть бути використані не лише для поточного контролю, а й для подальшого вдосконалення маршрутної схеми.

Окреме значення має фіксація зупинок транспортного засобу. У процесі доставки автомобіль виконує значну кількість короткочасних зупинок біля відділень, поштоматів, підприємств, житлових будинків та інших пунктів обслуговування. За допомогою GPS-навігації можна визначити тривалість кожної зупинки, її місце та відповідність запланованому маршруту. Якщо зупинка є надто тривалою, це може вказувати на затримку під час передачі відправлення, очікування клієнта, складність доступу до адреси, проблеми з паркуванням або інші організаційні недоліки.

Для системи доставки, що обслуговує мережу відділень і поштоматів, контроль зупинок є особливо важливим. Обслуговування поштомата зазвичай має бути коротшим, ніж адресна доставка, оскільки кур'єр не взаємодіє з конкретним клієнтом і виконує операції за стандартизованим алгоритмом. Якщо фактичний час обслуговування поштомата часто перевищує нормативний, це може свідчити про його перевантаження, незручне розташування, проблеми з доступом або недостатню оптимізацію послідовності його включення до маршруту. Відповідно, GPS-дані дозволяють виявити такі проблемні точки й обґрунтувати зміни в маршрутизації.

Ще однією важливою функцією GPS-навігації є фіксація відхилень від маршруту. У реальному транспортному процесі водій може змінювати траєкторію руху через затори, ремонтні роботи, перекриття, складність під'їзду до клієнта або власне рішення щодо вибору дороги. Частина таких відхилень є об'єктивно необхідною, однак систематичні або необґрунтовані відхилення можуть призводити до збільшення пробігу, порушення графіка доставки та

зниження ефективності використання автомобіля. Тому контроль відхилень є важливим елементом диспетчерського управління.

GPS-навігація дозволяє також визначати фактичний час доставки. Для цього фіксується час прибуття автомобіля до кожної точки маршруту, тривалість обслуговування та час виїзду до наступної точки. Порівняння планового й фактичного часу дає змогу оцінити точність прогнозування доставки та виявити причини затримок. Якщо відхилення виникають регулярно в одних і тих самих районах або на одних і тих самих ділянках дороги, це свідчить про необхідність коригування маршрутів, зміни часу виїзду або перерозподілу замовлень між транспортними засобами.

У практичній діяльності GPS-навігація може використовуватися на трьох рівнях. Перший рівень – навігаційний, коли водій використовує систему для вибору шляху до пункту доставки. Другий рівень – диспетчерський, коли інформація про рух автомобіля надходить до відповідального працівника, який контролює виконання маршруту. Третій рівень – аналітичний, коли накопичені GPS-дані використовуються для оцінювання ефективності маршрутів, виявлення проблемних ділянок, розрахунку пробігу, простоїв, середньої швидкості та продуктивності транспортних засобів. Найбільш ефективним є поєднання всіх трьох рівнів, оскільки воно дає змогу не лише вести автомобіль за маршрутом, а й удосконалювати саму систему доставки.

Разом із тим наявність GPS-навігації не завжди означає повну оптимізацію маршрутів. У багатьох випадках GPS використовується переважно як засіб контролю місцезнаходження автомобіля, а не як інструмент комплексного планування транспортного процесу. Якщо маршрут попередньо сформовано нераціонально, сама навігація не усуває помилки в розподілі замовлень або послідовності об'їзду точок. Вона лише допомагає водію рухатися за заданим напрямком і дає змогу фіксувати фактичні відхилення. Тому для досягнення реального ефекту GPS-навігація повинна поєднуватися з алгоритмами оптимізації маршрутів і диспетчерським аналізом транспортних показників.

Одним із головних недоліків існуючої системи маршрутизації є нераціональна послідовність об'їзду пунктів доставки. У практиці міської доставки часто виникають ситуації, коли автомобіль спочатку обслуговує віддалену точку, потім повертається до центральної частини міста, а згодом знову рухається у напрямку того самого району. Такі переміщення збільшують пробіг і тривалість маршруту. Причиною цього може бути недостатнє врахування просторового розташування замовлень, часових обмежень клієнтів або поточної дорожньої ситуації.

Другою проблемою є дублювання маршрутів. Воно виникає тоді, коли декілька автомобілів обслуговують близькі за розташуванням точки, але належать до різних маршрутних завдань. У результаті транспортні засоби можуть рухатися одними й тими самими вулицями, виконуючи частково подібні маршрути, хоча частину замовлень можна було б об'єднати в один раціональніший маршрут. Дублювання особливо небажане в умовах щільного міського руху, оскільки воно збільшує загальний пробіг, витрати пального і навантаження на вулично-дорожню мережу.

Третьою суттєвою проблемою є надлишковий пробіг. Він формується внаслідок повторних заїздів, неправильного групування замовлень, неузгодженого обслуговування відділень і поштоматів, а також недостатнього використання інформації про фактичний стан дорожнього руху. Надлишковий пробіг безпосередньо впливає на витрати пального, технічний знос автомобіля, оплату праці водія та загальну собівартість доставки. Крім того, збільшення пробігу зменшує кількість замовлень, які автомобіль може виконати протягом робочої зміни.

Затримки через затори є типовою проблемою для міської доставки. Навіть якщо географічно маршрут є коротким, фактичний час руху може бути значним через інтенсивний транспортний потік, світлофорне регулювання, дорожні роботи, аварійні ситуації, нерівномірне завантаження магістральних вулиць і складність паркування біля пунктів доставки. Для Тернополя ця проблема особливо актуальна в центральній частині міста, на підходах до ринків, торгових

об'єктів, навчальних закладів, вокзалу та великих житлових масивів. У таких умовах оптимальним слід вважати не найкоротший маршрут за відстанню, а маршрут із найменшим очікуваним часом виконання.

Недостатній контроль за рухом автомобілів також знижує ефективність системи доставки. Якщо диспетчер не має повної інформації про фактичне місцезнаходження автомобіля, тривалість зупинок, відхилення від маршруту та поточне виконання завдань, ускладнюється оперативне управління транспортним процесом. У такому випадку проблеми виявляються вже після завершення зміни, коли виправити затримки або перерозподілити замовлення неможливо. GPS-моніторинг дозволяє перейти від післяопераційного контролю до поточного управління, однак для цього необхідно систематично використовувати отримані дані.

Ще одним недоліком є неефективне використання транспортних засобів. Частина автомобілів може працювати з перевантаженням, тоді як інші мають неповне завантаження або виконують маршрути з невеликою кількістю точок. Це свідчить про недостатньо точний розподіл замовлень між транспортними засобами. Крім того, не завжди враховується тип автомобіля, його вантажомісткість, витрата пального, зручність маневрування в міських умовах і доцільність використання на конкретному маршруті. Наприклад, для щільної адресної доставки у центральній частині міста доцільнішими є компактні автомобілі, тоді як для заезення великих партій відправлень до відділень або поштоматів можуть використовуватися транспортні засоби більшої місткості.

Таблиця 1.3 – Основні недоліки існуючої системи маршрутизації можна узагальнити у вигляді таблиці.

Недолік існуючої системи	Причина виникнення	Наслідки для транспортного процесу	Можливість усунення за допомогою GPS-навігації
Нераціональна послідовність об'їзду пунктів	Недостатнє врахування розташування точок і дорожньої ситуації	Збільшення часу доставки та пробігу	Побудова маршруту з врахуванням фактичного часу руху
Дублювання маршрутів	Неузгоджені розподіл замовлень між автомобілями	Повторне проходження одних і тих самих ділянок	Виявлення накладання маршрутів за GPS-треками
Надлишковий пробіг	Повторні заїзди, неправильне групування замовлень	Зростання витрат пального і зносу автомобіля	Контроль фактичного пробігу та порівняння з плановим
Затримки через затори	Нерівномірне завантаження вулично-дорожньої мережі	Порушення графіка доставки	Оперативне коригування маршруту
Тривалі простой	Очікування клієнта, складність під'їзду, проблеми з паркуванням	Зменшення продуктивності автомобіля	Фіксація місця і тривалості зупинок

Недолік існуючої системи	Причина виникнення	Наслідки для транспортного процесу	Можливість усунення за допомогою GPS-навігації
Недостатній контроль за рухом	Відсутність повного моніторингу маршруту	Ускладнення диспетчерського управління	Відстеження автомобіля в реальному часі
Неефективне використання автомобілів	Нерівномірний розподіл замовлень	Перевантаження одних маршрутів і недовантаження інших	Аналіз завантаження, пробігу та часу роботи автомобілів

Проведений аналіз показує, що GPS-навігація є важливим інструментом підвищення ефективності доставки, однак її результативність залежить від способу використання. Якщо система застосовується лише для орієнтування водія на місцевості, її потенціал використовується частково. Значно більший ефект досягається тоді, коли GPS-дані використовуються для планування, контролю, оперативного коригування та подальшого аналізу маршрутів. У цьому випадку навігаційна інформація перетворюється на основу для прийняття управлінських рішень.

Отже, існуюча система маршрутизації має низку недоліків, які знижують ефективність транспортного процесу. До них належать нераціональна послідовність обслуговування пунктів доставки, дублювання маршрутів, надлишковий пробіг, затримки через затори, тривалі простої, недостатній диспетчерський контроль і нерівномірне використання транспортних засобів. Використання GPS-навігації створює передумови для усунення цих проблем, оскільки забезпечує об'єктивні дані про рух автомобілів, фактичний час доставки, пробіг, швидкість, зупинки та відхилення від маршруту. Подальше

вдосконалення системи доставки доцільно здійснювати шляхом поєднання GPS-моніторингу з оптимізаційними методами формування маршрутів.

1.5 Висновки та постановка задач на кваліфікаційну роботу бакалавра

У першому розділі виконано аналіз об'єкта дослідження, яким є процес доставки вантажів автомобільним транспортом у межах міської транспортно-логістичної системи. Розглянуто загальну характеристику доставки вантажів, основні етапи транспортного обслуговування клієнтів, роль маршрутизації у забезпеченні своєчасного виконання замовлень, а також значення GPS-навігації для контролю, аналізу та оперативного коригування руху транспортних засобів.

Установлено, що доставка вантажів є складним керованим процесом, який охоплює приймання замовлення, аналіз характеристик вантажу, вибір транспортного засобу, планування маршруту, завантаження, виконання перевезення, GPS-контроль руху, розвантаження та підтвердження факту доставки. Ефективність цього процесу залежить не лише від технічних характеристик автомобіля, а й від раціональності побудови маршруту, дорожніх умов, кількості точок обслуговування, тривалості простоїв, організації роботи диспетчера та здатності системи швидко реагувати на зміну транспортної ситуації.

Як об'єкт аналізу прийнято транспортно-логістичну систему сервісу доставки «Нова пошта» у місті Тернополі. Визначено, що ця система включає міські відділення, вантажні відділення, поштомати, кур'єрську доставку, транспортні засоби для міського розвезення та інформаційні засоби контролю перевезень. Така структура є характерною для сучасної міської доставки, оскільки поєднує стаціонарні пункти обслуговування, автоматизовані точки видачі та адресну доставку клієнтам.

Проведений аналіз показав, що важливу роль у скороченні часу доставки відіграє розміщення відділень і поштоматів. Відділення забезпечують приймання, видачу та обробку відправлень, вантажні відділення концентрують

великогабаритні вантажопотоки, а поштомати дають змогу зменшити кількість індивідуальних адресних заїздів і підвищити зручність отримання посилок. Водночас ефективність використання цієї мережі залежить від правильного планування маршрутів, оскільки навіть щільна мережа точок обслуговування не гарантує зменшення пробігу без раціонального розподілу замовлень між автомобілями.

Аналіз існуючої організації маршрутів доставки засвідчив, що формування маршрутів переважно здійснюється за територіальним принципом, коли місто умовно поділяється на окремі зони обслуговування. Такий підхід дозволяє зменшити хаотичність переміщення транспортних засобів і закріпити за кожним автомобілем певний сектор роботи. Проте в реальних умовах Тернополя територіальний принцип не завжди забезпечує мінімальний пробіг і найменший час виконання маршруту, оскільки кількість замовлень у районах змінюється щоденно, а дорожня ситуація є нерівномірною протягом доби.

До основних недоліків існуючої системи маршрутизації належать надлишковий пробіг, порожні переїзди, дублювання окремих ділянок маршрутів, нерівномірне завантаження транспортних засобів, затримки через затори, простої під час очікування клієнтів, повторні заїзди за одними й тими самими адресами, а також недостатньо повне використання фактичних GPS-даних для оперативного коригування маршрутів. Особливо відчутними ці проблеми є під час адресної доставки, де кожна додаткова зупинка або повторний заїзд збільшує час роботи автомобіля, витрати пального та навантаження на водія.

У процесі дослідження встановлено, що GPS-навігація є не лише засобом визначення місцезнаходження автомобіля, а й важливим інструментом управління транспортним процесом. Вона дозволяє контролювати фактичну траєкторію руху, порівнювати її із запланованим маршрутом, фіксувати відхилення, визначати тривалість простоїв, оцінювати швидкість руху, прогнозувати час прибуття до наступної точки та формувати звітність після завершення рейсу. Завдяки цьому з'являється можливість перейти від

статичного планування маршрутів до динамічного управління доставкою з урахуванням фактичної дорожньої ситуації.

За результатами аналізу можна зробити висновок, що чинна система доставки має значний потенціал для підвищення ефективності. Основними резервами вдосконалення є скорочення непродуктивного пробігу, зменшення частки порожніх переїздів, оптимізація послідовності об'їзду пунктів доставки, раціональніше використання поштоматів як групових точок обслуговування, рівномірний розподіл замовлень між автомобілями та використання GPS-даних для оперативного коригування маршрутів упродовж робочої зміни.

З урахуванням виявлених недоліків подальше дослідження доцільно спрямувати на розроблення заходів із підвищення ефективності транспортного процесу в міській системі доставки. Для цього необхідно сформулювати задачу оптимізації маршрутів доставки, визначити критерії оцінювання ефективності маршрутів, обґрунтувати показники, за якими порівнюватимуться існуюча та запропонована схеми руху, а також виконати розрахунок очікуваного ефекту від використання GPS-навігації.

Основними задачами подальшого дослідження є обґрунтування підходу до оптимізації маршрутів доставки в умовах міста Тернополя; визначення критеріїв оптимізації, до яких належать довжина маршруту, тривалість доставки, витрати пального, кількість виконаних доставок, частка порожнього пробігу та своєчасність обслуговування клієнтів; формування вихідної маршрутної схеми доставки; розподіл точок обслуговування за логістичними зонами міста; оцінювання існуючих показників роботи транспортних засобів; розроблення оптимізованої схеми руху з використанням GPS-даних; порівняння планових і фактичних параметрів маршрутів; визначення економічного та організаційного ефекту від запропонованих рішень.

У подальших розділах необхідно також розглянути питання безпеки під час виконання доставки вантажів, оскільки оптимізація маршрутів має забезпечувати не лише скорочення пробігу та витрат, а й безпечні умови роботи водіїв, експедиторів, вантажників і диспетчерів. GPS-навігація у цьому контексті

може використовуватися для контролю місцезнаходження автомобіля, вибору безпечних маршрутів, швидкого реагування на аварійні ситуації та підвищення загальної надійності транспортного процесу.

Отже, результати першого розділу підтверджують актуальність оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігації. Виявлені проблеми існуючої системи маршрутизації свідчать про потребу в удосконаленні планування, контролю та оперативного управління рухом транспортних засобів. Подальше розроблення заходів має бути спрямоване на зменшення пробігу, скорочення часу доставки, зниження витрат пального, підвищення продуктивності автомобілів, покращення своєчасності обслуговування клієнтів і забезпечення більш раціональної роботи міської транспортно-логістичної системи.

2 ЗАХОДИ ІЗ УДОСКОНАЛЕННЯ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

2.1. Постановка задачі оптимізації маршрутів доставки

Постановка задачі оптимізації маршрутів доставки для міста Тернополя повинна враховувати особливості просторового розміщення відділень, поштоматів, вантажних пунктів і адресних клієнтів «Нової пошти». У межах міської логістичної системи Тернополя транспортні засоби виконують доставку відправлень між сортувальним або розподільчим пунктом, міськими відділеннями, поштоматами, підприємствами та кінцевими одержувачами. Така система характеризується великою кількістю щоденних переміщень, нерівномірним розміщенням пунктів обслуговування, різною інтенсивністю руху в окремих районах міста та необхідністю дотримання встановлених строків доставки.

Для Тернополя задача оптимізації маршрутів має практичне значення через компактну, але нерівномірно завантажену вулично-дорожню мережу. Центральна частина міста, райони поблизу залізничного вокзалу, ринків, торгових центрів, навчальних закладів, вулиць Руської, Князя Острозького, Живова, Збараської, Микулинецької, Об'їзної та основних виїздів з міста мають різні умови руху протягом доби. У години пікового навантаження час руху між відділеннями та адресами клієнтів може суттєво збільшуватися, хоча географічна відстань між ними залишається незначною. Тому для міської доставки в Тернополі недостатньо формувати маршрути лише за принципом найкоротшої відстані. Необхідно враховувати фактичний час руху, затори, можливість під'їзду до пункту обслуговування, тривалість зупинки та порядок виконання замовлень.

У досліджуваній системі основними пунктами маршрутизації є відділення «Нової пошти», поштомати, адреси клієнтів, пункти забору відправлень і вантажні відділення. Відділення розміщені в різних частинах Тернополя і виконують функцію стаціонарних логістичних вузлів, через які проходить

значна частина вантажопотоку. Поштові відділення обслуговують переважно документи, посилки до 30 кг і відправлення інтернет-торгівлі. Вантажні відділення орієнтовані на більші за масою та габаритами відправлення, тому для них особливо важливо забезпечити зручний під'їзд автомобілів, можливість маневрування та мінімізацію руху великогабаритного транспорту через перевантажені ділянки міста. Поштомати, у свою чергу, є мікрологістичними пунктами, які дозволяють концентрувати значну кількість дрібних посилок в одній точці та зменшувати кількість індивідуальних адресних заїздів.

З урахуванням цього задача оптимізації маршрутів доставки у Тернополі полягає у визначенні такої схеми руху транспортних засобів «Нової пошти», за якої забезпечується своєчасне обслуговування відділень, поштоматів і адресних клієнтів при мінімальному загальному пробігу, скороченні часу доставки, зменшенні витрат пального та раціональному завантаженні автомобілів. Оптимальний маршрут повинен не лише поєднувати окремі точки на карті міста, а й враховувати характер кожної точки обслуговування. Наприклад, доставка до поштомата може передбачати одночасне завантаження кількох десятків відправлень, тоді як адресна доставка потребує окремої зупинки біля кожного клієнта. Через це час обслуговування однієї точки, кількість відправлень і доступність під'їзду повинні бути обов'язковими параметрами під час побудови маршруту.

Особливістю Тернополя є те, що місто має виражені житлові райони, промислові зони, центральну ділову частину та периферійні території. Відділення і поштомати «Нової пошти» розміщені таким чином, щоб охоплювати різні райони міста, зокрема центральну частину, житлові масиви «Дружба», «Східний», «БАМ», «Новий Світ», а також території поблизу основних магістральних вулиць. Унаслідок цього маршрути доставки доцільно формувати не хаотично, а шляхом групування пунктів за логістичними зонами. Проте простий поділ міста на райони не завжди забезпечує оптимальний результат, оскільки дорожня ситуація, інтенсивність руху та тривалість під'їзду до окремих точок можуть змінюватися протягом дня.

Для адресної доставки найбільш складним є визначення послідовності обслуговування клієнтів. Якщо автомобіль обслуговує адреси в нераціональному порядку, виникають зайві переїзди між районами міста, дублювання окремих ділянок маршруту, збільшення порожнього пробігу та втрата часу. Наприклад, неефективним є маршрут, за якого автомобіль спочатку виконує доставку в районі «Дружба», потім переїжджає в район «Східний», після чого знову повертається до центральної частини міста або до близьких до попереднього району адрес. Така організація збільшує пробіг, створює додаткове навантаження на водія і підвищує ймовірність запізнень. Тому задача оптимізації повинна передбачати формування логічної послідовності об'їзду пунктів з урахуванням їх просторової близькості, дорожньої доступності та часових обмежень.

Для поштоматів задача оптимізації має інший характер. Оскільки один поштомат може обслуговувати значну кількість одержувачів, його включення до маршруту дає змогу замінити багато індивідуальних адресних доставок однією зупинкою. Це зменшує кількість заїздів у двори, час пошуку клієнта, ризик невдалої доставки та тривалість простоїв. Водночас поштомати потребують регулярного обслуговування, контролю заповненості комірок і правильного визначення черговості відвідування. Якщо поштомат із високим попитом буде обслугований із запізненням, це може спричинити накопичення відправлень і порушення подальшого графіка доставки. Тому в оптимізаційній задачі поштомати доцільно розглядати як пріоритетні групові точки обслуговування, особливо в густонаселених районах Тернополя.

Відділення «Нової пошти» в місті виконують роль опорних пунктів логістичної мережі. До них необхідно своєчасно доставляти відправлення, забирати посилки, прийняті від клієнтів, і забезпечувати взаємодію з іншими елементами системи. У маршрутах, які пов'язані з відділеннями, важливим є не тільки пробіг автомобіля, а й дотримання графіка завезення та забору відправлень. Несвоєчасне обслуговування відділення може спричинити накопичення посилок, збільшення часу очікування клієнтів і затримку

подальшого сортування. Тому маршрути між відділеннями, поштоматами та сортувальним пунктом повинні плануватися з урахуванням графіка роботи відділень, обсягів відправлень і пропускної здатності відповідних точок.

Основною метою оптимізації маршрутів доставки в Тернополі є зменшення загального пробігу транспортних засобів. Надлишковий пробіг виникає тоді, коли автомобілі виконують неузгоджені переїзди між районами, повторно проходять одні й ті самі ділянки вулично-дорожньої мережі, рухаються з неповним завантаженням або повертаються до базового пункту без корисного вантажу. Для системи «Нової пошти» це означає збільшення витрат пального, зростання зносу автомобілів, перевитрату робочого часу водіїв і зниження продуктивності доставки. Тому оптимізація повинна забезпечити таке групування замовлень, за якого кожен автомобіль обслуговує компактну та логічно сформовану зону, а переміщення між віддаленими частинами міста мінімізуються.

Другим важливим завданням є скорочення часу доставки. У Тернополі фактичний час руху залежить від години доби, щільності транспортного потоку, кількості світлофорів, стану дорожнього покриття, паркування біля пунктів доставки та наявності заторів. Особливо помітні затримки можуть виникати в центральній частині міста та на підходах до основних магістралей. Тому оптимальний маршрут не завжди має бути найкоротшим за довжиною. У багатьох випадках доцільніше обрати дещо довший шлях, який проходить вулицями з кращою пропускною здатністю і дозволяє уникнути тривалих затримок. Саме тому GPS-навігація є важливим інструментом не лише для контролю руху, а й для вибору фактично швидшого маршруту.

Третім завданням є зниження витрат пального. Для міської доставки пальне витрачається не тільки під час руху на маршруті, а й під час частих зупинок, простоїв у заторах, очікування клієнта, маневрування біля відділень, поштоматів і житлових будинків. Якщо маршрут сформований нераціонально, автомобіль витрачає більше пального через зайві переїзди, рух у перевантажених зонах і тривалі простої. Скорочення пробігу, уникнення заторів і зменшення

кількості повторних заїздів дозволяють знизити витрати пального без зменшення кількості виконаних доставок.

Четвертим завданням є підвищення своєчасності обслуговування клієнтів. Для «Нової пошти» своєчасність має важливе значення, оскільки клієнт очікує отримання відправлення у прогнозований час, а затримка доставки може викликати незадоволення сервісом. У задачі оптимізації необхідно враховувати часові вікна доставки, пріоритетність окремих замовлень, режим роботи відділень, доступність поштоматів і можливість приймання відправлення клієнтом. Особливо це важливо для адресної доставки, де невдала спроба вручення може спричинити повторний заїзд, додатковий пробіг і порушення графіка обслуговування інших клієнтів.

П'ятим завданням є раціональний розподіл замовлень між транспортними засобами. У міській системі доставки Тернополя навантаження на райони може бути нерівномірним. В один день більша кількість замовлень може припадати на центральну частину міста, в інший – на житлові масиви або периферійні райони. Якщо замовлення розподіляються без урахування реального обсягу роботи, частина автомобілів може бути перевантажена, а інша частина – недовантажена. Це призводить до затримок, збільшення тривалості робочої зміни і нераціонального використання рухомого складу. Тому оптимізаційна задача повинна передбачати збалансований розподіл замовлень з урахуванням кількості точок, обсягу відправлень, часу обслуговування та дорожньої доступності.

У формалізованому вигляді задача оптимізації маршрутів доставки для міста Тернополя може бути подана як вибір найкращого набору маршрутів для транспортних засобів, які обслуговують відділення, поштомати та адресних клієнтів «Нової пошти». Для кожного пункту обслуговування необхідно визначити його координати, тип точки, обсяг відправлень, час обслуговування, допустимий час прибуття та обмеження під'їзду. Для кожного автомобіля необхідно врахувати вантажомісткість, доступний час роботи, витрату пального, початковий пункт виїзду та можливість повернення до бази або переходу на інший маршрут. Необхідно сформулювати таку послідовність відвідування пунктів,

щоб усі замовлення були виконані, а сумарні витрати часу, пробігу та пального були мінімальними.

Цільову функцію задачі доцільно подати у вигляді мінімізації інтегрального показника ефективності:

$$F = \alpha L_{\text{заг}} + \beta T_{\text{заг}} + \gamma C_{\text{п}} + \delta P_{\text{зап}} + \mu P_{\text{нер}},$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальний пробіг транспортних засобів у межах міських маршрутів Тернополя; $T_{\text{заг}}$ – сумарний час виконання доставки; $C_{\text{п}}$ – витрати пального; $P_{\text{зап}}$ – штрафний показник за запізнення до клієнтів, відділень або поштоматів; $P_{\text{нер}}$ – показник нерівномірності завантаження транспортних засобів; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \mu$ – вагові коефіцієнти, які визначають значущість кожного критерію.

У такій постановці задача має багатокритеріальний характер. Якщо основний акцент робиться на економії ресурсів, більшу вагу отримують пробіг і витрати пального. Якщо пріоритетом є якість сервісу, основне значення мають час доставки та штраф за запізнення. Якщо ж необхідно підвищити продуктивність усієї міської системи, важливим стає також рівномірне завантаження автомобілів. Для умов Тернополя доцільно використовувати комбінований підхід, оскільки ефективна доставка повинна одночасно бути економічною, швидкою та стабільною за часом прибуття.

Під час розв'язання задачі необхідно враховувати обмеження. Кожне замовлення має бути включене до маршруту одного транспортного засобу або спрямоване до відповідного каналу обслуговування – відділення, поштомата чи адресної доставки. Сумарна маса та об'єм відправлень не повинні перевищувати вантажомісткість автомобіля. Тривалість маршруту повинна відповідати робочому часу водія. Прибуття до пунктів обслуговування має відбуватися у допустимих часових межах. Для вантажних відділень необхідно враховувати можливість під'їзду і виконання вантажних операцій, для поштоматів – час завантаження комірок і фактичну потребу в обслуговуванні, для адресних клієнтів – можливість приймання відправлення у визначений період.

Особливе місце в постановці задачі займає використання GPS-навігації. GPS-дані дозволяють отримувати інформацію про фактичне місцезнаходження автомобіля, швидкість руху, зупинки, відхилення від маршруту, тривалість простоїв і реальний час прибуття до пунктів обслуговування. На основі цих даних диспетчер може оцінювати виконання маршруту в режимі реального часу та за потреби змінювати порядок обслуговування точок. Наприклад, якщо автомобіль затримується в центральній частині Тернополя, система може запропонувати змінити послідовність відвідування адрес, перенести частину замовлень на інший автомобіль або спочатку обслужити найближчий поштома-ти чи відділення з високим пріоритетом.

Отже, постановка задачі оптимізації маршрутів доставки для міста Тернополя полягає у формуванні такої системи руху транспортних засобів «Нової пошти», яка забезпечує раціональне обслуговування відділень, поштома-ти-тів і адресних клієнтів з мінімальним пробігом, скороченим часом доставки, нижчими витратами пального, вищою своєчасністю прибуття та рівномірним розподілом замовлень між автомобілями. Прив'язка задачі до реальної міської мережі Тернополя дозволяє врахувати не лише теоретичні параметри маршрутизації, а й фактичні умови руху, розміщення логістичних точок, вплив центральної частини міста, житлових масивів і основних магістралей. Саме така постановка створює основу для подальшого вибору критеріїв оптимізації, формування вихідних даних і побудови математичної моделі маршрутів доставки.

2.2. Вибір критеріїв оптимізації маршрутів

Для оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігації критерії оцінювання повинні ґрунтуватися не лише на планових параметрах, а й на фактичних даних руху транспортних засобів. У системі доставки «Нової пошти» в місті Тернополі GPS-навігація дає змогу контролювати місцезнаходження автомобіля, фактичний пробіг, швидкість, тривалість

зупинок, відхилення від маршруту та час прибуття до відділень, поштоMATів і адресних клієнтів.

Для міських умов Тернополя доцільно застосовувати комплекс критеріїв: мінімальну довжину маршруту, мінімальний час руху, мінімальні транспортні витрати, максимальну кількість доставок за рейс, дотримання часових вікон, рівномірне завантаження автомобілів і мінімізацію відхилень від запланованої схеми руху. Усі ці критерії мають практичне значення для роботи відділень, поштоMATів і адресної доставки «Нової пошти».

Таблиця 2.1 – Критерії оптимізації маршрутів доставки з урахуванням GPS-навігації

Критерій	Що оцінює	Як контролюється GPS-навігацією	Приклад для «Нової пошти» в Тернополі
Мінімальна довжина маршруту	Загальний пробіг автомобіля за рейс	GPS-трек фіксує фактичну траєкторію руху та кілометраж	Якщо автомобіль зайво повертається з району «Східний» у центр, це видно за GPS-треком
Мінімальний час руху	Тривалість переміщення між пунктами	GPS визначає фактичний час руху між відділеннями, поштоMATами й адресами	Короткий шлях через центр може бути довшим за часом через затори
Мінімальні транспортні витрати	Витрати пального, часу та ресурсу автомобіля	GPS показує пробіг, простої, швидкість і нераціональні відхилення	Тривалий простій біля відділення або в заторі збільшує витрати пального

Максимальна кількість доставок за рейс	Продуктивність автомобіля і кур'єра	GPS дозволяє визначити фактичну кількість обслужених точок за зміну	Один маршрут із поштоматами може бути продуктивнішим, ніж багато окремих адресних доставок
Дотримання часових вікон	Прибуття до клієнта або точки обслуговування вчасно	GPS фіксує фактичний час прибуття та відправлення	Якщо клієнт очікує доставку після 17:00, GPS дозволяє перевірити точність прибуття
Рівномірне завантаження автомобілів	Баланс роботи між транспортними засобами	GPS порівнює тривалість маршрутів, пробіг і кількість зупинок	Один автомобіль не повинен мати 70 точок, якщо інший виконує лише 25
Мінімізація відхилень від маршруту	Дотримання запланованої схеми руху	GPS виявляє відхилення, об'їзди та несанкціоновані зупинки	Якщо водій змінює маршрут без виробничої потреби, це фіксується в системі моніторингу

Цей критерій показує, наскільки раціонально сформована послідовність об'їзду пунктів. Для «Нової пошти» в Тернополі зайвий пробіг виникає тоді, коли автомобіль без потреби переїжджає між віддаленими районами, повторно проходить одні й ті самі ділянки або повертається до бази без корисного завантаження. GPS-трек дозволяє порівняти плановий і фактичний пробіг та виявити причини перевищення.

Таблиця 2.2 – Оцінювання довжини маршруту за GPS-даними

Показник	Зміст показника	Приклад застосування
Плановий пробіг	Розрахована довжина маршруту до початку рейсу	Маршрут: склад – відділення – поштомати – адресні клієнти – повернення
Фактичний пробіг	Реальна довжина руху за GPS-треком	Автомобіль зробив додатковий заїзд через відсутність клієнта
Різниця між плановим і фактичним пробігом	Показує рівень відхилення маршруту	Якщо плановий пробіг 55 км, а фактичний 68 км, потрібно встановити причину
Частка зайвого пробігу	Відношення перевищення пробігу до планового значення	Дає змогу оцінити якість маршрутизації

Загальну довжину маршруту можна визначити за формулою:

$$L_{\text{заг}} = \sum l_{ij},$$

де $L_{\text{заг}}$ – загальна довжина маршруту;

l_{ij} – відстань між послідовними пунктами маршруту.

Цей критерій враховує, що найкоротший за відстанню маршрут не завжди є найшвидшим. Для Тернополя це особливо важливо через затори у центральній частині міста, біля торгових об'єктів, вокзалу, основних перехресть та під'їздів до житлових масивів. GPS-навігація дає змогу визначити фактичний час руху між пунктами та виявити ділянки, які систематично створюють затримки.

Таблиця 2.3 – Критерій мінімального часу руху з урахуванням GPS-навігації

Ситуація	Проблема	Дані GPS	Оптимізаційне рішення
Доставка в центр міста	Затори, світлофори, складність паркування	Низька середня швидкість і тривалі зупинки	Планувати доставку в центр поза піковим періодом
Обслуговування поштоматів	Багато точок, але короткі зупинки	GPS показує час переїздів між поштоматами	Групувати поштомати за районами
Маршрут до вантажного відділення	Потрібен зручний під'їзд	GPS фіксує затримки на під'їзді	Обирати маршрут з кращою пропускнуою здатністю
Адресна доставка	Очікування клієнта	GPS фіксує тривалість стоянки біля адреси	Попередньо уточнювати час приймання посилки

Загальний час маршруту можна визначити так:

$$T_{заг} = \sum t_{ij} + \sum t_{обсл} + \sum t_{пр},$$

де $T_{заг}$ – загальний час виконання маршруту;

t_{ij} – час руху між пунктами;

$t_{обсл}$ – час обслуговування точки;

$t_{пр}$ – час простоїв.

Транспортні витрати залежать від пробігу, витрати пального, часу роботи автомобіля, кількості зупинок, простоїв та режиму руху. GPS-навігація дозволяє встановити, які саме фактори збільшують витрати: зайві об'їзди, рух у

заторах, повторні заїзди, довгі стоянки або відхилення від запланованого маршруту.

Таблиця 2.4 – Вплив GPS-контролю на зменшення транспортних витрат

Фактор витрат	Як проявляється в роботі «Нової пошти»	Що показує GPS	Як зменшити витрати
Зайвий пробіг	Повторний заїзд у район, який уже був обслужений	Перевищення фактичного пробігу над плановим	Формувати маршрути за компактними зонами
Простої в заторах	Автомобіль довго перебуває на одній ділянці	Низька швидкість або відсутність руху	Коригувати маршрут у реальному часі
Очікування клієнта	Кур'єр довго стоїть біля адреси	GPS фіксує тривалу зупинку	Узгоджувати час доставки з клієнтом
Нераціональна послідовність точок	Автомобіль рухається між віддаленими районами	GPS-трек має перехресні або повторні переміщення	Змінювати порядок об'їзду пунктів
Недовантаження автомобіля	Автомобіль виконує малу кількість доставок	Малий пробіг або короткий маршрут при наявності попиту	Перерозподіляти замовлення між автомобілями

Витрати на пальне можна визначити за формулою:

$$C_n = L_{заг} \cdot q \cdot Цп / 100,$$

де C_n – витрати на пальне;

$L_{заг}$ – загальний пробіг, км;

q – середня витрата пального на 100 км;

C_n – ціна одного літра пального.

Цей критерій характеризує продуктивність автомобіля та кур'єра. У «Новій пошті» кількість доставок за рейс залежить від типу пунктів обслуговування. Адресна доставка потребує окремого під'їзду до кожного клієнта, тоді як один поштомот або відділення може охоплювати значну кількість відправлень за одну зупинку.

Таблиця 2.5 – Продуктивність різних типів пунктів доставки

Тип пункту	Особливість обслуговування	Роль GPS-навігації	Приклад для Тернополя
Адресний клієнт	Одна адреса переважно відповідає одному замовленню	Фіксує час прибуття, стоянки та відправлення	Кур'єр обслуговує клієнтів у межах одного житлового району
Поштомот	Одна зупинка може охопити багато посилок	GPS показує фактичний час обслуговування поштомота	Доцільно об'єднувати кілька поштомотів району в один маршрут
Поштове відділення	Завезення або забір партії відправлень	Контролюється час прибуття до відділення	Відділення потрібно обслуговувати за узгодженим графіком
Вантажне відділення	Більший обсяг і триваліші операції	GPS допомагає оцінити час під'їзду і простою	Заїзд краще планувати з урахуванням можливості маневрування

Продуктивність доставки можна визначити за формулою:

$$P_{\partial} = N_{\partial} / T_{заг},$$

де P_{∂} – продуктивність доставки;

N_{∂} – кількість виконаних доставок або обслужених пунктів; $T_{заг}$ – тривалість маршруту.

Часове вікно означає допустимий період прибуття автомобіля до клієнта або логістичної точки. Для «Нової пошти» цей критерій впливає на якість сервісу, кількість повторних заїздів і стабільність роботи відділень та поштоматів. GPS-навігація фіксує фактичний час прибуття, тривалість стоянки та момент виїзду з точки.

Таблиця 2.6 – Приклади контролю часових вікон за GPS-даними

Пункт обслуговування	Приклад часового вікна	Що контролює GPS	Наслідок порушення
Адресний клієнт	Доставка після 17:00	Фактичний час прибуття автомобіля	Повторний заїзд або незадоволення клієнта
Поштомат	Поповнення до вечірнього піку	Час прибуття та тривалість обслуговування	Переповнення комірок або затримка видачі
Поштове відділення	Завезення до періоду активного потоку клієнтів	Час прибуття до відділення	Накопичення посилок і черги
Вантажне відділення	Обслуговування у період доступності персоналу	Час стоянки та виїзду	Зміщення наступних точок маршруту

Рівень своєчасності доставки можна визначити за формулою:

$$K_{св} = N_{вч} / N_{заг} \cdot 100 \%,$$

де $K_{св}$ – рівень своєчасності доставки;

$N_{вч}$ – кількість доставок, виконаних у межах встановленого часу;

$N_{заг}$ – загальна кількість доставок.

Для Тернополя цей критерій важливий через нерівномірний попит у різних районах міста. Завантаження автомобіля слід оцінювати не тільки за кількістю адрес, а й за пробігом, часом обслуговування, обсягом відправлень і тривалістю простоїв. GPS-навігація дозволяє порівняти реальне навантаження різних транспортних засобів.

Цей критерій безпосередньо пов'язаний із використанням GPS-навігації. Відхилення від маршруту можуть бути обґрунтованими, якщо вони спричинені заторами, дорожніми роботами або аварійними ситуаціями. Проте систематичні необґрунтовані відхилення свідчать про недоліки планування або недостатній диспетчерський контроль.

Таблиця 2.7 – Види відхилень від маршруту та їх оцінювання

Вид відхилення	Можлива причина	Як виявляється GPS-навігацією	Рішення для оптимізації
Об'їзд запланованої ділянки	Затор або ремонт дороги	Зміна фактичної траєкторії руху	Дозволити динамічне коригування маршруту
Повторний заїзд до клієнта	Клієнт був відсутній	Друга поява автомобіля в тій самій зоні	Узгоджувати час доставки заздалегідь
Зайва зупинка	Пошук адреси або організаційна затримка	Стоянка поза пунктом доставки	Уточнювати координати клієнтів

Рух між віддаленими районами	Нераціональний розподіл замовлень	GPS-трек показує великі переїзди без доставок	Перегрупувати точки між автомобілями
Відхилення без виробничої потреби	Недотримання маршруту водієм	Рух поза затвердженим маршрутом	Посилити диспетчерський контроль

Для комплексної оцінки маршрутів доцільно використовувати інтегральний показник ефективності:

$$F = \alpha L_{заг} + \beta T_{заг} + \gamma C_{тр} - \delta N_{д} + \mu P_{зан} + \lambda P_{нер} + \varphi P_{відх},$$

де F – інтегральний показник ефективності маршруту;

$L_{заг}$ – загальний пробіг;

$T_{заг}$ – загальний час маршруту;

$C_{тр}$ – транспортні витрати;

$N_{д}$ – кількість виконаних доставок;

$P_{зан}$ – штраф за порушення часових вікон;

$P_{нер}$ – показник нерівномірності завантаження автомобілів;

$P_{відх}$ – показник відхилення від запланованого маршруту; $\alpha, \beta, \gamma, \delta, \mu, \lambda, \varphi$ – вагові коефіцієнти.

Таблиця 2.8 – Узагальнення критеріїв оптимізації для маршрутів «Нової пошти» в Тернополі

Критерій	Напрямок оптимізації	Дані GPS-навігації	Очікуваний ефект
Довжина маршруту	Мінімізація пробігу	Фактичний GPS-трек	Менше зайвих переїздів
Час руху	Скорочення тривалості рейсу	Швидкість, час руху, простої	Швидше виконання доставки

Транспортні витрати	Зменшення витрат пального і ресурсу	Пробіг, простої, відхилення	Нижча собівартість доставки
Кількість доставок	Збільшення продуктивності	Кількість зупинок і час маршруту	Більше виконаних замовлень за зміну
Часові вікна	Підвищення своєчасності	Фактичний час прибуття	Менше запізнень і повторних заїздів
Завантаження автомобілів	Баланс роботи транспорту	Пробіг, тривалість маршруту, кількість зупинок	Рівномірне використання автомобілів
Відхилення від маршруту	Контроль виконання плану	Порівняння планового і фактичного треку	Краще диспетчерське управління

Отже, вибір критеріїв оптимізації маршрутів доставки з використанням GPS-навігації повинен забезпечувати комплексну оцінку роботи транспортної системи «Нової пошти» в Тернополі. Найважливішими критеріями є мінімальна довжина маршруту, мінімальний час руху, мінімальні транспортні витрати, максимальна кількість доставок за рейс, дотримання часових вікон, рівномірне завантаження автомобілів і мінімізація відхилень від запланованої схеми руху. Використання GPS-навігації дає змогу перейти від приблизного оцінювання маршрутів до точного аналізу фактичних показників, що створює основу для подальшого формування вихідних даних і побудови математичної моделі оптимізації доставки.

2.3 Формування вихідної маршрутної схеми доставки в місті Тернополі

Для аналізу ефективності маршрутів доставки було сформовано вихідну схему роботи кур'єрської служби «Нова пошта» у місті Тернополі. В основу покладено територіальний принцип обслуговування, відповідно до якого місто поділяється на декілька логістичних зон. Такий підхід відповідає фактичній структурі розміщення відділень, поштоматів та основних районів концентрації замовлень.

Таблиця 2.9 – Вихідна схема маршрутів доставки

Автомобіль	Район обслуговування	Кількість точок	Пробіг, км	Тривалість, год
A1	Центр міста	55	55	8,5
A2	Дружба – Новий Світ	40	48	7,0
A3	Східний – БАМ	48	62	8,0
A4	Периферійні райони	25	90	7,5
A5	Поштомати та відділення	18	45	6,5

Загальна довжина маршрутів становить 300 км за зміну. Аналіз показує, що найбільше навантаження за кількістю точок має центральна зона міста, тоді як найбільший пробіг характерний для периферійних районів. Основними недоліками вихідної схеми є дублювання окремих ділянок маршрутів, нерівномірне завантаження автомобілів, повторні заїзди до клієнтів та підвищена частка порожнього пробігу. Оптимізація маршрутів доставки базується на

використанні даних GPS-моніторингу в режимі реального часу. На відміну від традиційного статичного планування, GPS-навігація дозволяє оперативно реагувати на зміни дорожньої ситуації та коригувати послідовність обслуговування клієнтів.

Алгоритм оптимізації складається з таких етапів:

- отримання замовлень та координат пунктів доставки.
- формування початкового маршруту для кожного автомобіля.
- передача маршруту до GPS-системи моніторингу.
- отримання інформації про фактичне місцезнаходження автомобіля.
- контроль швидкості руху та часу виконання маршруту.
- аналіз дорожньої ситуації.
- виявлення заторів або відхилень від маршруту.
- автоматичне коригування послідовності обслуговування точок.
- передача оновленого маршруту водію.
- завершення маршруту та формування GPS-звіту.

Таблиця 2.10 – Використання GPS-даних для оптимізації

GPS-параметр	Призначення
Координати автомобіля	Контроль місцезнаходження
Швидкість руху	Виявлення заторів
Час зупинки	Контроль простоїв
Відхилення від маршруту	Виявлення нераціонального руху
Час прибуття (ETA)	Оцінка своєчасності доставки
Пробіг	Аналіз ефективності маршруту

Використання такого алгоритму дозволяє оперативно змінювати маршрут залежно від дорожньої ситуації та зменшувати непродуктивні витрати часу.

Після впровадження GPS-навігації було виконано перегрупування точок доставки за територіальним принципом та усунено дублювання маршрутів.

Таблиця 2.11 – Оптимізована схема маршрутів

Автомобіль	Район обслуговування	Кількість точок	Пробіг, км	Тривалість, год
A1	Центр міста	55	47	7,6
A2	Дружба – Новий Світ	40	42	6,4
A3	Східний – БАМ	48	53	7,2
A4	Периферійні райони	25	78	6,9
A5	Поштомати та відділення	18	39	6,2

Таблиця 2.12 – Ефект від впровадження GPS-навігації

Показник	До оптимізації	Після оптимізації	Зміна
Загальний пробіг, км	300	259	-13,67 %
Порожній пробіг, км	54,44	29,38	-46,03 %
Тривалість маршрутів, год	37,5	34,3	-8,53 %
Витрата пального, л	31,50	27,20	-13,67 %
Витрати на пальне, грн	2457,00	2121,21	-13,67 %
Продуктивність, точок/год	4,96	5,42	+9,33 %
Своєчасність доставки, %	88	95	+7,95 %

Отримані результати свідчать, що найбільший ефект забезпечується за рахунок скорочення порожнього пробігу та раціональнішого розподілу замовлень між транспортними засобами. GPS-навігація дозволяє контролювати фактичний рух автомобілів, оперативно реагувати на зміну дорожньої ситуації та забезпечувати більш стабільне виконання доставки в умовах вулично-дорожньої мережі міста Тернополя.

РОЗДІЛ 3. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ОХОРОНИ ПРАЦІ

3.1. Охорона праці під час організації та виконання доставки вантажів

Організація та виконання доставки вантажів автомобільним транспортом пов'язані з впливом комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів, які можуть негативно впливати на водіїв, експедиторів, диспетчерів, вантажників та інших працівників, залучених до транспортного процесу. Особливістю доставки вантажів є те, що робота виконується не лише на території підприємства або складу, а й безпосередньо в умовах дорожнього руху, на територіях клієнтів, у зонах завантаження та розвантаження, а також у місцях тимчасової зупинки транспортних засобів. Тому охорона праці в системі доставки повинна розглядатися як сукупність організаційних, технічних, санітарно-гігієнічних і профілактичних заходів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності персоналу.

У процесі організації доставки вантажів основним працівником, який безпосередньо перебуває під впливом небезпечних факторів, є водій транспортного засобу. Його робота характеризується підвищеною відповідальністю, постійним контролем дорожньої обстановки, необхідністю швидкого прийняття рішень, дотриманням графіка руху та забезпеченням збереження вантажу. Під час виконання рейсу водій перебуває в умовах інтенсивного дорожнього руху, впливу шуму, вібрації, зміни температурного режиму, психоемоційного напруження, а також можливого дефіциту часу при доставці вантажу у встановлений термін. Усе це підвищує ризик втоми, зниження концентрації уваги та виникнення аварійних ситуацій.

Важливим небезпечним фактором під час доставки є інтенсивність дорожнього руху. У міських умовах водій змушений постійно виконувати маневри, зупинятися біля пунктів доставки, рухатися в умовах заторів, обмеженої видимості, складної організації дорожнього руху та великої кількості

пішоходів. У таких умовах зростає ймовірність дорожньо-транспортних пригод, наїздів, зіткнень, пошкодження транспортного засобу або вантажу. Особливо небезпечними є ділянки поблизу складів, торговельних об'єктів, житлових кварталів, вузьких вулиць, перехресть і місць із недостатньою оглядовістю.

Окрему небезпеку становить втома водія. Вона виникає внаслідок тривалого перебування за кермом, монотонності руху, напруженого графіка доставки, частих зупинок, необхідності самостійного контролю маршруту та взаємодії з клієнтами. Втома знижує швидкість реакції, погіршує увагу, збільшує ймовірність помилкових дій і може стати причиною дорожньо-транспортної пригоди. Тому під час планування маршрутів необхідно враховувати не лише мінімальну відстань і час доставки, а й допустиме навантаження на водія, тривалість зміни, кількість пунктів доставки та можливість технологічних перерв.

Психоемоційне навантаження також є суттєвим фактором ризику. Воно пов'язане з необхідністю дотримання часових вікон доставки, спілкуванням із клієнтами, контролем документації, відповідальністю за вантаж і транспортний засіб, а також реагуванням на непередбачувані обставини. До таких обставин належать затори, зміна дорожньої ситуації, відсутність місць для зупинки, затримки під час розвантаження, помилки в адресах або зміни у графіку доставки. За відсутності належної організації роботи це може призводити до перевантаження водія та зниження безпеки транспортного процесу.

Шкідливими виробничими факторами під час виконання доставки є шум, вібрація, несприятливий мікроклімат у кабіні транспортного засобу, вплив вихлопних газів, пилу та змінних погодних умов. Тривала дія шуму та вібрації може спричинити втому, погіршення самопочуття, зниження працездатності та концентрації уваги. Низька або висока температура, підвищена вологість, ожеледиця, сніг, дощ або туман ускладнюють керування транспортним засобом і збільшують ризик аварійних ситуацій. Тому технічний стан автомобіля, справність систем опалення, вентиляції, освітлення, склоочисників і гальмівної системи мають безпосереднє значення для забезпечення безпеки праці.

Під час виконання вантажно-розвантажувальних робіт виникає ризик травмування працівників унаслідок падіння вантажу, защемлення рук, перевантаження опорно-рухового апарату, неправильного використання вантажопідіймальних засобів, перебування в зоні маневрування транспортного засобу або порушення правил складування. Небезпека зростає, якщо роботи виконуються в обмеженому просторі, за недостатнього освітлення, на слизькому покритті або без використання відповідних засобів індивідуального захисту. Тому процес завантаження та розвантаження повинен бути організований таким чином, щоб мінімізувати ручну працю, забезпечити стійкість вантажу, безпечний доступ до кузова або вантажного відсіку та чіткий порядок взаємодії між водієм, вантажником і працівниками пункту доставки.

Важливе значення має правильне розміщення та кріплення вантажу в транспортному засобі. Порушення цих вимог може призвести до зміщення вантажу під час руху, погіршення стійкості автомобіля, пошкодження продукції або створення аварійної ситуації. Вантаж повинен розміщуватися з урахуванням допустимого навантаження на осі, центру мас, габаритів, характеру вантажу та умов руху. Кріплення має запобігати переміщенню вантажу при гальмуванні, поворотах, русі нерівною дорогою та аварійному маневруванні. Перед початком рейсу водій або відповідальна особа повинні перевірити правильність розміщення вантажу, справність кріпильних елементів, закриття бортів, дверей або тенту.

Організаційні заходи з охорони праці під час доставки вантажів передбачають належну підготовку персоналу, проведення інструктажів, контроль допуску до роботи, дотримання режиму праці та відпочинку, а також визначення відповідальних осіб за безпеку транспортного процесу. Працівники, які беруть участь у доставці, повинні проходити вступний, первинний, повторний, позаплановий та цільовий інструктажі відповідно до характеру виконуваних робіт. Водій має бути ознайомлений із маршрутом руху, особливостями пунктів доставки, умовами завантаження й розвантаження,

небезпечними ділянками маршруту, порядком зв'язку з диспетчером і діями у разі виникнення несправності або аварійної ситуації.

Передрейсовий медичний огляд водіїв є одним із важливих профілактичних заходів. Його метою є недопущення до керування транспортним засобом осіб, які перебувають у стані втоми, хвороби, алкогольного, наркотичного або іншого сп'яніння, а також осіб із погіршеним самопочуттям, що може вплинути на безпеку руху. Стан здоров'я водія безпосередньо впливає на якість керування, швидкість реакції та здатність адекватно оцінювати дорожню обстановку. Тому контроль фізичного і психофізіологічного стану водія є необхідною умовою безпечної організації доставки.

Перед виїздом на маршрут необхідно виконати технічний контроль транспортного засобу. Особливу увагу слід приділити справності гальмівної системи, рульового керування, освітлювальних приладів, шин, дзеркал, склоочисників, звукового сигналу, ременів безпеки, системи зв'язку та навігаційного обладнання. Несправний транспортний засіб не повинен допускатися до виконання рейсу, оскільки це створює загрозу для водія, вантажу та інших учасників дорожнього руху. Також необхідно перевірити наявність аптечки, вогнегасника, знака аварійної зупинки, світловідбивного жилета та інших засобів, передбачених для безпечної експлуатації автомобіля.

Дотримання режиму праці та відпочинку є важливою умовою зниження ризику перевтоми водія. Під час планування маршрутів доставки необхідно враховувати не лише найкоротшу відстань між пунктами, а й реальні умови руху, час на завантаження, розвантаження, оформлення документів, очікування в пунктах доставки та можливі затримки. Надмірне ущільнення графіка доставки може призвести до поспіху, перевищення швидкості, порушення правил дорожнього руху та небезпечного маневрування. Тому оптимізація маршрутів повинна поєднувати економічну ефективність із вимогами безпеки праці.

Технічні заходи з охорони праці включають підтримання транспортних засобів у справному стані, застосування засобів механізації вантажно-розвантажувальних робіт, використання справних кріпильних пристроїв,

забезпечення належного освітлення місць завантаження та розвантаження, нанесення попереджувальних знаків і організацію безпечного руху на території складів. У місцях виконання вантажних операцій повинні бути передбачені безпечні проходи, достатній простір для маневрування транспортного засобу, рівне покриття, відсутність сторонніх предметів і можливість безпечної зупинки автомобіля.

Засоби індивідуального захисту застосовуються залежно від характеру робіт. Під час перебування на території складів, логістичних центрів або виробничих підприємств водій і вантажники можуть використовувати сигнальні жилети, захисне взуття, рукавиці, а за потреби – захисні каски або інші засоби. Особливо важливим є використання світловідбивних елементів у темну пору доби, під час роботи поблизу проїзної частини або на територіях з інтенсивним рухом транспортних засобів.

У сучасних умовах важливу роль в організації безпечної доставки відіграє GPS-навігація. Її використання дозволяє визначати місцезнаходження транспортного засобу, контролювати дотримання маршруту, фіксувати швидкість руху, простої, відхилення від заданого маршруту та фактичний час прибуття до пунктів доставки. Для диспетчера GPS-навігація є інструментом оперативного контролю та прийняття управлінських рішень. Вона дозволяє своєчасно виявляти затримки, коригувати маршрут, попереджати водія про складні ділянки руху та забезпечувати більш раціональне використання транспортних засобів.

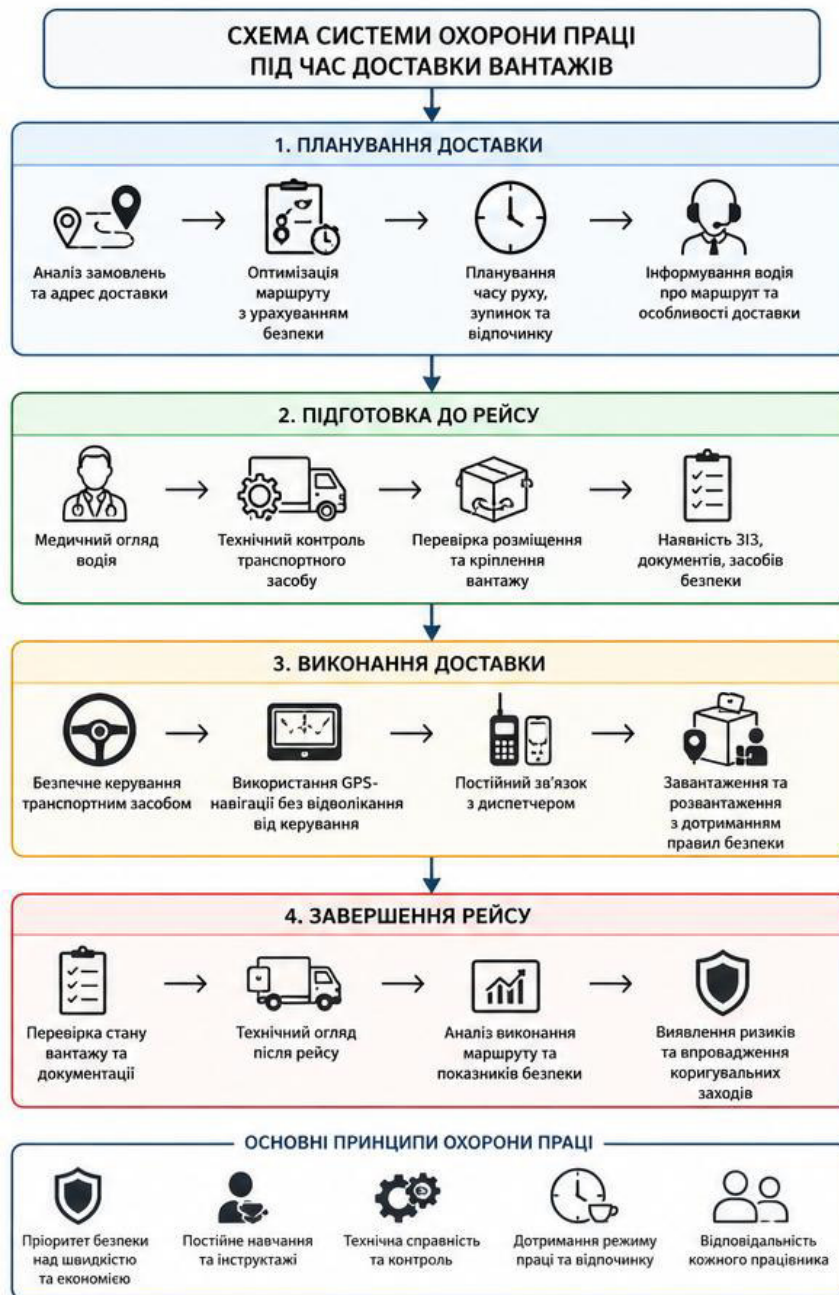


Рисунок 3.1 – Візуалізація системи охорони праці під час доставки вантажів

Для забезпечення належного рівня охорони праці під час доставки вантажів необхідно поєднувати планування маршрутів, технічний контроль транспортних засобів, підготовку персоналу, моніторинг руху та контроль виконання вимог безпеки. Оптимізація маршрутів із використанням GPS-навігації повинна бути спрямована не тільки на зменшення пробігу, витрат пального та часу доставки, а й на зниження ризиків для водія та інших учасників транспортного процесу. Раціонально сформований маршрут дає змогу уникати

небезпечних ділянок, зменшувати кількість зайвих маневрів, скорочувати час перебування в заторах і забезпечувати більш стабільний режим роботи водія.

Отже, охорона праці під час організації та виконання доставки вантажів є невід'ємною складовою ефективного транспортного процесу. Безпечна доставка можлива лише за умови справності транспортних засобів, професійної підготовки персоналу, дотримання режиму праці та відпочинку, правильного розміщення і кріплення вантажів, безпечної організації вантажно-розвантажувальних робіт та раціонального використання GPS-навігації. Комплексне впровадження цих заходів дозволяє знизити ймовірність травмування працівників, дорожньо-транспортних пригод, пошкодження вантажу та порушення графіка доставки.

3.2. Безпека в надзвичайних ситуаціях під час виконання доставки вантажів

Під час виконання доставки вантажів автомобільним транспортом можливе виникнення надзвичайних або аварійних ситуацій, які порушують нормальний хід транспортного процесу та створюють загрозу для водія, персоналу, вантажу, транспортного засобу й інших учасників дорожнього руху. Для теми оптимізації маршрутів із використанням GPS-навігації цей аспект має принципове значення, оскільки маршрут повинен оцінюватися не лише за довжиною, часом руху і витратами пального, а й за рівнем безпеки його виконання.

До основних надзвичайних ситуацій, що можуть виникати під час доставки, належать дорожньо-транспортні пригоди, пожежа транспортного засобу, раптова технічна несправність, блокування дороги, різке погіршення погодних умов, втрата зв'язку з диспетчером, а також аварійні ситуації у пунктах завантаження та розвантаження. Їх виникнення може бути зумовлене технічним станом автомобіля, помилками водія, недостатньою підготовкою маршруту,

порушенням правил кріплення вантажу, складними дорожніми умовами або зовнішніми факторами, які не залежать від перевізника.

Найбільш небезпечною подією під час виконання доставки є дорожньо-транспортна пригода. Її наслідками можуть бути травмування людей, пошкодження вантажу, блокування руху, збільшення часу доставки та необхідність залучення резервного транспортного засобу. У разі ДТП водій повинен припинити рух, зупинити автомобіль у безпечному місці, увімкнути аварійну сигналізацію, встановити знак аварійної зупинки, оцінити наявність постраждалих і повідомити диспетчера. За потреби викликаються екстрені служби, а GPS-координати місця події передаються для скорочення часу реагування.

Пожежа транспортного засобу належить до подій із високою тяжкістю наслідків, навіть якщо ймовірність її виникнення є відносно невеликою. Причинами можуть бути коротке замикання електропроводки, витік пального, перегрів окремих агрегатів або зовнішній вплив. У такій ситуації водій повинен зупинити автомобіль, вимкнути двигун, вивести людей із небезпечної зони та за можливості використати вогнегасник. Якщо локалізувати загоряння неможливо, необхідно викликати пожежно-рятувальну службу та обмежити доступ сторонніх осіб до транспортного засобу.

Раптова технічна несправність може виникнути внаслідок зношення вузлів автомобіля, недостатнього передрейсового контролю або складних умов експлуатації. Особливо небезпечними є відмова гальмівної системи, несправність рульового керування, пошкодження шин, несправність зовнішнього освітлення та відмова засобів зв'язку. У таких випадках водій повинен припинити рух, позначити автомобіль відповідно до вимог безпеки, повідомити диспетчера та очікувати рішення щодо ремонту, евакуації або заміни транспортного засобу.

Суттєвим джерелом ризику є різке погіршення погодних умов. Сильний дощ, снігопад, ожеледиця, туман або сильний вітер збільшують гальмівний шлях, погіршують видимість і підвищують імовірність втрати керованості

автомобілем. У таких умовах водій повинен зменшити швидкість руху, збільшити дистанцію, уникати різких маневрів, а диспетчер повинен оцінити доцільність подальшого руху за початковим маршрутом. За необхідності маршрут коригується з урахуванням безпечніших ділянок дороги або доставка тимчасово призупиняється.

GPS-навігація та диспетчерський моніторинг є важливими елементами системи реагування на надзвичайні ситуації. Вони дають змогу визначити фактичне місцезнаходження транспортного засобу, виявити тривалу зупинку або відхилення від маршруту, передати координати аварійним службам, підібрати об'їзний шлях і за потреби направити резервний автомобіль. У цьому випадку GPS-навігація виконує не тільки функцію маршрутизації, а й функцію інформаційної підтримки безпеки транспортного процесу.

Основні види надзвичайних ситуацій та першочергові заходи реагування подано у табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристика надзвичайних ситуацій під час доставки вантажів

Надзвичайна ситуація	Основні причини	Можливі наслідки	Першочергові дії
ДТП	помилка водія, складні дорожні умови, несправність автомобіля	травмування людей, пошкодження вантажу, затримка доставки	зупинка, аварійна сигналізація, повідомлення диспетчера та служб
Пожежа автомобіля	коротке замикання, витік пального, перегрів агрегатів	загроза життю, знищення вантажу, пошкодження автомобіля	евакуація людей, вимкнення двигуна, використання вогнегасника
Технічна несправність	зношення вузлів, пошкодження шин, відмова гальм чи освітлення	неможливість продовження рейсу, аварійна зупинка	позначення автомобіля, зв'язок із диспетчером, ремонт або заміна

Небезпечні погодні умови	туман, ожеледиця, снігопад, сильний дощ	збільшення гальмівного шляху, втрата керованості	зниження швидкості, збільшення дистанції, коригування маршруту
Аварія у пункті розвантаження	падіння вантажу, неправильне маневрування, несправне обладнання	травмування персоналу, пошкодження вантажу	припинення робіт, огороження зони, повідомлення відповідальних осіб

Для системнішого оцінювання безпеки доцільно застосувати модифікований підхід FMEA, у якому для кожної події враховуються тяжкість наслідків, імовірність виникнення, складність виявлення або попередження події та коефіцієнт маршрутної експозиції. Такий підхід є більш придатним для транспортного процесу, ніж проста оцінка за однією формулою, оскільки одна й та сама подія може мати різний рівень безпеки залежно від ділянки маршруту, дорожніх умов, інтенсивності руху та віддаленості від сервісної підтримки.

Оцінювання виконується за такими залежностями:

$$R_{0i} = S_i \cdot O_i \cdot D_i \cdot K_{ei}$$

$$R_{ri} = S_{ri} \cdot O_{ri} \cdot D_{ri}$$

$$E_i = (1 - R_{ri} / R_{0i}) \cdot 100 \%$$

де R_{0i} – початковий пріоритет ризику для i -ї події;

S_i – тяжкість наслідків;

O_i – імовірність виникнення;

D_i – складність своєчасного виявлення або попередження;

K_{ei} – коефіцієнт маршрутної експозиції;

R_{ri} – залишковий ризик після впровадження заходів;

E_i – відносне зниження ризику.

Для оцінювання прийнято п'ятибальну шкалу: 1 – мінімальний рівень, 5 – критичний рівень. Коефіцієнт K_e враховує складність ділянки маршруту: для звичайних умов $K_e = 1,00$; для підвищено небезпечних умов $K_e > 1,00$; для контрольованих умов $K_e < 1,00$.

Таблиця 3.2 – Розрахунок пріоритету ризику надзвичайних ситуацій за модифікованою FMEA-моделлю

№	Подія	Початкові параметри	R_0	Заходи зниження ризику	R_r	E, %
1	ДТП	S=4; O=4; D=3; $K_e=1.00$	48	контроль швидкості, GPS-моніторинг, коригування маршруту	18 ($S_r=3$; $O_r=3$; $D_r=2$)	62.5
2	Пожежа ТЗ	S=5; O=2; D=4; $K_e=1.10$	44	перевірка електропроводки, пального, вогнегасника	8 ($S_r=4$; $O_r=1$; $D_r=2$)	81.8
3	Технічна несправність	S=4; O=3; D=3; $K_e=1.00$	36	передрейсовий технічний контроль, резервний ТЗ	12 ($S_r=3$; $O_r=2$; $D_r=2$)	66.7
4	Небезпечні погодні умови	S=4; O=3; D=2; $K_e=0.90$	22	зміна швидкості, дистанції, маршруту або часу рейсу	12 ($S_r=3$; $O_r=2$; $D_r=2$)	45.5
5	Втрата зв'язку	S=3; O=3; D=4; $K_e=0.80$	29	резервний канал зв'язку, автоматичні GPS-повідомлення	8 ($S_r=2$; $O_r=2$; $D_r=2$)	72.4
6	Аварія під час розвантаження	S=4; O=2; D=3; $K_e=0.85$	20	огороження зони, контроль маневрування, справне обладнання	6 ($S_r=3$; $O_r=1$; $D_r=2$)	70.0

За результатами розрахунку сумарний початковий пріоритет ризику становить $\Sigma R_0 = 199$, а сумарний залишковий ризик після впровадження організаційних, технічних і диспетчерських заходів – $\Sigma R_r = 64$. Відносне зниження сукупного ризику становить:

$$E\Sigma = (1 - 64 / 199) \cdot 100 = 67.8 \%$$

Отримане значення показує, що поєднання передрейсового технічного контролю, використання GPS-моніторингу, оперативного зв'язку з диспетчером, попереднього аналізу дорожніх умов і наявності резервного алгоритму реагування дозволяє суттєво знизити рівень небезпеки під час виконання доставки. Найвищий початковий пріоритет мають ДТП, пожежа транспортного засобу та технічна несправність, тому саме для цих подій необхідно передбачати найбільш жорсткі профілактичні заходи.

Графічне подання результатів розрахунку наведено на рис. 3.1. Матриця показує перехід небезпечних подій із зони підвищеного ризику до контрольованішого стану після впровадження заходів реагування та диспетчерського контролю.

Оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій під час доставки вантажів

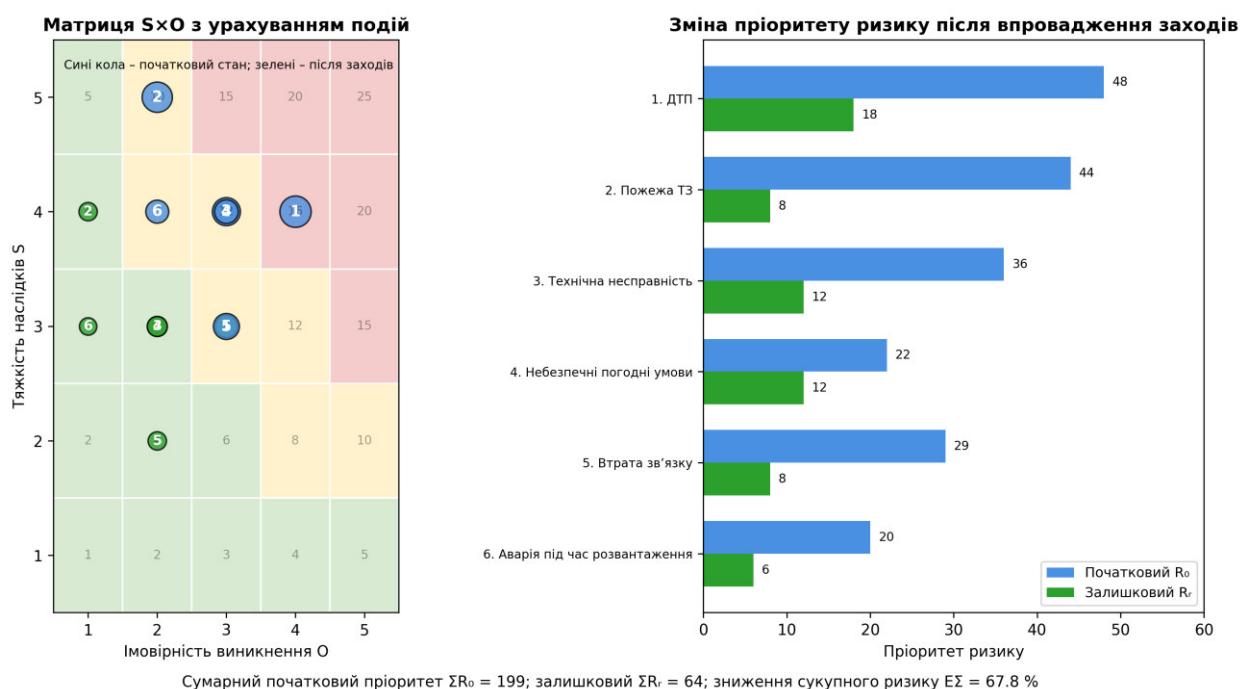


Рисунок 3.2 – Матриця та діаграма оцінювання ризиків надзвичайних ситуацій під час доставки вантажів

Практичне значення такого оцінювання полягає в тому, що воно дозволяє визначити не лише перелік можливих небезпечних подій, а й пріоритетність

профілактичних заходів. Якщо подія має високий початковий пріоритет ризику, то для неї необхідно передбачати дублювання каналів зв'язку, обов'язковий технічний контроль, наявність резервного транспортного засобу, уточнення об'їзних маршрутів і чітку взаємодію з екстреними службами.

Отже, безпека в надзвичайних ситуаціях під час доставки вантажів повинна забезпечуватися не лише діями водія після виникнення події, а й попередньою організацією транспортного процесу. До ключових заходів належать технічний контроль автомобіля перед виїздом, перевірка засобів зв'язку та GPS-навігації, планування безпечних маршрутів, підготовка водія до дій у критичних ситуаціях, а також наявність резервних рішень щодо об'їзду, ремонту або заміни транспортного засобу. У межах роботи з оптимізації маршрутів GPS-навігація виступає важливим інструментом не лише скорочення пробігу та часу доставки, а й підвищення рівня безпеки транспортного процесу.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Для підвищення ефективності транспортного процесу в сервісі доставки «Нової пошти» міста Тернополя запропоновано комплекс заходів, спрямованих на зменшення загального та порожнього пробігу, скорочення витрат пального, підвищення своєчасності доставки й раціональніше використання транспортних засобів. Основою цих заходів є застосування GPS-навігації не лише для визначення місцезнаходження автомобіля, а й як інструменту оперативного диспетчерського управління маршрутами.

Першим заходом є територіальне групування точок доставки за логістичними зонами Тернополя. Замість переміщення одного автомобіля між віддаленими районами пропонується закріплювати за ним компактну зону обслуговування: центральну частину міста, райони «Дружба» і «Новий Світ», «Східний» і «БАМ», периферійні райони або окремий маршрут для поштоматів і відділень. Це дозволяє зменшити хаотичні переміщення, уникнути повторного проходження одних і тих самих ділянок та скоротити тривалість маршруту.

Другим заходом є оптимізація послідовності об'їзду пунктів доставки за GPS-даними. Під час виконання рейсу система фіксує фактичну траєкторію руху, швидкість, простої та відхилення від плану. У разі затримки диспетчер може змінити черговість обслуговування точок, наприклад, перенести доставку в перевантажену центральну частину міста на пізніший час і спочатку обслужити найближчі поштомати або відділення.

Третім заходом є скорочення порожнього пробігу. Для цього автомобіль не повинен повертатися до базового пункту без корисного завдання. На зворотному шляху він може виконувати забір відправлень, обслуговувати поштомати або доставляти посилки до точок, розташованих на траєкторії руху. У результаті порожній пробіг зменшується з 54,44 до 29,38 км за зміну.

Четвертим заходом є активніше використання поштоматів як групових точок доставки. Одна зупинка біля поштомата дає змогу доставити значну кількість посилок для багатьох клієнтів, тоді як адресна доставка часто потребує

окремого заїзду до кожного одержувача. Це зменшує кількість індивідуальних зупинок, скорочує час обслуговування і знижує ризик невдалої доставки, особливо в густонаселених районах міста.

П'ятим заходом є оперативне коригування маршрутів у разі заторів, дорожніх робіт або інших ускладнень руху. GPS-навігація дозволяє фіксувати зниження швидкості, тривалі зупинки та відхилення від планового часу. На основі цих даних диспетчер може запропонувати альтернативний шлях або змінити порядок обслуговування клієнтів. Це дає змогу скоротити загальну тривалість маршрутів з 37,5 до 34,3 год за зміну.

Шостим заходом є зменшення повторних заїздів до клієнтів. Для цього доцільно використовувати GPS-прогноз часу прибуття, попереднє інформування клієнта та уточнення зручного часового інтервалу доставки. Якщо клієнт не може прийняти відправлення, посилку доцільно перенаправляти до найближчого поштового відділення.

Сьомим заходом є рівномірний розподіл замовлень між автомобілями. Навантаження потрібно оцінювати не лише за кількістю точок, а й за пробігом, тривалістю маршруту, часом обслуговування та часткою простоїв. GPS-дані дозволяють порівнювати фактичне навантаження автомобілів і за потреби перерозподіляти частину замовлень між ними.

Восьмим заходом є систематичне порівняння планових і фактичних параметрів маршруту. До початку рейсу визначаються плановий пробіг, тривалість маршруту, кількість точок доставки та очікуваний час прибуття. Після завершення рейсу GPS-система фіксує фактичний пробіг, час руху, стоянки, відхилення та час прибуття до кожної точки. Якщо фактичні показники суттєво перевищують планові, маршрут потребує перегляду.

Дев'ятим заходом є пріоритетне планування часових вікон доставки. Для адресної доставки важливо враховувати час, коли клієнт може прийняти відправлення; для відділень — графік завантаження і забору посилок; для поштоматів — їх заповненість і потребу в поповненні комірок. Це дозволяє

підвищити частку своєчасних доставок з 88 до 95 % та скоротити кількість запізнень з 22 до 9 випадків за зміну.

Десятим заходом є використання GPS-звітності після завершення зміни. У звіті доцільно фіксувати фактичний пробіг, час руху, простої, кількість зупинок, відхилення від маршруту, витрату пального, кількість виконаних доставок і запізнень. На основі цих даних можна виявляти проблемні ділянки, перевантажені зони, неефективні повторні заїзди та нерівномірне завантаження автомобілів.

Отже, запропоновані заходи передбачають зональне групування точок доставки, оптимізацію послідовності об'їзду, скорочення порожнього пробігу, активніше використання поштоMATів, оперативне коригування маршрутів за GPS-даними, зменшення повторних заїздів, рівномірний розподіл замовлень, порівняння планових і фактичних показників, дотримання часових вікон і використання GPS-звітності. Їх реалізація дозволяє скоротити загальний пробіг з 300 до 259 км, зменшити порожній пробіг з 54,44 до 29,38 км, скоротити тривалість маршрутів з 37,5 до 34,3 год, знизити витрати пального з 31,50 до 27,20 л за зміну та підвищити продуктивність доставки з 4,96 до 5,42 точки/год.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Воркут А. І. Вантажні автомобільні перевезення : підручник. Київ : Вища школа, 1986. 447 с.
2. Горяїнов О. М. Вантажні перевезення : конспект лекцій. Харків : ХНАДУ, 2007. 144 с.
3. Горяїнов О. М. Транспортна логістика (управління вантажопотоками) : навч. посіб. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2020. 296 с.
4. Грищук О. К. Транспортно-експедиторська діяльність та логістика : метод. вказівки до виконання практ. робіт для студентів спец. 275 «Транспортні технології». Київ : НТУ, 2021. 48 с.
5. Дмитриченко М. Ф., Ткаченко А. М., Ігнатенко О. С. Транспортна логістика : навч. посіб. Київ : НТУ, 2018. 324 с.
6. Крикавський Є. В., Похильченко О. В. Логістичне управління : підручник. Львів : Видавництво Львівської політехніки, 2019. 640 с.
7. Кунда Н. Т. Організація автомобільних вантажних перевезень : підручник. Київ : Видавничий Дім «Слово», 2011. 504 с.
8. Лобашов О. О., Прасолова С. Л., Токмиленко Т. С. Геоінформаційні системи на транспорті : конспект лекцій. Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2017. 136 с.
9. Логістика : метод. вказівки до виконання практичних завдань для студентів галузі знань 27 «Транспорт» / уклад.: О. В. Парунакян, М. В. Хара. Маріуполь : ПДТУ, 2018. 54 с.
10. Моделювання транспортних систем : метод. вказівки до виконання практичних робіт для студентів напряму підготовки «Транспортні технології» / уклад.: О. О. Бакуліч, О. П. Кутах. Київ : НТУ, 2016. 68 с.
11. Прокудін Г. С. Моделі і методи оптимізації вантажних автомобільних перевезень : монографія. Київ : НТУ, 2006. 254 с.
12. Шраменко Н. Ю. Транспортно-складські системи в логістичних ланцюгах доставки вантажів : монографія. Харків : ХНАДУ, 2010. 144 с.