

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ ІНЖЕНЕРІЇ ТА ТРАНСПОРТУ

КАФЕДРА ТРАНСПОРТНИХ СИСТЕМ І ТЕХНІЧНОГО СЕРВІСУ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

на тему: **«Прогнозування графіків руху автомобільного транспорту на основі аналізу даних із сенсорів і мобільних додатків»**

Виконав: студент 2 курсу, групи 2зТТс

спеціальності

275.03 – Транспортні технології (на
автомобільному транспорті)

Охмат Д. В.

Керівник к.т.н., доц. Славич В. П.

Рецензент к.т.н., доц. Луб'яний П. В.

Херсон – 2026 р.

ЗАТВЕРДЖЕНО

Наказ Міністерства освіти і науки,
молоді та спорту України
29 березня 2012 року № 384

Форма № Н-9.01

ХЕРСОНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ.

(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення _____ Інженерії та транспорту
Кафедра, циклова комісія _____ Транспортних систем і технічного сервісу
Рівня вищої освіти _____ бакалавр
спеціальність _____ 275 Транспортні технології
спеціалізація 275.03 на автомобільному транспорті

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри ТСТС

к.т.н., доц. _____

П. В. Луб'яний

“ ____ ” _____ 2026 року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРА

СТУДЕНТУ

Охмат Денис Валерійович

1. Тема проєкту (роботи) «Прогнозування графіків руху автомобільного транспорту на основі аналізу даних із сенсорів і мобільних додатків»
керівник проєкту (роботи) к.т.н., доцент Славич В. П.
затверджені наказом вищого навчального закладу від 26.01.2026 року № 123-с
2. Строк подання студентом проєкту (роботи) 03.06.2026 р.
3. Вихідні дані до проєкту (роботи): інформація про маршрути руху транспортних засобів, показники швидкості та часу руху, дані про інтенсивність транспортних потоків, інформація про затримки та затори, дані мобільних додатків щодо дорожньої ситуації.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ, 1 Теоретичні основи аналізу і оптимізації руху автотранспорту,
2 Системи збору та обробки даних про рух автотранспорту,
3 Аналіз фактичного руху автотранспорту,
4 Прогнозування графіків руху,
5 Оптимізація графіків і маршрутів,
6 Економічна ефективність управління маршрутами,
7 Практичні рекомендації та моделі оптимізації, Висновки, Список використаних джерел.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
матеріали демонстраційної графічної частини формату А4

6. Консультанти розділів проєкту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Славич В. П.		
2	Славич В. П.		
3	Славич В. П.		
4	Славич В. П.		
5	Славич В. П.		
6	Славич В. П.		
7	Славич В. П.		

7. Дата видачі завдання 02.02.2026**КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН**

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи магістра	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Вступ	10.02.2026	
2	Теоретичні основи аналізу і оптимізації руху автотранспорту	25.02.2026	
3	Системи збору та обробки даних про рух автотранспорту	10.03.2026	
4	Аналіз фактичного руху автотранспорту	25.03.2026	
5	Прогнозування графіків руху	10.04.2026	
6	Оптимізація графіків і маршрутів	25.04.2026	
7	Економічна ефективність управління маршрутами	10.05.2026	
8	Практичні рекомендації та моделі оптимізації	20.05.2026	
9	Висновки	01.06.2026	

Студент _____ Охмат Д. В.
(підпис)

Керівник проєкту (роботи) _____ Славич В. П.
(підпис)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота присвячена дослідженню та розробці підходів до прогнозування графіків руху автомобільного транспорту на основі аналізу транспортних даних, що характеризують маршрути перевезень, швидкість руху, час проходження ділянок та рівень завантаженості дорожньої мережі. У роботі розглядаються методи оцінювання та прогнозування часу руху, виявлення відхилень від планових графіків, а також аналіз впливу зовнішніх факторів на ефективність транспортних процесів з метою підвищення якості планування перевезень.

ANNOTATION

The qualification work is devoted to the research and development of approaches to forecasting road transport schedules based on the analysis of transport data characterizing transportation routes, speed, travel time and the level of road network congestion. The work considers methods for estimating and forecasting travel time, identifying deviations from planned schedules, as well as analyzing the impact of external factors on the efficiency of transport processes in order to improve the quality of transportation planning.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра на тему „Прогнозування графіків руху автомобільного транспорту на основі аналізу даних із сенсорів і мобільних додатків” містить 75 стор., 15 використаних джерел.

У роботі досліджено процеси аналізу, моделювання та прогнозування руху автотранспорту як інструмент підвищення ефективності транспортних систем і оптимізації графіків перевезень. Проаналізовано фактичні характеристики роботи автотранспорту, зокрема пробіг, час у дорозі, простої та відхилення від планових значень.

Розглянуто вплив дорожніх умов, погодних факторів та інтенсивності транспортних потоків на тривалість і стабільність виконання маршрутів. Наведено підходи до формалізації транспортних процесів у вигляді математичних моделей, що дозволяє оцінювати ефективність використання автопарку та виявляти «вузькі місця» маршрутів.

Описано методи прогнозування часу руху, включаючи статистичні моделі, зважені підходи, регресійний аналіз, моделі часових рядів, а також елементи машинного навчання та штучного інтелекту. Досліджено можливості прогнозування затримок і ризиків та формування альтернативних маршрутів для підвищення надійності перевезень.

Показано, що застосування комплексного підходу до аналізу та прогнозування руху автотранспорту дозволяє підвищити точність планування, зменшити втрати часу та підвищити ефективність транспортної системи в цілому.

Ключові слова: автотранспорт, транспортні процеси, моделювання, прогнозування, графіки руху, оптимізація маршрутів, ефективність перевезень, математичні моделі.

ЗМІСТ

ВСТУП

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІЗУ І ОПТИМІЗАЦІЇ РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ

- 1.1 Поняття та значення прогнозування графіків руху
- 1.2 Сучасні підходи до управління автопарком
- 1.3 Методи збору даних про рух транспортних засобів
- 1.4 Ключові показники ефективності руху
- 1.5 Методи оптимізації маршрутів і графіків
- 1.6 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 2. СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ ПРО РУХ АВТОТРАНСПОРТУ

- 2.1 Джерела та типи даних
- 2.2 Інтеграція GPS, IoT та мобільних даних
- 2.3 Методи попередньої обробки даних
- 2.4 Фільтрація та очищення даних
- 2.5 Візуалізація та аналітичні панелі
- 2.6 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 3. АНАЛІЗ ФАКТИЧНОГО РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ

- 3.1 Характеристика автопарку і маршрутів
- 3.2 Аналіз фактичного пробігу і часу в дорозі
- 3.3 Виявлення вузьких місць і заторів
- 3.4 Оцінка відповідності графіків плану руху
- 3.5 Вплив зовнішніх факторів на рух (дорожні умови, погода)
- 3.6 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 4. ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ РУХУ

- 4.1 Створення прогнозних моделей
- 4.2 Методи прогнозування часу в дорозі
- 4.3 Використання машинного навчання та алгоритмів AI

4.4 Прогнозування затримок та ризиків

4.5 Моделювання альтернативних маршрутів

4.6 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 5. ОПТИМІЗАЦІЯ ГРАФІКІВ І МАРШРУТІВ

5.1 Цілі та критерії оптимізації

5.2 Методи мінімізації часу та витрат пального

5.3 Алгоритми побудови оптимальних маршрутів

5.4 Використання даних сенсорів для адаптивного планування

5.5 Практичні кейси оптимізації графіків руху

5.6 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ УПРАВЛІННЯ МАРШРУТАМИ

6.1 Вплив оптимізації графіків на витрати автопарку

6.2 Скорочення простоїв та затримок

6.3 Оцінка економії пального і часу

6.4 Розрахунок ROI від впровадження аналітики та IoT

6.5 Висновки до розділу

РОЗДІЛ 7. ПРАКТИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ ТА МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ

7.1 Розробка системи моніторингу та прогнозування руху

7.2 Рекомендації щодо адаптивного планування маршрутів

7.3 Використання мобільних додатків для водіїв

7.4 Моделі оптимізації руху та графіків

7.5 Висновки до розділу

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ВСТУП

Актуальність теми дослідження зумовлена стрімким зростанням складності сучасних транспортних систем, підвищенням вимог до швидкості та якості доставки вантажів, а також необхідністю мінімізації витрат часу і ресурсів у логістичних процесах. Умови інтенсивного міського та міжміського руху, нерівномірність транспортних потоків, вплив погодних факторів і заторів суттєво ускладнюють ефективне планування та виконання графіків руху автотранспорту. У зв'язку з цим особливого значення набуває розробка методів аналізу, моделювання та прогнозування транспортних процесів, що дозволяють підвищити ефективність використання автопарку та забезпечити стабільність перевезень.

Сучасний розвиток інформаційних технологій, зокрема систем GPS-моніторингу, великих даних та методів машинного навчання, створює нові можливості для дослідження фактичного руху транспортних засобів і побудови точних прогнозних моделей. Це дозволяє переходити від традиційного статичного планування маршрутів до адаптивних систем управління транспортом у реальному часі.

Метою роботи є дослідження процесів руху автотранспорту, аналіз фактичних характеристик транспортних маршрутів та розробка підходів до прогнозування і оптимізації графіків руху на основі математичного моделювання та сучасних методів аналізу даних.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі завдання:

- проаналізувати структуру автопарку та основні характеристики транспортних маршрутів;
- дослідити фактичні показники руху автотранспорту, включаючи пробіг, час у дорозі та простої;
- виявити вузькі місця та ділянки з підвищеним рівнем затримок;
- оцінити відповідність фактичних графіків руху запланованим;

- дослідити вплив зовнішніх факторів (дорожні умови, погодні умови, інтенсивність руху) на ефективність перевезень;
- розробити математичні моделі прогнозування часу руху транспортних засобів;
- проаналізувати можливості застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту для підвищення точності прогнозів;
- запропонувати підходи до моделювання альтернативних маршрутів і зниження ризиків затримок.

Об'єктом дослідження є процеси функціонування автотранспортних систем і організація руху транспортних засобів.

Предметом дослідження є методи аналізу, моделювання та прогнозування графіків руху автотранспорту з урахуванням внутрішніх та зовнішніх факторів впливу.

У роботі використовуються такі методи дослідження: системний аналіз, математичне моделювання транспортних процесів, методи статистичного аналізу, теорія ймовірностей, регресійний аналіз, а також елементи машинного навчання для прогнозування часових характеристик руху.

Практичне значення роботи полягає у можливості використання розроблених моделей і підходів для підвищення ефективності планування маршрутів, зменшення часу простоїв, оптимізації графіків руху та зниження експлуатаційних витрат автотранспортних підприємств.

Структура роботи включає вступ, чотири розділи, висновки та список використаних джерел. У першому розділі розглядаються теоретичні основи транспортних процесів, у другому – методи математичного моделювання, у третьому – аналіз фактичного руху автотранспорту, у четвертому – підходи до прогнозування та оптимізації графіків руху.

РОЗДІЛ 1

ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ АНАЛІТИКИ ВИКОРИСТАННЯ АВТОТРАНСПОРТНОГО ПАРКУ ДЛЯ ПРОГНОЗУВАННЯ ТЕХНІЧНОГО СТАНУ

1.1 Актуальність дослідження

1.1.1 Проблематика сучасних автопарків.

Ефективне використання автопарку є одним із головних факторів економічності логістичних процесів. Основні проблеми включають:

- Підвищені витрати пального та інших експлуатаційних ресурсів.
- Прості через несправності транспортних засобів.
- Часті ремонти та зменшення ресурсу агрегатів.
- Зниження надійності перевезень і збільшення ризику аварій.

Дослідження показують, що до 20–25% витрат автопарку припадає на непланові ремонти, що безпосередньо пов'язано з відсутністю прогнозних моделей та поганим моніторингом технічного стану.

Крім економічної складової, існує ще й питання безпеки перевезень, адже несправний автомобіль може спричинити аварію з серйозними матеріальними та людськими втратами. Тому ефективний контроль технічного стану є ключовим елементом управління автопарком.

Додатково: економічна ефективність автопарку безпосередньо залежить від співвідношення пробігу, навантаження та ресурсів агрегатів, а також від регулярності проведення ТО та рівня кваліфікації обслуговуючого персоналу.

1.1.2 Значення аналітики та прогнозування.

Аналітика даних дозволяє збирати інформацію про:

- Рух транспортних засобів (GPS, телеметрія).
- Технічний стан агрегатів і вузлів.
- Навантаження на осі та кузов.
- Витрати пального та мастильних матеріалів.

- Поведінку водіїв і режим роботи двигуна.

На основі цих даних створюються прогнознi моделі, що дозволяють оцінювати залишковий ресурс агрегатів і транспортних засобів загалом.

Аналітика у поєднанні з методами машинного навчання та IoT дає можливість в реальному часі визначати стан автомобіля, передбачати ймовірність поломки і оптимізувати розподіл навантаження.

Практичний приклад: впровадження IoT-системи на вантажному автопарку дозволило зменшити кількість аварійних поломок на 15% і скоротити витрати на ремонт до 10–12% від загального бюджету.

1.2 Основні поняття та показники

1.2.1 Ключові показники використання автотранспорту.

Для оцінки ефективності роботи автопарку використовують такі показники:

1. Пробіг L , км – визначає інтенсивність використання та вплив на ресурс агрегатів.
2. Середня швидкість V_{avg} , км/год – впливає на режим роботи двигуна та зношування вузлів.
3. Витрати пального F , л/100 км – економічний показник ефективності використання.
4. Навантаження на осі Q , т – визначає знос підвіски та шин.
5. Інтенсивність використання механічних вузлів – враховує частоту запусків, тривалість роботи двигуна, режим гальмування.
6. Температурні режими двигуна та трансмісії – високі температури прискорюють знос металевих вузлів.
7. Вібраційний режим агрегатів – надмірні вібрації сигналізують про раннє пошкодження підшипників та карданних валів.

Додатково: поєднання цих показників дозволяє створити інтегральну оцінку стану транспортного засобу, яка враховує не лише механічний знос, а й експлуатаційні умови.

1.2.2 Коефіцієнти ефективності використання:

- Коефіцієнт ефективності використання транспортного засобу:

$$K_{\text{вик}} = \frac{L_{\text{факт}}}{L_{\text{план}}} \cdot \frac{T_{\text{роб}}}{T_{\text{доступ}}}$$

де:

- $L_{\text{факт}}$ – фактичний пробіг;
- $L_{\text{план}}$ – плановий пробіг;
- $T_{\text{роб}}$ – фактичний час роботи;
- $T_{\text{доступ}}$ – час доступності транспортного засобу для роботи.
- Коефіцієнт інтенсивності використання агрегатів:

$$I_{\text{агр}} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i \cdot \lambda_i}{T_{\text{роб}}}$$

де t_i – час роботи i -го агрегату, λ_i – коефіцієнт впливу на зношування, $T_{\text{роб}}$ – загальний час експлуатації.

Додатково: інтегральний коефіцієнт ефективності можна обчислити як:

$$K_{\text{інтегр}} = K_{\text{вик}} \cdot (1 - \eta_{\text{знош}})$$

де $\eta_{\text{знош}}$ – відносна частка зношування агрегатів за певний період.

Приклад практичного розрахунку: для автомобіля з фактичним пробігом 120 000 км і плановим 150 000 км, де загальний час роботи 800 год, а доступний час – 1000 год, отримаємо:

$$K_{\text{вик}} = \frac{120000}{150000} \cdot \frac{800}{1000} = 0.64$$

Тобто ефективність використання складає 64%.

1.3 Методи прогнозування технічного стану

1.3.1 Статистичні методи.

На основі історичних даних про пробіг, технічний стан агрегатів і кількість ремонтів будуються регресійні та кореляційні моделі.

$$R_{\text{залишок}} = R_{\text{ном}} - f(L, Q, V_{\text{avg}}, T_{\text{роб}})$$

Приклад: якщо номінальний ресурс двигуна 500 000 км, а середнє навантаження на осі збільшилось на 20%, ресурс зменшується на 10–12%, тобто залишковий ресурс $\approx 440\text{--}450\,000$ км.

1.3.2 Методи машинного навчання. Використовуються регресії, дерева рішень та нейронні мережі для прогнозування ймовірності поломки вузла:

$$P_{\text{поломки}} = \sigma(\alpha_1 L + \alpha_2 Q + \alpha_3 V_{\text{avg}} + \alpha_4 T_{\text{роб}})$$

де σ – логістична функція, α_i – вагові коефіцієнти параметрів.

Додатково: можна прогнозувати також залишковий ресурс вузла, що дозволяє планувати ТО більш точно.

1.3.3 IoT та системи моніторингу.

Установка сенсорів на двигун, трансмісію, підвіску та шини дозволяє збирати дані в реальному часі:

- температура агрегатів;
- вібрації;

- витрати пального;
- швидкість та прискорення;
- навантаження на осі.

Ці дані аналізуються у реальному часі, що дозволяє запобігати аварійним поломкам і оптимізувати маршрути.

Приклад: автопарк із 50 вантажних автомобілів, після впровадження системи IoT, зменшив простій на 12% і скоротив непланові ремонти на 15%.

1.4 Вплив експлуатаційних факторів на зношування

1.4.1 Основні фактори

- Інтенсивність руху та режим роботи двигуна.
- Дорожні умови та якість покриття.
- Навантаження на кузов і осі.
- Якість пального та мастильних матеріалів.
- Режим технічного обслуговування.

1.4.2 Моделювання зношування.

$$R_{\text{прогноз}} = R_{\text{ном}} \cdot e^{-\alpha L - \beta Q - \gamma V_{\text{avg}} - \delta T_{\text{роб}}}$$

Це дозволяє прогнозувати залишковий ресурс агрегатів і планувати ТО. Коефіцієнти $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ визначаються експериментально для конкретного автопарку.

1.5 Інтеграція аналітики у систему управління автопарком

1.5.1 Етапи інтеграції.

1. Збір даних: GPS, IoT-сенсори, телеметрія, історія ТО.
2. Обробка та аналіз: статистичні методи, алгоритми машинного навчання, прогнозні моделі.

3. Прийняття рішень: планування ТО, оптимізація використання, адаптивний розподіл навантажень.

1.5.2 Приклади практичного застосування.

Аналітична система дозволяє:

- виявляти автомобілі, що потребують ТО раніше планового;
- економити до 15% витрат на ремонт;
- зменшувати простій;
- прогнозувати залишковий ресурс вузлів і агрегатів.

1.6 Висновки до розділу

1. Аналітика використання автотранспортного парку є ключовим інструментом для підвищення економічності та надійності логістичних систем.

2. Поєднання IoT, статистичних методів і машинного навчання дозволяє прогнозувати технічний стан і залишковий ресурс агрегатів.

3. Моделювання впливу експлуатаційних факторів на зношування дозволяє планувати ТО і зменшувати витрати на ремонт.

4. Використання аналітики підвищує ефективність автопарку, знижує простої та підвищує безпеку перевезень.

РОЗДІЛ 2

СИСТЕМИ ЗБОРУ ТА ОБРОБКИ ДАНИХ ПРО РУХ АВТОТРАНСПОРТУ

2.1 Джерела та типи даних

Для ефективного прогнозування та оптимізації графіків руху автотранспорту перш за все необхідно визначити джерела даних та їхні типи, адже точність прогнозів та ефективність маршрутизації безпосередньо залежать від якості вхідної інформації. Сучасні системи управління рухом автомобільного транспорту базуються на багаторівневому зборі даних, який включає як автоматизовані сенсорні системи, так і мобільні застосунки для водіїв та диспетчерів.

2.1.1 Джерела даних

Основні джерела даних для аналізу руху автотранспорту можна розділити на декілька категорій:

1. GPS та GNSS-трекери. Глобальна система позиціонування (GPS) або її аналоги GNSS (Global Navigation Satellite System) є найпоширенішим джерелом даних про місцезнаходження транспортного засобу. Сучасні GPS-трекери передають координати автомобіля з високою точністю в режимі реального часу, що дозволяє визначати:

- поточне місцезнаходження та маршрут руху;
- швидкість транспортного засобу;
- час у дорозі на певному відрізку маршруту;
- зупинки та час очікування.

Переваги: висока точність позиціонування, відносно низькі витрати на встановлення обладнання.

Недоліки: залежність від сигналу супутника, що може бути ускладнено в тунелях або густо забудованих районах.

2. IoT-сенсори на транспортних засобах. Сучасні вантажні та пасажирські автомобілі оснащуються сенсорами, які збирають детальну інформацію про стан транспортного засобу та його рух. Основні типи сенсорів:

- акселерометри та гіроскопи – визначають прискорення, нахили та вібрації;
- датчики температури та тиску – моніторинг двигуна та шин;
- датчики пального – контроль витрат і рівня пального;
- сенсори відкриття дверей та завантаження – контроль перевезення вантажу або пасажирів.

Дані від сенсорів збираються в центральну систему управління і можуть використовуватися не тільки для технічного моніторингу, а й для аналізу режимів руху та оптимізації маршрутів. Наприклад, високі вібрації та часті гальмування можуть сигналізувати про перевантаження або низьку якість дорожнього покриття, що впливає на прогноз часу прибуття.

3. Мобільні додатки та telematics-платформи. Водії часто використовують мобільні додатки, які передають інформацію про місцезнаходження, швидкість та стан руху. Такі додатки дозволяють:

- оперативно отримувати дані про пробки та дорожні події;
- передавати дані про час відправлення та прибуття;
- здійснювати комунікацію між водіями та диспетчерами;
- збирати дані для подальшого аналізу ефективності маршрутів.

Перевага: мобільні додатки дозволяють інтегрувати людський фактор у систему збору даних і отримувати інформацію з місць, де немає сенсорів або GPS.

4. Державні та відкриті бази даних. Крім даних, що збираються безпосередньо на транспорті, корисними є публічні джерела:

- дані про дорожні умови, ремонти та перекриття;
- інформація про середню швидкість на маршрутах;
- прогнози погоди та кліматичні умови, що впливають на час руху.

Використання таких даних дозволяє робити коригування маршрутів у реальному часі та зменшувати ризики затримок.

2.1.2 Типи даних.

Дані, які надходять із різних джерел, можна класифікувати за кількома критеріями:

1. Структуровані дані
 - Чітко визначені числові показники: координати, швидкість, час у дорозі, витрати пального.
 - Легко піддаються автоматизованій обробці і аналізу.
2. Напівструктуровані дані.
 - Логи сенсорів, повідомлення з мобільних додатків, текстові коментарі водіїв.
 - Вимагають попередньої обробки для інтеграції у аналітичні моделі.
3. Неструктуровані дані.
 - Фото, відео з камер, повідомлення про дорожні події.
 - Можуть використовуватися для додаткового контролю та уточнення інформації, наприклад, для навчання моделей комп'ютерного зору, які аналізують стан дороги чи завантаженість трас.
4. Дані реального часу vs. історичні дані.
 - Реального часу – дозволяють коригувати маршрути та графіки руху в процесі перевезення;
 - Історичні – необхідні для прогнозування часу руху, розрахунку середніх швидкостей, виявлення закономірностей затримок.

2.1.3 Взаємодія джерел.

Для максимальної ефективності аналітики всі джерела даних повинні бути інтегровані в єдину систему збору та обробки інформації. Це дозволяє:

- поєднувати GPS-координати з даними сенсорів для точного визначення часу у дорозі;

- використовувати мобільні додатки для уточнення маршрутів та повідомлень про затори;
- враховувати зовнішні фактори з державних баз даних при прогнозуванні та оптимізації.

Така інтеграція створює мультифакторну модель, яка враховує як технічні, так і логістичні аспекти руху автотранспорту, що значно підвищує точність прогнозів та ефективність оптимізації графіків.

2.2 Інтеграція GPS, IoT та мобільних даних

Ефективне прогнозування та оптимізація графіків руху автомобільного транспорту неможливі без системної інтеграції даних, що надходять із різних джерел. Одним із ключових завдань аналітики є узгодження GPS-координат, даних із IoT-сенсорів та інформації з мобільних додатків у єдину модель, яка дозволяє формувати реалістичні та точні прогнози часу руху та можливих затримок.

2.2.1. Архітектура інтеграції.

Сучасні системи управління автопарком зазвичай мають багаторівневу архітектуру інтеграції даних:

1. Рівень збору даних. На цьому рівні інформація надходить безпосередньо від:
 - GPS-трекерів, встановлених на транспортних засобах;
 - IoT-сенсорів, що відстежують прискорення, нахили, стан шин, рівень пального та інші параметри;
 - Мобільних додатків водіїв та диспетчерів, які передають координати, повідомлення про затори, час відправлення та прибуття.

Дані збираються у реальному часі, що дозволяє системі оперативно реагувати на зміни умов руху.

2. Рівень обробки та нормалізації даних. Дані з різних джерел мають різну структуру та формат.

- GPS-дані – координати та швидкість у числовому форматі;
- Сенсорні дані – лог-файли, часові ряди;
- Мобільні дані – текстові повідомлення, оцінки стану дороги.

На цьому етапі відбувається очищення, нормалізація та синхронізація даних за часовими мітками, щоб можна було коректно поєднувати їх у єдину базу.

3. Рівень інтеграції та зберігання
Дані з різних джерел об'єднуються в єдину базу або аналітичний хмарний сервіс.

- Використовуються реляційні та нереляційні бази даних;
- Забезпечується можливість швидкого запиту даних за різними параметрами: маршрутом, часом, транспортним засобом;
- Додаються метадані, які описують джерело, якість і точність даних.

4. Рівень аналітики та прогнозування
На цьому рівні інтегровані дані стають основою для:

- побудови прогнозних моделей руху;
- оптимізації маршрутів;
- оцінки часу прибуття та можливих затримок;
- аналізу факторів, що впливають на ефективність графіків.

2.2.2 Методи інтеграції даних.

Існує кілька основних методів інтеграції даних:

1. ETL-процеси (Extract, Transform, Load)

- Extract – витяг даних із GPS-трекерів, сенсорів та мобільних додатків;
- Transform – трансформація та нормалізація даних для уніфікованого формату;
- Load – завантаження у єдину аналітичну базу.

ETL дозволяє працювати з великими обсягами даних і забезпечує стабільність аналітики.

2. API-інтеграція

Використовується для зв'язку різних систем:

- GPS-сервіси надсилають координати через REST або SOAP API;
- IoT-платформи передають сенсорні дані у реальному часі;
- Мобільні додатки надсилають події через push-повідомлення або WebSocket.

API-інтеграція дозволяє створювати динамічні та адаптивні системи моніторингу, де всі дані постійно оновлюються.

3. Data Lake та Big Data-платформи

Для великих автопарків та складних маршрутів часто використовують Data Lake, що дозволяє зберігати структуровані, напівструктуровані та неструктуровані дані.

- Аналітика відбувається за допомогою Hadoop, Spark або аналогічних платформ;
- Можливе проведення масштабованого аналізу та машинного навчання для прогнозування часу та оптимізації маршрутів.

2.2.3. Виклики інтеграції.

Інтеграція даних не є простою задачею. Основні проблеми включають:

- Невідповідність форматів та точності – GPS може оновлювати координати кожні 5 секунд, а мобільний додаток – раз на хвилину.
- Втрата даних або запізнення – сенсори можуть тимчасово не передавати дані через технічні проблеми або слабкий сигнал.
- Сумісність різних платформ – різні виробники GPS, IoT-систем і мобільних додатків мають власні протоколи передачі даних.
- Обробка великих обсягів даних – навіть для середнього автопарку щодня генерується тисячі повідомлень, які потрібно зберігати, обробляти та аналізувати.

Щоб подолати ці проблеми, використовуються системи буферизації, нормалізації та резервного зберігання даних, а також механізми контролю якості даних.

2.2.4. Переваги інтегрованої системи.

Інтеграція GPS, IoT та мобільних даних забезпечує:

1. Точне прогнозування часу прибуття та виявлення потенційних затримок;
2. Адаптивну оптимізацію маршрутів у реальному часі, враховуючи пробки, ремонтні роботи та погодні умови;
3. Моніторинг ефективності водіїв та транспортних засобів, що дозволяє коригувати графіки і підвищувати економічну ефективність;
4. Підвищення безпеки перевезень, оскільки система відслідковує швидкість, різкі гальмування та інші ризиковані дії;
5. Можливість масштабування системи, коли автопарк розширюється або додаються нові маршрути.

2.3 Методи попередньої обробки даних

Після збору даних із GPS, IoT-сенсорів та мобільних додатків необхідно провести їх попередню обробку, щоб забезпечити коректність і узгодженість інформації для подальшого аналізу та прогнозування графіків руху. Попередня обробка включає кілька основних етапів: очищення даних, нормалізацію, синхронізацію за часовими мітками, агрегацію та фільтрацію.

2.3.1 Очищення даних

Дані, які надходять із різних джерел, часто містять помилки, пропуски або некоректні значення. Очищення передбачає:

1. Видалення некоректних або нереалістичних координат
 - Наприклад, GPS може час від часу видавати координати, що знаходяться поза межами маршруту або навіть поза територією країни через втрату сигналу.
 - Такі дані видаляються або коригуються за допомогою алгоритмів інтерполяції.
2. Видалення дублікатів

- Часто сенсори або мобільні додатки надсилають повторювані повідомлення про положення чи швидкість.

- Дублікати видаляються за часовими мітками або унікальними ідентифікаторами транспортного засобу.

3. Обробка пропущених значень

- Пропуски можуть виникати через тимчасові відключення GPS, сенсорів або втрату зв'язку.

- Для відновлення пропущених даних використовують методи інтерполяції, наприклад, лінійну інтерполяцію або сплайни, які дозволяють отримати плавний і реалістичний маршрут.

4. Корекція помилок у часі та швидкості

- Іноді швидкість, розрахована на основі GPS, може бути нереальною, наприклад, 200 км/год для вантажного автомобіля.

- Подібні значення або усуваються, або замінюються на середні показники для даного відрізка маршруту.

2.3.2 Нормалізація даних

Після очищення дані з різних джерел мають узгодити масштаби, одиниці виміру та формати, щоб їх можна було аналізувати в єдиній системі. Основні операції нормалізації включають:

1. Перетворення координат у єдину систему

- Наприклад, якщо частина GPS даних передається у WGS84, а інші у локальній системі, необхідно перевести їх у єдину систему координат для точного аналізу маршрутів.

2. Уніфікація часових міток

- Дані з різних джерел можуть містити часові мітки у різних часових поясах або форматах (UTC, локальний час).

- Всі записи переводяться у єдиний формат та часовий пояс, що дозволяє синхронізувати дані для аналітики в реальному часі.

3. Стандартизація одиниць виміру

- Наприклад, швидкість може бути у км/год або м/с, відстань у метрах або кілометрах, температура двигуна у °C або °F.

- Стандартизація забезпечує коректність розрахунків та прогнозів.

2.3.3 Синхронізація даних

Оскільки GPS, IoT-сенсори та мобільні додатки оновлюють інформацію з різною частотою, важливо синхронізувати дані за часовими мітками:

1. Вирівнювання частоти оновлень

- GPS може надсилати координати кожні 5 секунд, IoT-сенсори – раз на 1 секунду, мобільний додаток – раз на 30 секунд.

- Для аналізу необхідно узгодити частоту, наприклад, агрегувати дані до 5 секунд або інтерполювати для отримання значень для кожного часовго відрізка.

2. Поєднання даних різних джерел

- Для кожного транспортного засобу дані GPS об'єднуються з даними сенсорів (швидкість, прискорення, вібрації, температура двигуна) та мобільних додатків (стан руху, повідомлення про затори).

- Результатом стає єдиний часовий ряд, який використовується для побудови моделей прогнозування та оптимізації маршрутів.

2.3.4 Агрегація та фільтрація

Для полегшення аналізу дані можуть бути агреговані за часовими інтервалами або сегментами маршрутів:

1. Агрегація по відрізках маршруту

- Визначення середньої швидкості, часу руху, часу стоянки для конкретного відрізка дороги.

- Це дозволяє виявити ділянки, де рух відбувається повільніше, що може сигналізувати про затори або погану якість дороги.

2. Агрегація по часових інтервалах

- Наприклад, аналіз середньої швидкості за кожен годину дня або за день тижня.

- Це допомагає виявити закономірності руху та планувати оптимальні графіки.

3. Фільтрація шуму та аномалій

- Використовуються методи статистичної обробки, наприклад, усічене середнє або медіанне фільтрування, щоб виключити випадкові «сплески» швидкості або позицій.

- Фільтрація забезпечує стабільніші і надійніші прогнози при подальшому моделюванні.

2.3.5 Підготовка даних до аналітики

Після очищення, нормалізації, синхронізації та агрегації дані стають готовими для:

- Побудови прогнозних моделей руху;
- Оптимізації маршрутів і графіків;
- Виявлення закономірностей у поведінці транспортних засобів;
- Оцінки впливу зовнішніх факторів, таких як погодні умови, дорожні обмеження, затори.

На цьому етапі дані можуть бути завантажені в аналітичні платформи або системи машинного навчання, де проводиться детальний аналіз для прогнозування часу руху, виявлення вузьких місць на маршрутах та формування оптимальних графіків.

2.4 Фільтрація та очищення даних

Після первинної підготовки даних із GPS, IoT-сенсорів та мобільних додатків на етапі попередньої обробки наступним критично важливим кроком є фільтрація та очищення даних. Цей етап забезпечує видалення шуму, помилкових значень та аномалій, що виникають у процесі збору інформації. Без належної фільтрації подальші етапи аналітики, прогнозування та оптимізації графіків руху автотранспорту будуть неточними або навіть помилковими.

2.4.1 Джерела шуму та помилок

Дані з різних джерел містять як систематичні, так і випадкові помилки.

Основні джерела шуму включають:

1. Помилки GPS
 - Прямо впливають на точність координат транспортного засобу.
 - Можуть виникати через слабкий сигнал, відбивання супутникових хвиль від будівель (ефект мультипату), тимчасові перешкоди у міських умовах.
 - Результатом стають «стрибки» координат, які не відповідають реальному маршруту.
2. Помилки IoT-сенсорів
 - Наприклад, акселерометри та гіроскопи можуть генерувати випадкові пульсації даних через електромагнітні завади або технічні несправності.
 - Датчики температури, тиску чи пального іноді на короткий час передають нереальні значення, наприклад, від'ємні показники або надвисокі піки.
3. Помилки мобільних додатків
 - Затримка передачі даних через слабкий мобільний сигнал.
 - Некоректне введення інформації користувачем (наприклад, неправильний час відправлення або прибуття).
4. Системні та технічні помилки обробки
 - Дублікатні записи через повторну синхронізацію;
 - Невідповідність часових міток між різними джерелами;
 - Втрата даних через обрив зв'язку або тимчасове відключення сенсорів.

2.4.2 Основні методи фільтрації

Для видалення шуму та аномалій використовуються кілька основних методів:

1. Статистичні методи

- Медіанне фільтрування – заміна поточного значення на медіану сусідніх вимірювань.

Наприклад, якщо GPS координата різко «стрибає» на кілька сотень метрів у короткий проміжок часу, медіанний фільтр дозволяє згладити цю аномалію без втрати загальної траєкторії руху.

- Видалення викидів – визначення аномальних значень за допомогою стандартного відхилення або квартильного аналізу. Наприклад, швидкість 150 км/год для вантажного автомобіля в міських умовах вважається викидом.

2. Алгоритми ковзного середнього (Moving Average)

- Значення координат або швидкості усереднюються за певний часовий інтервал.
- Перевага: згладжуються короткочасні пульсації, що не відображають реального руху.
- Недолік: занадто довгий інтервал може «згладити» реальні зміни швидкості або маршруту.

3. Експоненційне згладжування

- Застосовується для часових рядів, де останні значення мають більшу вагу, а старі – меншу.
- Це дозволяє системі швидко реагувати на реальні зміни маршруту або швидкості, зменшуючи вплив шуму.

4. Алгоритми інтерполяції та екстраполяції

- Використовуються для відновлення пропущених даних.
- Лінійна інтерполяція застосовується для невеликих проміжків часу;
- Сплайнові або поліноміальні методи дозволяють відновити більш складні траєкторії руху.

2.4.3 Обробка координатних даних

GPS-координати потребують окремого підходу до очищення:

1. Видалення «стрибків»

- Створюються алгоритми, які порівнюють поточну координату з попередньою та наступною.

- Якщо відстань або швидкість виходить за межі фізично можливих значень, координата вважається аномальною і замінюється методом інтерполяції.

2. Фільтрація за швидкістю та прискоренням

- Використовується правило: якщо швидкість транспортного засобу змінюється надто різко, дані коригуються.

- Наприклад, різке стрибкоподібне прискорення до 20 м/с^2 для вантажного автомобіля вважається помилкою сенсора.

3. Сегментація маршруту

- Координати поділяються на сегменти по вулицях, районах або контрольних точках.

- Це дозволяє локалізувати аномалії та більш точно відновлювати реальний маршрут.

2.4.4 Обробка сенсорних даних

Дані з акселерометрів, гіроскопів, температури та інших IoT-сенсорів також потребують очищення:

1. Видалення шуму з акселерометрів та гіроскопів

- Використовуються фільтри Калмана або низькочастотні фільтри, щоб усунути випадкові коливання та залишити тільки реальні зміни прискорення та нахилів.

2. Перевірка фізичної можливості значень

- Температура двигуна або тиск у шинах порівнюються з нормативними межами.

- Значення поза межами коригуються або видаляються.

3. Агрегація та синхронізація з координатами

- Сенсорні дані об'єднуються з GPS-координатами для створення часових рядів, які використовуються у прогнозуванні маршруту та часу прибуття.

2.4.5 Обробка даних з мобільних додатків

Мобільні додатки часто передають текстові повідомлення, події або дані про затори:

1. Структурування текстових даних
 - Використовуються методи обробки природної мови (NLP) для класифікації повідомлень: затор, ремонт, аварія, погодні умови.
2. Фільтрація дублікатів та повторів
 - Часто один і той самий інцидент надсилається кілька разів різними користувачами.
 - Алгоритми агрегації визначають унікальні події та відсікають повтори.
3. Синхронізація з GPS та сенсорами
 - Повідомлення з додатків прив'язуються до конкретних координат та часу, що дозволяє врахувати вплив подій на фактичний рух транспортного засобу.

2.4.6 Використання фільтрів та алгоритмів

Для комплексної фільтрації та очищення даних часто комбінуються кілька підходів:

- Фільтри Калмана для координат та прискорення;
- Медіанне та ковзне середнє для швидкості та прискорення;
- Правила обмежень фізичних параметрів для сенсорів;
- Методи NLP та агрегації для повідомлень мобільних додатків.

Ця багаторівнева фільтрація дозволяє отримати стабільні та достовірні часові ряди даних, які є основою для прогнозування часу руху та оптимізації маршрутів у реальному часі.

2.5 Візуалізація та аналітичні панелі

Після інтеграції, попередньої обробки, фільтрації та очищення даних наступним ключовим етапом є візуалізація даних та створення аналітичних

панелей (дашбордів). Візуалізація дозволяє перетворити великі обсяги інформації про рух автотранспорту на зрозумілі графіки, карти та діаграми, які допомагають диспетчерам, менеджерам автопарку та аналітикам швидко приймати рішення щодо оптимізації маршрутів та графіків руху.

2.5.1 Значення візуалізації даних

Візуалізація даних відіграє кілька ключових ролей:

1. Підвищення зрозумілості та наочності
 - Складні часові ряди GPS-координат, дані IoT-сенсорів та повідомлення з мобільних додатків перетворюються на графіки та карти, які легко аналізувати.
 - Наприклад, карта маршруту з позначенням швидкості дозволяє одразу побачити ділянки, де транспорт затримується.
2. Підтримка оперативних рішень
 - Диспетчери можуть у режимі реального часу відстежувати розташування кожного автомобіля, швидкість руху, час стоянок і заторів.
 - Це дозволяє оперативно змінювати маршрути або коригувати графіки.
3. Підтримка стратегічного аналізу
 - Аналітичні панелі допомагають виявляти закономірності в русі автопарку, оцінювати ефективність маршрутів та планувати оптимізацію на майбутнє.
 - Можна порівнювати дані за днями, тижнями або місяцями, визначати «вузькі місця» та прогнозувати потреби в ресурсах.

2.5.2 Типи візуалізації

Для систем моніторингу та прогнозування руху автотранспорту використовуються різні типи візуалізації:

1. Картографічна візуалізація (Map Visualization)
 - GPS-координати транспортних засобів накладаються на цифрові карти.

- Використовуються різні шари: маршрути, точки зупинок, пробки, дорожні обмеження.

- Можливе відображення швидкості руху через колірну шкалу (наприклад, зелений – швидко, червоний – повільно).

2. Часові ряди (Time Series)

- Використовуються для відображення змін швидкості, прискорення, витрат пального та інших параметрів у часі.

- Дозволяє визначати періоди перевантаження або затримок, а також оцінювати ефективність виконання графіків.

3. Гістограми та діаграми розподілу

- Показують розподіл часу в дорозі, кількості зупинок або середньої швидкості.

- Використовуються для виявлення «типових» та «аномальних» маршрутів.

4. Кругові діаграми та стовпчикові графіки

- Використовуються для порівняння показників по різних автомобілях або маршрутах.

- Наприклад, порівняння середнього часу руху на різних ділянках або витрат пального по автомобілях парку.

5. Теплові карти (Heatmaps)

- Дозволяють виявляти ділянки з високою щільністю руху, частими заторами або зупинками.

- Використовуються як на карті маршруту, так і для аналізу часових інтервалів дня або тижня.

2.5.3 Аналітичні панелі (дашборди)

Аналітичні панелі – це інтерактивні інтерфейси, де всі ключові показники руху автотранспорту відображаються в одному вікні:

1. Основні елементи дашборду

- Карта руху автопарку з позначенням маршрутів та швидкості;
- Часові графіки швидкості, прискорення, витрат пального;

- Панель подій та повідомлень, наприклад, аварії, затори, зміни погоди;

- Сумарні показники ефективності, такі як середній час руху, кількість простоїв, відхилення від графіка.

2. Інтерактивність

- Можливість масштабування карти, вибору конкретного транспортного засобу, перегляду його маршруту у деталях;

- Фільтрація даних за часом, маршрутом, типом події;

- Взаємодія з прогностичними моделями: на основі історичних даних дашборд може показувати очікуваний час прибуття та пропонувані зміни маршруту.

3. Переваги дашбордів

- Забезпечують швидке реагування на зміни умов руху;
- Допомагають визначати ефективність водіїв та маршрутів;
- Полегшують комунікацію між диспетчерами, водіями та менеджментом автопарку;

- Дає змогу визначати закономірності для стратегічного планування.

2.5.4 Приклади реалізації

Сучасні системи управління автопарком, що інтегрують GPS, IoT та мобільні дані, часто мають:

- Інтерактивні карти Google Maps або OpenStreetMap з накладенням маршрутів та подій;
- Аналітичні платформи на базі Power BI, Tableau або Qlik для відображення часових рядів, гістограм і теплових карт;
- Мобільні додатки для водіїв, що дозволяють переглядати дашборд у реальному часі та отримувати рекомендації щодо зміни маршруту.

2.5.5 Практичне значення

Візуалізація та аналітичні панелі дозволяють:

1. Підвищити швидкість прийняття рішень у диспетчерських службах;

2. Скоротити час простоїв та затримок, оскільки проблемні ділянки видно одразу;
3. Покращити планування маршрутів на основі історичних та поточних даних;
4. Зменшити витрати на експлуатацію автопарку, оскільки ефективне використання часу і ресурсів веде до економії пального та зменшення зносу автомобілів;
5. Забезпечити прозорість управління автопарком, оскільки всі зацікавлені сторони можуть бачити дані в одному інтерфейсі.

2.6 Висновки до розділу 2

Розділ 2 присвячений системам збору та обробки даних про рух автотранспорту, які є ключовим елементом сучасного управління автопарками та оптимізації транспортних процесів. У ході аналізу були розглянуті основні джерела даних, методи інтеграції, попередньої обробки, фільтрації, очищення та візуалізації інформації, що дозволяє створювати комплексні системи моніторингу та аналітики.

По-перше, джерела та типи даних охоплюють широкий спектр інформації: GPS-координати транспортних засобів, показники IoT-сенсорів, дані з мобільних додатків водіїв і диспетчерів, а також інформацію про дорожню ситуацію, погодні умови та події на маршрутах. Кожен тип даних має свої особливості, формат та частоту оновлення, що потребує системного підходу до інтеграції та обробки.

По-друге, інтеграція GPS, IoT та мобільних даних дозволяє об'єднати розрізнені джерела інформації у єдину аналітичну систему. Цей процес включає збір даних у реальному часі, синхронізацію часових міток, нормалізацію одиниць виміру та побудову уніфікованих структур даних. Інтеграція забезпечує створення повної та достовірної картини руху автопарку, що є базою для подальшого аналізу та прийняття управлінських рішень.

По-третє, методи попередньої обробки даних включають очищення, нормалізацію, синхронізацію та агрегацію інформації. Очищення дозволяє видалити дублікати, пропущені або некоректні значення; нормалізація забезпечує узгодженість форматів, одиниць виміру та часових міток; синхронізація поєднує дані з різною частотою оновлення; агрегація дозволяє групувати інформацію за часовими інтервалами або ділянками маршруту, що полегшує подальший аналіз.

По-четверте, фільтрація та очищення даних є важливим етапом підвищення точності інформації. Використання статистичних методів, медіанного та ковзного середнього фільтру, алгоритмів Калмана та обмежень фізичних параметрів дозволяє видалити шум та аномалії, забезпечуючи стабільні та достовірні часові ряди. Це дозволяє уникати помилкових висновків і підвищує ефективність наступних етапів аналітики.

По-п'яте, візуалізація та аналітичні панелі перетворюють оброблені дані на зрозумілі графіки, карти та дашборди. Карти маршруту з позначенням швидкості та зупинок, часові ряди швидкості і витрат пального, гістограми та теплові карти дозволяють диспетчерам і менеджерам автопарку швидко оцінювати стан руху, виявляти проблемні ділянки та ухвалювати оперативні рішення. Аналітичні панелі забезпечують інтерактивний доступ до даних, фільтрацію за часом, маршрутом або транспортним засобом та наочну презентацію ключових показників ефективності.

Таким чином, розділ 2 демонструє, що системи збору та обробки даних про рух автотранспорту є невід'ємною частиною сучасного управління автопарками, забезпечуючи повну прозорість руху, високу точність прогнозів та основу для подальшої оптимізації маршрутів і графіків. Комплексний підхід до інтеграції, обробки та візуалізації даних дозволяє не лише підвищувати оперативну ефективність, а й планувати стратегію розвитку автопарку з урахуванням історичних тенденцій, зовнішніх факторів та реальних потреб перевезень.

РОЗДІЛ 3

АНАЛІЗ ФАКТИЧНОГО РУХУ АВТОТРАНСПОРТУ

3.1 Характеристика автопарку і маршрутів

Для аналізу фактичного руху автотранспорту необхідно визначити структуру автопарку, характеристики транспортних засобів та основні параметри маршрутів. Це дозволяє оцінити ефективність використання автопарку, визначити критичні ділянки маршрутів і створити основу для подальшого прогнозування часу руху та оптимізації графіків.

3.1.1 Структура автопарку.

Автопарк підприємства може складатися з різних типів транспортних засобів, які відрізняються вантажопідйомністю, витратою пального, габаритами та технічним станом. Для прикладу розглянемо умовний автопарк, що складається з трьох категорій транспортних засобів: легкові автомобілі, вантажні середньої вантажопідйомності та великі вантажівки.

Таблиця 3.1

Структура автопарку

Тип ТЗ	Вантажопідйомність, т	Макс. швидкість, км/год	Витрати пального, л/100 км	Кількість, шт
Легковий авто	1,0	120	8	10
Вантажний середній	5,0	90	18	6

Вантажний великий	15,0	80	30	4
----------------------	------	----	----	---

Кожен транспортний засіб характеризується додатковими параметрами: довжина маршруту без дозаправки, середня швидкість у міському і заміському режимах, час обслуговування на завантажувальних пунктах, що враховується у подальшому моделюванні маршрутів.

Наприклад, середній час завантаження вантажівки становить:

$$t_{load} = 0,5 \text{ год, а розвантаження} - t_{unload} = 0,75 \text{ год.}$$

3.1.2 Основні параметри маршрутів.

Маршрути автопарку класифікуються за довжиною, складністю та призначенням:

1. Міські маршрути: короткі (до 30 км), часті зупинки, середня швидкість $V_{avg} \approx 25 - 35$ км/год.
2. Приміські маршрути: середня довжина 30–100 км, поєднання міських і заміських ділянок, $V_{avg} \approx 40 - 60$ км/год.
3. Міжміські маршрути: понад 100 км, швидкісні ділянки, мінімальна кількість зупинок, $V_{avg} \approx 60 - 90$ км/год.

Для кожного маршруту можна розрахувати очікуваний час руху за формулою:

$$T_{route} = \frac{L}{V_{avg}} + \sum t_{stop}$$

де T_{route} – загальний час проходження маршруту, год;

L – довжина маршруту, км;

V_{avg} – середня швидкість, км/год;

Σt_{stop} – сумарний час зупинок на завантаження, розвантаження та очікування.

Приклад розрахунку.

Довжина міського маршруту:

$$L = 25 \text{ км.}$$

Середня швидкість:

$$V_{avg} = 30 \text{ км/год.}$$

Завантаження:

$$0,5 \text{ год.}$$

Розвантаження:

$$0,75 \text{ год.}$$

Тоді загальний час проходження маршруту

$$\begin{aligned} T_{route} &= \frac{25}{30} + 0,5 + 0,75 = \\ &= 0,833 + 0,5 + 0,75 \approx 2,083 \text{ год } (\approx 2\text{год}5\text{хв}) \end{aligned}$$

3.1.3 Витрати пального на маршрутах.

Фактичні витрати пального залежать від типу транспортного засобу, довжини маршруту та середньої швидкості. Для розрахунку використовується формула:

$$F = L \cdot \frac{C}{100}$$

де F – витрати пального на маршруті, л;

L – довжина маршруту, км;

C – витрати пального на 100 км, л/100 км.

Приклад.

Вантажівка середньої вантажопідйомності:

$$C = 18 \text{ л/100 км.}$$

Довжина маршруту:

$$L = 80 \text{ км.}$$

Тоді витрати пального на маршруті:

$$F = 80 \cdot \frac{18}{100} = 14,4 \text{ л}$$

Ці дані дозволяють оцінити економічну ефективність використання автопарку та порівнювати альтернативні маршрути за витратами пального.

3.1.4 Часова характеристика руху.

Для аналізу фактичного руху важливо визначити фактичну швидкість на різних ділянках маршруту та час простоїв. Середня швидкість на маршруті розраховується так:

$$V_{fact} = \frac{L}{T_{drive}}$$

де T_{drive} – фактичний час руху без урахування зупинок.

Якщо на міській ділянці довжиною 10 км автомобіль витратив 30 хв на рух і 10 хв на зупинки, тоді:

$$V_{fact} = \frac{10}{0,5} = 20 \text{ км/год}$$

Це менше за планову середню швидкість $V_{avg} = 25 - 30 \text{ км/год}$, що свідчить про можливі затори або невідповідність графіка.

3.1.5 Таблиця класифікації маршрутів.

Таблиця 3.2

Класифікації маршрутів

Маршрут	Довжина, км	Середня швидкість, км/год	Час завантаже ння, год	Час розвантаж ення, год	Очікувани й час маршруту, год
Міський 1	25	30	0,5	0,75	2,08
Приміський 1	60	50	0,5	0,5	2,2
Міжміський 1	150	80	0,75	0,75	3,625

Табл. 3.2 дозволяє наочно порівнювати ефективність маршрутів і транспортних засобів, виявляти вузькі місця та планувати оптимізацію графіків.

3.2 Аналіз фактичного пробігу і часу в дорозі

Аналіз фактичного пробігу та часу в дорозі є одним із ключових етапів дослідження ефективності функціонування автотранспортної системи. Саме на основі цих показників можна оцінити, наскільки раціонально використовується рухомий склад, чи відповідають реальні умови перевезень запланованим, а також визначити основні втрати часу та ресурсів у процесі виконання маршрутів.

Перш за все, фактичний пробіг транспортного засобу визначається як сумарна довжина маршруту, пройдена за певний період часу. У сучасних умовах цей показник, як правило, обчислюється на основі GPS-даних, які дозволяють відстежувати координати транспортного засобу у часі. В такому випадку пробіг визначається як сума відстаней між послідовними точками маршруту:

$$L_{fact} = \sum_{i=1}^{n-1} d_i$$

де d_i – відстань між двома сусідніми координатами. Для практичних розрахунків, особливо в межах міста, може використовуватись спрощена формула визначення відстані:

$$d_i = \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}$$

Розглянемо простий числовий приклад. Нехай транспортний засіб пройшов три ділянки довжиною 10 км, 15 км і 12 км відповідно. Тоді фактичний пробіг становитиме:

$$L_{fact} = 10 + 15 + 12 = 37 \text{ км}$$

Після визначення фактичного пробігу доцільно перейти до його порівняння з плановим значенням. Це дозволяє оцінити ступінь виконання маршруту та виявити можливі відхилення. Для цього використовується коефіцієнт виконання пробігу:

$$K_L = \frac{L_{fact}}{L_{plan}}$$

Наприклад, якщо плановий пробіг становив 40 км, а фактичний – 37 км, тоді:

$$K_L = \frac{37}{40} = 0,925$$

Отримане значення свідчить про те, що маршрут виконано не повністю, або ж мала місце зміна траєкторії руху, наприклад, через об'їзд або оптимізацію маршруту водієм.

Далі необхідно перейти до аналізу часу в дорозі. Загальний час виконання маршруту складається з часу безпосереднього руху та часу простою. Це можна записати у вигляді співвідношення:

$$T_{total} = T_{drive} + T_{idle}$$

Час руху включає всі інтервали, коли транспортний засіб знаходиться у стані переміщення, тобто коли його швидкість більша за нуль. Водночас час простою охоплює періоди, коли транспортний засіб не рухається або рухається з мінімальною швидкістю, близькою до нуля.

Час простою може включати такі складові, як очікування на завантаження або розвантаження, затримки у заторах, технічні зупинки, а також порушення графіка руху. Для того щоб оцінити вплив простоїв на ефективність перевезень, доцільно розрахувати відповідні коефіцієнти.

Перш за все, визначимо коефіцієнт використання часу:

$$K_t = \frac{T_{drive}}{T_{total}}$$

Наведемо числовий приклад. Нехай загальний час виконання маршруту становить 2,5 години, з яких 2 години транспортний засіб перебував у русі. Тоді:

$$K_t = \frac{2}{2,5} = 0,8$$

Це означає, що 80% часу транспорт використовувався ефективно, а решта 20% припадає на простої. Відповідно, коефіцієнт простою можна визначити як:

$$K_{idle} = \frac{T_{idle}}{T_{total}} = 1 - K_t$$

$$K_{idle} = 1 - 0,8 = 0,2$$

Отже, у даному випадку 20% часу було втрачено, що свідчить про наявність резервів для підвищення ефективності.

Наступним важливим показником є середня швидкість руху транспортного засобу. При цьому доцільно розрізняти експлуатаційну (фактичну) швидкість і технічну швидкість. Середня швидкість руху без урахування простоїв визначається за формулою:

$$V_{avg} = \frac{L_{fact}}{T_{drive}}$$

Тоді як технічна швидкість, що враховує всі витрати часу, обчислюється так:

$$V_{tech} = \frac{L_{fact}}{T_{total}}$$

Розглянемо приклад. Нехай транспортний засіб пройшов 80 км за 2 години чистого руху, але загальний час виконання маршруту становив 2,5 години. Тоді:

$$V_{avg} = \frac{80}{2} = 40 \text{ км/год}$$

$$V_{tech} = \frac{80}{2,5} = 32 \text{ км/год}$$

Отримані результати показують, що через простої фактична ефективність руху знижується, що безпосередньо впливає на продуктивність автопарку.

Завершуючи аналіз, доцільно визначити основні відхилення від планових показників. Для цього можуть бути використані такі співвідношення:

$$\Delta L = L_{fact} - L_{plan}$$

$$\Delta T = T_{total} - T_{plan}$$

Ці показники дозволяють кількісно оцінити, наскільки реальні умови виконання маршруту відрізняються від запланованих, і виявити причини таких відхилень.

Таким чином, проведений аналіз фактичного пробігу і часу в дорозі дозволяє не лише оцінити ефективність використання транспортних засобів, але й виявити конкретні резерви для оптимізації. Зокрема, зменшення часу простоїв, підвищення середньої швидкості руху та мінімізація відхилень від планових маршрутів можуть суттєво підвищити загальну ефективність транспортного процесу. Отримані результати є основою для подальшого моделювання, прогнозування та оптимізації графіків руху автотранспорту.

3.3 Виявлення вузьких місць і заторів

Одним із ключових етапів аналізу фактичного руху автотранспорту є виявлення так званих «вузьких місць» маршрутів, тобто ділянок, на яких систематично виникають затримки, знижується швидкість руху або формуються затори. Саме ці ділянки найбільше впливають на загальний час виконання маршруту та ефективність використання транспортних засобів.

Під вузькими місцями розуміють відрізки маршруту, для яких характерні стійкі відхилення фактичних параметрів руху від нормативних або планових значень. Такі відхилення можуть бути викликані високою інтенсивністю руху, недостатньою пропускнуою здатністю дороги, наявністю світлофорів, перехресть, дорожніх робіт або іншими факторами.

Для кількісної оцінки стану руху на окремих ділянках маршруту доцільно використовувати показник фактичної швидкості. Як було зазначено раніше, вона визначається за формулою:

$$V_{fact} = \frac{L}{T_{drive}}$$

де L – довжина ділянки, а T_{drive} – фактичний час її проходження. Після цього виконується порівняння отриманого значення з нормативною або плановою швидкістю V_{plan} .

Для оцінки ступеня завантаженості ділянки введемо коефіцієнт зниження швидкості:

$$K_v = \frac{V_{fact}}{V_{plan}}$$

Якщо значення цього коефіцієнта суттєво менше одиниці, це свідчить про наявність проблемної ділянки.

Розглянемо приклад. Нехай на певній ділянці маршруту довжиною 5 км транспортний засіб витрачає 15 хвилин. Тоді фактична швидкість становить:

$$V_{fact} = \frac{5}{0,25} = 20 \text{ км/год}$$

Якщо планова швидкість для цієї ділянки дорівнює 40 км/год, тоді:

$$K_v = \frac{20}{40} = 0,5$$

Отримане значення означає, що швидкість знизилась удвічі, що є явною ознакою вузького місця.

Крім швидкості, важливим показником є затримка часу на ділянці. Її можна визначити як різницю між фактичним і плановим часом проходження:

$$\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$$

$$\text{де } T_{plan} = \frac{L}{V_{plan}}.$$

У наведеному прикладі:

$$T_{plan} = \frac{5}{40} = 0,125 \text{ год} = 7,5 \text{ хв}$$

$$\Delta T = 15 - 7,5 = 7,5 \text{ хв}$$

Це означає, що на одній ділянці маршруту виникає додаткова затримка у 7,5 хвилин, що може суттєво впливати на весь графік руху.

Для більш глибокого аналізу доцільно враховувати також частоту виникнення заторів. Якщо певна ділянка систематично демонструє високі значення затримок у різні дні або часові інтервали, її можна вважати стабільним вузьким місцем. У цьому випадку вводиться коефіцієнт повторюваності заторів:

$$K_{rep} = \frac{n_{delay}}{n_{total}}$$

де n_{delay} – кількість випадків перевищення допустимого часу,

n_{total} – загальна кількість спостережень.

Наприклад, якщо із 10 проходжень маршруту у 7 випадках спостерігалася значна затримка, тоді:

$$K_{rep} = \frac{7}{10} = 0,7$$

Це свідчить про те, що проблема носить системний характер і потребує обов'язкового врахування при оптимізації маршруту.

Окрім цього, доцільно аналізувати структуру затримок у часі. Як правило, вузькі місця проявляються у години пік, тому важливо дослідити залежність швидкості руху від часу доби. Наприклад, одна і та ж ділянка може проходитися за 5 хвилин у нічний час і за 20 хвилин у ранкові години, що вказує на нерівномірність транспортного потоку.

На основі отриманих даних можна сформуувати узагальнену таблицю для аналізу ділянок маршруту.

Таблиця 3.3

Характеристика ділянок маршруту

Ділянка	Довжина, км	$V_{\text{факт}}$, км/год	$V_{\text{план}}$, км/год	ΔT , хв	K_v
1	5	20	40	7,5	0,5
2	8	50	60	2	0,83
3	3	15	35	5	0,43

З таблиці видно, що найбільш проблемною є третя ділянка, оскільки вона має найменше значення коефіцієнта швидкості та значну затримку.

Таким чином, проведений аналіз дозволяє не лише виявити вузькі місця маршрутів, але й кількісно оцінити їх вплив на транспортний процес. Отримані результати можуть бути використані для коригування маршрутів, зміни часу відправлення, перерозподілу транспортних потоків або застосування алгоритмів оптимізації. У подальшому це створює основу для підвищення ефективності використання автопарку та зменшення загальних витрат часу і ресурсів.

3.4 Оцінка відповідності графіків плану руху

Оцінка відповідності фактичного руху автотранспорту запланованим графікам є одним із ключових етапів аналізу транспортної системи. Вона дозволяє визначити, наскільки реальні умови експлуатації відповідають попередньо сформованому плану перевезень, а також виявити системні відхилення, які впливають на ефективність роботи автопарку.

У загальному випадку план руху визначає нормативні значення часу відправлення, проходження контрольних точок та прибуття до кінцевого пункту. Фактичні дані, отримані з GPS, IoT-сенсорів та мобільних додатків, дозволяють порівняти ці значення з реальними та кількісно оцінити рівень відхилень.

3.4.1 Порівняння планового і фактичного часу руху.

Основним показником оцінки є відхилення фактичного часу виконання маршруту від планового. Воно визначається за формулою:

$$\Delta T = T_{fact} - T_{plan}$$

Де T_{fact} – фактичний час виконання маршруту;

T_{plan} – плановий (нормативний) час руху.

Якщо $\Delta T > 0$, це означає перевищення плану, тобто затримку руху. Якщо $\Delta T < 0$, маршрут виконано швидше за план, що може свідчити як про високу ефективність, так і про некоректність планування.

3.4.2 Коефіцієнт відповідності графіку.

Для більш комплексної оцінки використовується коефіцієнт відповідності графіку руху:

$$K_{sch} = \frac{T_{plan}}{T_{fact}}$$

Цей показник дозволяє оцінити ступінь виконання графіка.

Розглянемо приклад. Якщо плановий час маршруту становить 2 години, а фактичний – 2,5 години, тоді:

$$K_{sch} = \frac{2}{2,5} = 0,8$$

Отримане значення означає, що графік виконано лише на 80%, що свідчить про наявність систематичних затримок.

3.4.3 Аналіз відхилень по контрольних точках.

Для більш детального аналізу маршрут поділяється на контрольні точки (зупинки, перехрестя, логістичні вузли). Для кожної точки визначається плановий і фактичний час прибуття:

$$\Delta T_i = T_{fact,i} - T_{plan,i}$$

Такий підхід дозволяє локалізувати відхилення не лише на рівні всього маршруту, але й на окремих його ділянках.

Наприклад, якщо на першій контрольній точці затримка становить 3 хвилини, а на другій – 10 хвилин, можна зробити висновок, що саме друга ділянка маршруту є проблемною з точки зору пропускної здатності або організації руху.

3.4.4 Коефіцієнт стабільності виконання графіку.

Для оцінки регулярності виконання маршрутів вводиться коефіцієнт стабільності:

$$K_{stab} = 1 - \frac{\sigma_T}{T_{avg}}$$

де σ_T – середньоквадратичне відхилення часу виконання маршруту;

T_{avg} – середній час виконання маршруту.

Чим ближче значення K_{stab} до 1, тим стабільніше виконується графік.

Розглянемо приклад. Якщо середній час виконання маршруту становить 2,4 год, а стандартне відхилення – 0,3 год:

$$K_{stab} = 1 - \frac{0,3}{2,4} = 0,875$$

Це означає досить високу стабільність, але з певними коливаннями, які можуть бути зумовлені зовнішніми факторами.

3.4.5 Аналіз систематичних відхилень.

Окрему увагу слід приділяти систематичним відхиленням, які повторюються у певні періоди часу або на конкретних маршрутах. Якщо затримки спостерігаються регулярно, це свідчить про недоліки в плануванні графіка або про стабільні зовнішні фактори впливу, такі як:

- затори у години пік;
- недостатня пропускна здатність доріг;
- нераціонально вибрані часові інтервали відправлення;
- перевантаження логістичних вузлів.

Для кількісної оцінки систематичності використовується частка відхилень:

$$K_{sys} = \frac{n_{delay}}{n_{total}}$$

Наприклад, якщо із 20 рейсів у 12 спостерігалися затримки:

$$K_{sys} = \frac{12}{20} = 0,6$$

Це означає, що у 60% випадків графік не виконується належним чином, що є критичним показником для оптимізації.

3.4.6 Узагальнення результатів оцінки.

На основі проведеного аналізу можна зробити узагальнення щодо відповідності графіків руху:

- планові графіки не завжди відповідають реальним умовам експлуатації;
- найбільші відхилення виникають на ділянках із високим транспортним навантаженням;
- коефіцієнти відповідності та стабільності дозволяють кількісно оцінити ефективність планування;
- систематичні відхилення свідчать про необхідність коригування маршрутів або часових інтервалів.

Таким чином, оцінка відповідності графіків руху є важливим інструментом контролю транспортної системи, який дозволяє виявляти проблеми планування та формувати основу для подальшої оптимізації руху автотранспорту.

3.5 Вплив зовнішніх факторів на рух (дорожні умови, погода)

Фактичні показники руху автотранспорту суттєво залежать не лише від внутрішніх параметрів автопарку чи організації маршрутів, але й від зовнішніх факторів. До найбільш впливових належать дорожні умови та погодні фактори, які безпосередньо змінюють швидкість руху, час проходження маршрутів, рівень простоїв і загальну стабільність виконання графіків.

Під дорожніми умовами у даному контексті розуміють стан дорожнього покриття, інтенсивність транспортного потоку, наявність світлофорного регулювання, дорожніх робіт, аварійних ситуацій, а також пропускну здатність окремих ділянок міської та позаміської інфраструктури. У свою чергу, погодні

умови включають опади, температуру повітря, вітер, туман та інші атмосферні явища, що впливають на безпеку та швидкість руху.

Для кількісної оцінки впливу зовнішніх факторів доцільно порівнювати фактичні показники руху в різних умовах. Зокрема, використовується зміна середньої швидкості:

$$\Delta V = V_{normal} - V_{ext}$$

де V_{normal} – середня швидкість у нормальних умовах,

V_{ext} – у складних зовнішніх умовах.

Якщо, наприклад, у нормальних умовах швидкість становить 50 км/год, а під час сильного дощу знижується до 35 км/год, тоді:

$$\Delta V = 50 - 35 = 15 \text{ км/год}$$

Це зниження безпосередньо впливає на збільшення часу виконання маршруту, що можна оцінити через відносне відхилення часу:

$$\Delta T_{rel} = \frac{T_{ext} - T_{normal}}{T_{normal}}$$

Наприклад, якщо маршрут у нормальних умовах виконується за 2 години, а за несприятливої погоди – за 2,5 години, тоді:

$$\Delta T_{rel} = \frac{2,5 - 2}{2} = 0,25$$

Отже, час виконання збільшується на 25%, що є суттєвим відхиленням для транспортного планування.

Окремо слід враховувати вплив дорожніх заторів, які можуть виникати як наслідок високої інтенсивності руху або аварій. У таких випадках знижується не лише середня швидкість, але й зростає частка часу простою. Це можна описати через коефіцієнт втрат часу:

$$K_{loss} = \frac{T_{idle}^{ext}}{T_{total}^{ext}}$$

Якщо у нормальних умовах частка простоїв становила 0,2, а під час заторів зростає до 0,4, це означає подвоєння втрат часу, що критично впливає на виконання графіків руху.

Погодні умови також впливають на безпеку та режим руху. Наприклад, при ожеледиці або сильному снігопаді водії змушені знижувати швидкість нижче нормативної, що автоматично призводить до збільшення часу доставки. У таких випадках зниження швидкості часто носить вимушений характер і може бути оцінене коефіцієнтом погодного впливу:

$$K_{weather} = \frac{V_{weather}}{V_{normal}}$$

Якщо швидкість у нормальних умовах становить 60 км/год, а під час складних погодних умов – 42 км/год, тоді:

$$K_{weather} = \frac{42}{60} = 0,7$$

Це означає, що ефективність руху знижується до 70% від нормативного рівня.

Важливо також враховувати, що зовнішні фактори мають нерівномірний характер впливу. Наприклад, одна й та сама ділянка дороги може бути

стабільною у денний час, але суттєво уповільнювати рух у години пік або під час дощу. Тому для точного аналізу доцільно використовувати накопичені статистичні дані, які дозволяють оцінити середній вплив факторів у різних періоди часу.

Таким чином, вплив зовнішніх факторів є одним із ключових елементів, що визначає реальну ефективність функціонування транспортної системи. Його врахування дозволяє більш точно оцінювати відхилення від планових графіків, коригувати маршрути та формувати адаптивні моделі управління рухом автотранспорту, які здатні реагувати на зміни дорожніх та погодних умов у реальному часі.

3.6 Висновки до розділу

У розділі 3 було проведено комплексний аналіз фактичного руху автотранспорту, який базується на реальних параметрах експлуатації транспортних засобів, даних GPS-моніторингу та узагальнених характеристиках маршрутної мережі. Основна увага приділялася оцінці пробігу, часу руху, відповідності графіків плановим значенням, а також впливу зовнішніх факторів на ефективність перевезень.

У межах першого підпункту було розглянуто структуру автопарку та особливості організації маршрутів. Встановлено, що різні типи транспортних засобів мають суттєво відмінні експлуатаційні характеристики, зокрема щодо вантажопідйомності, витрат пального та середньої швидкості руху. Це безпосередньо впливає на вибір маршрутів і формування графіків перевезень.

Далі було виконано аналіз фактичного пробігу і часу в дорозі, де встановлено, що реальні показники руху можуть суттєво відхилятися від планових через наявність простоїв, затримок та змін дорожніх умов. Використання коефіцієнтів використання часу та середньої швидкості дозволило кількісно оцінити ефективність руху та визначити частку втрат часу.

Окремо було розглянуто процес виявлення вузьких місць і заторів, який показав, що навіть окремі ділянки маршруту з низькою пропускнуою здатністю можуть суттєво впливати на загальний час виконання рейсу. Використання показників зниження швидкості та повторюваності затримок дало можливість ідентифікувати проблемні ділянки та оцінити їх системний характер.

У межах оцінки відповідності графіків руху встановлено, що фактичне виконання маршрутів часто відрізняється від планових значень. Запроваджені коефіцієнти відповідності та стабільності дозволили кількісно оцінити рівень дотримання графіків і виявити регулярні відхилення, які потребують коригування планування.

Також було проаналізовано вплив зовнішніх факторів, зокрема дорожніх умов та погодних явищ. Встановлено, що ці фактори можуть істотно знижувати середню швидкість руху, збільшувати час виконання маршрутів та підвищувати частку простоїв. Це підтверджує необхідність врахування зовнішнього середовища при моделюванні транспортних процесів.

Таким чином, результати розділу 3 показують, що фактичний рух автотранспорту є складною багатофакторною системою, на яку впливають як внутрішні параметри автопарку, так і зовнішні умови. Проведений аналіз створює основу для подальшої розробки методів оптимізації маршрутів та підвищення ефективності транспортних систем у цілому.

РОЗДІЛ 4

ПРОГНОЗУВАННЯ ГРАФІКІВ РУХУ

4.1 Створення прогнозних моделей

4.1.1 Вихідні дані для прогнозування. Основою для побудови прогнозних моделей виступає накопичена база фактичних спостережень, яка включає:

- координати руху транспортних засобів у часовій послідовності;
- фактичні значення швидкості на окремих ділянках маршрутів;
- час проходження контрольних точок;
- тривалість зупинок і простоїв;
- дані про затори та зовнішні фактори.

Таким чином, вихідні дані можна подати у вигляді часових рядів:

$$X(t) = \{L(t), V(t), T(t)\}$$

де $L(t)$ – пробіг,

$V(t)$ – швидкість,

$T(t)$ – час виконання маршруту.

4.1.2 Базова модель прогнозування часу руху. Однією з найпростіших моделей прогнозування є модель середніх значень, яка ґрунтується на історичних даних. Прогнозований час руху може бути визначений як середнє значення попередніх спостережень:

$$T_{forecast} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

де T_i – фактичний час виконання маршруту в попередні періоди.

Однак така модель не враховує динаміку змін умов руху, тому використовується як базова оцінка.

4.1.3 Вагові моделі прогнозування.

Більш точним підходом є використання зваженого середнього, де більш нові дані мають більший вплив на результат:

$$T_{forecast} = \sum_{i=1}^n w_i \cdot T_i$$

де w_i – вагові коефіцієнти, причому:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Такий підхід дозволяє враховувати актуальні зміни в транспортній системі, зокрема появу нових заторів, зміну дорожньої інфраструктури або сезонні коливання.

4.1.4 Регресійні моделі прогнозування.

Для підвищення точності прогнозів застосовуються регресійні моделі, які дозволяють встановити залежність часу руху від набору факторів:

$$T = a_0 + a_1V + a_2L + a_3C + \varepsilon$$

Де V – середня швидкість руху;

L – довжина маршруту;

C – рівень завантаженості дороги;

a_0, a_1, a_2, a_3 – коефіцієнти моделі;

ε – випадкова похибка.

Застосування регресійного аналізу дозволяє враховувати одночасний вплив кількох змінних та отримувати більш точні прогностні значення.

4.1.5 Моделі на основі часових рядів. Для врахування динаміки змін у часі використовуються моделі часових рядів, які дозволяють аналізувати тренди та сезонні коливання. Загальний вигляд такої моделі можна подати як:

$$T(t) = T_{trend}(t) + T_{season}(t) + T_{noise}(t)$$

де $T_{trend}(t)$ – довгострокова тенденція зміни часу руху;

$T_{season}(t)$ – сезонні коливання (день тижня, година доби);

$T_{noise}(t)$ – випадкові відхилення.

Цей підхід є особливо ефективним для міських маршрутів, де спостерігається чітка залежність від часу доби.

Практичне застосування прогностних моделей. Отримані прогностні моделі використовуються для:

- оцінки очікуваного часу прибуття транспортних засобів;
- формування адаптивних графіків руху;
- попередження можливих затримок;
- підвищення точності логістичного планування.

Зокрема, якщо прогноз показує збільшення часу руху на певному маршруті, система може автоматично рекомендувати зміну часу відправлення або альтернативний маршрут.

Таким чином, створення прогностних моделей є важливим етапом переходу від аналізу фактичних даних до управління транспортними процесами в реальному часі. Використання як простих статистичних, так і більш складних регресійних та часових моделей дозволяє підвищити точність прогнозів та забезпечити основу для подальшої оптимізації графіків руху автотранспорту.

4.2 Методи прогнозування часу в дорозі

Найпростішим підходом є визначення часу руху через середню швидкість. У цьому випадку модель не враховує детальних затримок, але дає базову оцінку тривалості маршруту:

$$T_{forecast} = \frac{L}{V_{avg}}$$

де L – довжина маршруту;

V_{avg} – середня швидкість руху.

Такий підхід доцільно використовувати на попередньому етапі планування або для маршрутів із відносно стабільними умовами руху.

4.2.2 Метод з урахуванням простоїв. Більш реалістичний підхід передбачає врахування часу простоїв, які виникають під час руху транспортного засобу. Це дозволяє наблизити прогноз до фактичних умов експлуатації:

$$T_{forecast} = \frac{L}{V_{avg}} + T_{idle}$$

де T_{idle} – сумарний час простоїв.

Час простоїв формується як сума окремих затримок:

$$T_{idle} = \sum_{i=1}^n T_i$$

де T_i – окремі інтервали затримок, які можуть виникати на світлофорах, у заторах, на перехрестях або під час операцій завантаження і розвантаження.

Включення цього параметра дозволяє значно підвищити точність прогнозування, особливо в міських умовах руху.

4.2.3 Статистичний метод прогнозування. Статистичний метод базується на аналізі історичних даних про фактичний час виконання маршрутів. Його основна ідея полягає у використанні усередненого значення попередніх спостережень:

$$T_{forecast} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n T_i$$

де T_i – фактичний час виконання маршруту;

n – кількість спостережень.

Цей метод дозволяє враховувати реальні умови експлуатації транспортної системи, однак має обмежену чутливість до різких змін дорожньої ситуації або сезонних факторів.

4.2.4 Зважений метод прогнозування. Для підвищення точності використовується зважений підхід, у якому різні спостереження мають різний вплив на результат. Більш актуальні дані отримують більшу вагу:

$$T_{forecast} = \sum_{i=1}^n w_i T_i$$

де w_i – ваговий коефіцієнт відповідного спостереження.

При цьому виконується умова нормування:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

Застосування цього підходу дозволяє враховувати зміни умов руху у часі та підвищує адаптивність моделі до реальної транспортної ситуації.

4.2.5 Корекція прогнозу з урахуванням зовнішніх факторів. Окрему роль у прогнозуванні відіграють зовнішні фактори, які можуть суттєво впливати на

швидкість руху та тривалість маршруту. До них належать дорожні затори, погодні умови та інтенсивність транспортного потоку.

У цьому випадку використовується коригуючий коефіцієнт:

$$T_{forecast} = \frac{L}{V_{avg}} \cdot K_{ext}$$

де K_{ext} – коефіцієнт зовнішніх умов

Його можна подати як сумарний вплив основних факторів:

$$K_{ext} = K_{road} + K_{weather} + K_{traffic}$$

де K_{road} – вплив стану дорожнього покриття;

$K_{weather}$ – вплив погодних умов;

$K_{traffic}$ – вплив інтенсивності транспортного потоку.

Значення коефіцієнта дозволяє коригувати базову модель та адаптувати прогноз до реальних умов руху.

4.2.6 Узагальнення методів. Таким чином, прогнозування часу в дорозі може здійснюватися різними методами, які відрізняються рівнем складності та точності. Найпростіші підходи базуються на середній швидкості руху, тоді як більш складні моделі враховують простоту, статистичні дані та зовнішні фактори.

Комбінування різних методів дозволяє підвищити точність прогнозування та забезпечити більш ефективне планування графіків руху автотранспорту, що є важливим елементом оптимізації транспортної системи в цілому.

4.3 Використання машинного навчання та алгоритмів AI

Використання методів машинного навчання та алгоритмів штучного інтелекту у задачах прогнозування графіків руху автотранспорту є сучасним напрямом розвитку транспортної аналітики. На відміну від класичних статистичних підходів, такі методи дозволяють враховувати складні нелінійні залежності між параметрами руху та адаптувати модель до змін умов у реальному часі.

Основна ідея застосування AI полягає у побудові моделі, яка на основі історичних даних здатна прогнозувати час у дорозі, швидкість руху або ймовірність виникнення заторів. При цьому модель навчається на великому обсязі даних, що включає GPS-треки, часові відмітки, дорожні умови та погодні фактори.

4.3.1 Загальна постановка задачі машинного навчання. У загальному вигляді задачу прогнозування часу руху можна представити як функціональну залежність:

$$T_{forecast} = f(X)$$

де $T_{forecast}$ – прогнозований час руху;

X – вектор вхідних ознак транспортного процесу.

Вектор X може включати:

$$X = (L, V, C, W, t)$$

Де L – довжина маршруту;

V – середня швидкість руху;

C – рівень завантаженості дороги;

W – погодні умови;

t – час доби.

4.3.2 Лінійні моделі машинного навчання. Одним із базових підходів є лінійна регресія, яка дозволяє оцінити залежність часу руху від набору факторів:

$$T = a_0 + a_1L + a_2V + a_3C + a_4W + \varepsilon$$

де T – час руху;

a_0, a_1, a_2, a_3, a_4 – параметри моделі;

ε – випадкова похибка.

Такі моделі є простими в інтерпретації, але мають обмеження при складних нелінійних залежностях.

4.3.3 Нелінійні моделі та дерева рішень. Для підвищення точності прогнозування використовуються нелінійні алгоритми, зокрема дерева рішень та ансамблеві методи. Загальна ідея полягає у розбитті простору ознак на підмножини з подальшим локальним прогнозуванням.

У цьому випадку прогноз можна подати як:

$$T_{forecast} = \sum_{i=1}^n p_i T_i$$

де p_i – ймовірність потрапляння у i -ту гілку дерева;

T_i – локальний прогноз для відповідної гілки.

4.3.4 Нейронні мережі для прогнозування. Найбільш потужним інструментом є використання штучних нейронних мереж, які дозволяють моделювати складні залежності між параметрами руху. Загальна форма моделі має вигляд:

$$T_{forecast} = F(X, \theta)$$

де F – функція нейронної мережі;

X – вхідні дані;

θ – параметри (ваги) моделі.

Процес навчання полягає у мінімізації функції похибки:

$$E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (T_i - T_{forecast,i})^2$$

де T_i – фактичний час руху;

$T_{forecast,i}$ – прогнозований час.

Переваги використання AI моделей. Використання алгоритмів машинного навчання дозволяє враховувати велику кількість факторів одночасно, включаючи нелінійні взаємозв'язки, які важко описати класичними методами. Крім того, такі моделі можуть адаптуватися до нових даних без необхідності повного перерахунку параметрів.

Таким чином, застосування машинного навчання та алгоритмів штучного інтелекту у прогнозуванні графіків руху автотранспорту дозволяє значно підвищити точність розрахунків та адаптивність моделей. У порівнянні з класичними методами, AI-підходи забезпечують кращу обробку великих масивів даних та врахування складних залежностей між параметрами транспортного процесу.

4.4 Прогнозування затримок та ризиків

Прогнозування затримок та ризиків у транспортних системах є важливим етапом аналітичного забезпечення управління рухом автотранспорту. Його основна мета полягає у завчасному виявленні потенційних відхилень від запланованого графіка руху та оцінці ймовірності виникнення критичних ситуацій, які можуть вплинути на ефективність перевезень.

У загальному випадку затримки виникають під впливом сукупності факторів, серед яких основними є дорожні затори, погодні умови, аварійні ситуації, обмеження інфраструктури та нерівномірність транспортних потоків. Тому задача прогнозування ризиків полягає у визначенні ймовірності виникнення затримки на основі вхідних параметрів транспортного процесу.

У формалізованому вигляді ймовірність затримки можна подати як:

$$P_{delay} = f(L, V, C, W, t)$$

де P_{delay} – ймовірність виникнення затримки;

L – довжина маршруту;

V – середня швидкість руху;

C – рівень завантаженості дороги;

W – погодні умови;

t – час доби.

Чим більші значення завантаженості та несприятливих погодних умов, тим вищим є значення ймовірності затримки. Водночас збільшення середньої швидкості руху та сприятливі дорожні умови зменшують цей показник.

Для кількісної оцінки ризику затримок часто використовується пороговий підхід, коли система класифікує ситуацію як критичну або некритичну:

$$R = \begin{cases} 1, & P_{delay} \geq P_{crit} \\ 0, & P_{delay} < P_{crit} \end{cases}$$

де R – індикатор ризику;

P_{crit} – критичне значення ймовірності затримки.

Окрім бінарної оцінки, у практичних задачах застосовується також градація ризиків, яка дозволяє виділити низький, середній та високий рівні

небезпеки. Це забезпечує більш гнучке управління транспортними процесами та дозволяє заздалегідь коригувати графіки руху.

Важливим елементом прогнозування є також оцінка очікуваного часу затримки. У загальному випадку він може бути визначений як:

$$T_{delay} = T_{actual} - T_{plan}$$

де T_{delay} – час затримки;

T_{actual} – фактичний час виконання маршруту;

T_{plan} – плановий час виконання маршруту.

Аналіз накопичених значень T_{delay} дозволяє виявити системні проблеми на окремих ділянках маршруту та визначити їх повторюваність у часі.

Таким чином, прогнозування затримок і ризиків є важливим інструментом підвищення надійності транспортної системи. Воно дозволяє не лише фіксувати фактичні відхилення, але й завчасно передбачати їх появу, що створює основу для адаптивного управління графіками руху та мінімізації негативного впливу зовнішніх факторів.

4.5 Моделювання альтернативних маршрутів

Моделювання альтернативних маршрутів є важливим етапом у задачах оптимізації транспортних систем, оскільки дозволяє забезпечити гнучкість у плануванні руху та мінімізувати вплив непередбачуваних затримок. У випадку виникнення заторів, аварій або інших обмежень на основному маршруті система повинна мати можливість швидко обрати альтернативний варіант руху з мінімальними втратами часу.

Основна ідея полягає у формуванні множини можливих маршрутів між початковою та кінцевою точками з подальшою оцінкою кожного з них за критерієм мінімального часу або мінімальних витрат. У загальному випадку альтернативні маршрути можна подати як множину:

$$R = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_n\}$$

де R_i – i -й можливий маршрут між заданими точками.

Для кожного маршруту визначається прогнозований час руху:

$$T_i = \frac{L_i}{V_{avg,i}} + T_{idle,i}$$

де T_i – час проходження i -го маршруту;

L_i – довжина i -го маршруту;

$V_{avg,i}$ – середня швидкість на i -му маршруті;

$T_{idle,i}$ – сумарний час простоїв на i -му маршруті.

На основі отриманих значень виконується вибір оптимального маршруту:

$$R_{opt} = \min (T_i)$$

де R_{opt} – оптимальний маршрут з мінімальним часом руху.

Однак у практичних задачах вибір маршруту не завжди базується лише на мінімальному часі. Часто враховуються додаткові критерії, такі як протяжність маршруту, витрати палива, інтенсивність руху та рівень надійності дорожньої інфраструктури.

У цьому випадку використовується узагальнена функція оцінки маршруту:

$$F_i = \alpha T_i + \beta L_i + \gamma C_i$$

де F_i – інтегральна оцінка i -го маршруту;

T_i – час руху;

L_i – довжина маршруту;

C_i – додаткові витрати або штрафні фактори;

$$\alpha + \beta + \gamma = 1.$$

Коефіцієнти α , β , γ визначають вагу кожного критерію залежно від пріоритетів транспортної системи. Наприклад, у міських перевезеннях більша вага може надаватися часу руху, тоді як у міжміських перевезеннях – довжині маршруту або витратам палива.

Додатково доцільно враховувати ймовірність виникнення затримок на кожному маршруті:

$$P_i = f(C_i, W_i, D_i)$$

де P_i – ймовірність затримки на i -му маршруті;

C_i – інтенсивність руху;

W_i – погодні умови;

D_i – дорожній стан.

З урахуванням цього оптимальний маршрут може визначатися не лише за мінімальним часом, але й за мінімальним ризиком:

$$R_{opt} = \min (T_i \cdot P_i)$$

Таким чином, моделювання альтернативних маршрутів дозволяє підвищити стійкість транспортної системи до зовнішніх впливів та забезпечити більш ефективне управління рухом. Використання комбінованих критеріїв оптимізації дає змогу балансувати між швидкістю, надійністю та економічною ефективністю перевезень.

4.6 Висновки до розділу

У даному розділі було розглянуто підходи до прогнозування графіків руху автотранспорту з використанням як класичних математичних моделей, так і сучасних методів аналізу даних та машинного навчання. Особливу увагу приділено формуванню прогнозних моделей часу в дорозі, які є базовим елементом для подальшої оптимізації транспортних процесів.

Показано, що найпростіші методи прогнозування, які базуються на середній швидкості руху, дозволяють отримати лише наближену оцінку часу виконання маршруту. У той же час врахування простоїв, статистичних даних та зовнішніх факторів значно підвищує точність розрахунків і наближає модель до реальних умов експлуатації транспортної системи.

Окремо розглянуто застосування методів машинного навчання та алгоритмів штучного інтелекту, які дозволяють враховувати складні нелінійні залежності між параметрами руху та адаптувати прогнози до змін у реальному часі. Це забезпечує більш високу гнучкість моделі та її придатність для використання в умовах динамічних транспортних систем.

Також було проаналізовано підхід до прогнозування затримок та ризиків, який дозволяє завчасно виявляти потенційні відхилення від планового графіка руху та оцінювати їх ймовірність. Це є важливим інструментом підвищення надійності транспортного обслуговування.

Крім того, розглянуто моделювання альтернативних маршрутів, що забезпечує можливість оперативного перенаправлення транспортних засобів у випадку виникнення несприятливих умов на основному маршруті. Використання інтегральних критеріїв оцінки дозволяє враховувати не лише час руху, але й додаткові фактори ефективності та ризику.

Таким чином, сукупність розглянутих методів формує комплексний підхід до прогнозування та оптимізації графіків руху автотранспорту, що є основою для підвищення ефективності та надійності транспортних систем.

ВИСНОВКИ

У роботі вирішено комплексну задачу дослідження, моделювання та прогнозування графіків руху автотранспорту з урахуванням внутрішніх характеристик автопарку, фактичних умов експлуатації та зовнішніх факторів впливу.

У результаті виконання першого завдання проаналізовано структуру автопарку та основні характеристики транспортних засобів і маршрутів. Встановлено, що різні категорії транспортних засобів суттєво відрізняються за вантажопідйомністю, витратами пального, швидкісними характеристиками та режимами експлуатації, що безпосередньо впливає на організацію маршрутної мережі та формування графіків руху.

Під час виконання другого завдання досліджено фактичні показники руху автотранспорту, включаючи пробіг, час у дорозі та простої. Встановлено, що реальні умови експлуатації призводять до відхилень від планових значень через затори, зупинки та нерівномірність руху, що знижує загальну ефективність використання транспортних засобів.

У межах третього завдання виявлено вузькі місця транспортних маршрутів та ділянки з підвищеним рівнем затримок. Показано, що навіть окремі проблемні ділянки можуть суттєво збільшувати загальний час виконання рейсів, а коефіцієнти зниження швидкості та повторюваності затримок дозволяють кількісно ідентифікувати такі зони.

Під час виконання четвертого завдання проведено оцінку відповідності фактичних графіків руху запланованим. Встановлено наявність систематичних відхилень між плановими та реальними показниками часу руху, що свідчить про необхідність коригування графіків та врахування реальних умов експлуатації.

У рамках п'ятого завдання досліджено вплив зовнішніх факторів, зокрема дорожніх умов, інтенсивності руху та погодних явищ. Показано, що ці фактори є суттєвими детермінантами змін швидкості руху та тривалості

маршрутів і повинні обов'язково враховуватися при плануванні транспортних процесів.

У межах шостого завдання розроблено та проаналізовано математичні моделі прогнозування часу руху транспортних засобів. Обґрунтовано доцільність використання як простих статистичних моделей, так і регресійних та часових моделей, які дозволяють підвищити точність прогнозів.

Під час виконання сьомого завдання досліджено можливості застосування методів машинного навчання та штучного інтелекту для прогнозування параметрів транспортного процесу. Встановлено, що AI-моделі забезпечують більш високу точність прогнозування завдяки врахуванню нелінійних залежностей та великого обсягу факторів впливу.

У межах восьмого завдання запропоновано підхід до моделювання альтернативних маршрутів і оцінки ризиків затримок. Показано, що використання багатокритеріальних моделей дозволяє підвищити гнучкість транспортної системи та знизити втрати часу при виникненні несприятливих умов руху.

Таким чином, результати роботи підтверджують, що ефективність функціонування автотранспортних систем значною мірою залежить від комплексного врахування фактичних даних руху, зовнішніх факторів та прогнозних моделей. Запропоновані підходи дозволяють підвищити точність планування маршрутів, зменшити простой та оптимізувати використання автопарку.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Форнальчик Є. Ю., Гілевич В. В., Могила І. А. Моделювання транспортних потоків. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2020. ISBN 978-966-941-417-5.
2. Смирнов І. Г., Косарева Т. В. Транспортна логістика. Київ: Центр учбової літератури, 2021. ISBN 978-966-364-723-4.
3. Поліщук В. П. Теорія транспортного потоку: методи і моделі організації дорожнього руху. Київ: Знання України, 2008.
4. Козаченко Д. М. та ін. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі. Київ: ПрофКнига, 2019. ISBN 978-966-97813-3-8.
5. Аулін В. В. та ін. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем. Кропивницький: СПД ФО Лисенко В. Ф., 2021.
6. Зіміна А. І., Харсун Л. Г. Транспортна логістика. Державний торговельно-економічний університет, 2024. DOI: 10.31617/nr.knute.2024-262.
7. Поліщук В. П. та ін. Системологія на транспорті (у 5 кн.). Київ: Знання України, 2010.
8. Вдовін О. М., Костенко О. М. Логістика: теорія та практика. Київ: КНЕУ, 2017.
9. Дмитриченко М. Ф., Гаврилов Е. В. Організація дорожнього руху. Київ: Вища школа, 2011.
10. Крикавський Є. В. Логістика. Основи теорії. Львів: Львівська політехніка, 2012.
11. Дикань В. Л., Корінь М. В. Організація транспортно-логістичних систем. Харків: УкрДУЗТ, 2015.
12. Ткаченко Н. В. Управління транспортними системами. Київ: НАУ, 2018.

13. Войтюк М. М. Моделювання транспортних процесів. Київ: КНУБА, 2016.
14. Левченко О. П. Дослідження операцій у транспортних системах. Харків: ХНАДУ, 2019.
15. Біловодська О. А. Логістичний менеджмент. Київ: КНЕУ, 2014.