

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

(повна назва)

Кафедра Системотехніки

(повна назва)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА Пояснювальна записка

рівень вищої освіти другий (магістерський)

«Розробка вебсистеми підтримки рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства»

(тема)

Виконав:

здобувач 2 року навчання,

групи ІТІМ-24-1

Артем АРТЕМЕНКО

(власне ім'я, прізвище)

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки

(код і назва спеціальності)

Тип програми Освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні технології

проекування

Керівник проф. каф. СТ

Людмила КОЛЕСНИК

(посада, власне ім'я, прізвище)

Допускається до захисту

Зав. кафедри

(підпис)

Ігор ГРЕБЕННИК

(власне ім'я, прізвище)

2025 р.

Я, як студент ХНУРЕ розумію і підтримую політику закладу із академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволену допомогу під час підготовки кваліфікаційної роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

16.12.2025



Артем АРТЕМЕНКО

Кваліфікаційна робота не містить відомостей заборонених до відкритого опублікування.

Кваліфікаційна робота виконана у відповідності до стандартів, що діють в Україні.

Попередній захист проведено 19 грудня 2025 р.

Керівник кваліфікаційної роботи



проф. Людмила КОЛЕСНИК

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук

Кафедра Системотехніки

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 122 – Комп'ютерні науки
(код і повна назва)

Тип програми Освітньо-професійна
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Освітня програма Інформаційні технології проектування
(повна назва освітньої програми)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри _____
(підпис)

«_____» _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

здобувачеві Артеменко Артему Дмитровичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Розробка вебсистеми підтримки рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства»

затверджена наказом по університету від " 24 " листопада 2025 р. № 1058Ст

2. Термін подання здобувачем роботи до екзаменаційної комісії 23 грудня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Розробка компонентів вебсистеми управління автопарком підприємства. Систему необхідно реалізувати у вигляді вебдодатку та забезпечувати користувачеві інтерфейс доступу до всіх функцій управління транспортними засобами, водіями, замовленнями та технічним обслуговуванням. Перелік використовуваних програмних засобів: Microsoft Windows 10, IntelliJ IDEA, Draw.IO, MySQL Workbench, Spring Boot Framework, Thymeleaf.

4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Аналіз предметної області, яка визначає діяльність організації; Аналіз існуючих інформаційних систем управління автопарками; Постановка задачі; Розробка вимог до інформаційної системи; Розробка системних вимог до системи; Розробка функціональних вимог до системи; Дослідження методів оцінювання ефективності використання транспортних засобів; Розробка лексикографічного методу багатокритеріального вибору транспортних засобів;

Розробка структури алгоритму вибору транспортного засобу; Розробка моделі бази даних системи; Розробка варіантів використання системи; Проектування архітектури вебсистеми; Розробка карти сайту; Розробка діаграми класів системи; Розробка діаграми послідовностей дій системи; Опис прийнятих проектних рішень при розробці системи; Реалізація програмного забезпечення системи;

5. Перелік графічного матеріалу із зазначенням креслеників, схем, плакатів, комп'ютерних ілюстрацій (п.5 включається до завдання за рішенням випускової кафедри) кресленики, схеми, плакати та/або комп'ютерні ілюстрації (слайди) на аркушах формату А4, що включаються до тексту пояснювальної записки або складу додатків; структура алгоритму; схема алгоритму; схема бази даних; діаграма варіантів використання; структурна схема архітектури; логічна структура (карта) сайту; діаграма класів; діаграма послідовностей процесу призначення транспортного засобу та водіїв.

6. Консультанти розділів роботи (п.6 включається до завдання за наявності консультантів згідно з наказом, зазначеним у п.1):


Найменування розділу	Консультант (посада, прізвище, ім'я, по батькові)	Позначка консультанта про виконання розділу	
		(підпис)	(дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни	Примітка
1.	Отримання завдання на кваліфікаційну роботу	24.11.2024	Виконано
2.	Аналіз предметної області, яка визначає діяль-	25.11.2024	Виконано
3.	Аналіз існуючих інформаційних систем управ-	02.12.2024	Виконано
4.	Постановка задачі та визначення сфери застосу-	09.12.2024	Виконано
5.	Дослідження методів оцінювання ефективності	16.12.2024	Виконано
6.	Розробка лексикографічного методу вибору тра-	23.12.2024	Виконано
7.	Розробка структури алгоритму та моделі бази да-	30.12.2024	Виконано
8.	Розробка варіантів використання системи	06.01.2025	Виконано
9.	Проектування архітектури вебсистеми та розро-	13.01.2025	Виконано
10.	Розробка діаграми класів системи та діаграми по-	20.01.2025	Виконано
11.	Реалізація програмного забезпечення системи	10.02.2025	Виконано
12.	Оформлення пояснювальної записки	16.12.2025	Виконано

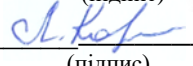
Дата видачі завдання « 24 » листопада 2025 р.

Здобувач



(підпис)

Керівник роботи

 проф. каф. СТ Людмила КОЛЕСНИК

(підпис)

(посада, власне ім'я, прізвище)

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської кваліфікаційної роботи: 70 с., 9 табл., 10 рис., 27 джерел інформації.

ВЕБСИСТЕМА ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ, ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА, ОПТИМІЗАЦІЯ АВТОПАРКУ, АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ ТРАНСПОРТУ, ФОРМУВАННЯ РЕКОМЕНДАЦІЙ.

Об'єктом дослідження є процес оптимізації експлуатації автопарку підприємства з використанням вебсистеми підтримки рішень.

Предметом досліджень є методи оцінювання ефективності використання транспортних засобів та алгоритми формування рекомендацій і попереджень для оптимізації роботи автопарку.

Мета досліджень: розробити вебсистему підтримки рішень з інтегрованим алгоритмом формування рекомендацій та попереджень для підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства.

Методи дослідження: статистичні методи обробки даних, методи оцінювання ефективності транспортних систем, математичне моделювання показників використання автопарку, алгоритмічні методи побудови аналітичних залежностей, методи структурного аналізу для формування рекомендацій та прогнозів.

У роботі розроблено алгоритм формування рекомендацій і попереджень щодо технічного обслуговування та перевантаження автомобілів, створено вебсистему підтримки рішень для управління автопарком. Розроблений алгоритм формує своєчасні рекомендації на основі даних про технічний стан та режими використання, що підвищує ефективність експлуатації та зменшує витрати на обслуговування.

Галузь застосування – автоматизація управління автопарками підприємств різних галузей, системи підтримки прийняття рішень в транспортній логістиці.

ABSTRACT

Master's Thesis: 70 pages, 9 tables, 10 figures, 27 sources of information.

WEB-BASED DECISION SUPPORT SYSTEM, TRANSPORT LOGISTICS, FLEET OPTIMIZATION, TRANSPORT EFFICIENCY ANALYSIS, RECOMMENDATION GENERATION.

The object of the research is the process of optimizing enterprise fleet operation using a web-based decision support system.

The subject of the research is the methods of assessing vehicle utilization efficiency and algorithms for generating recommendations and warnings to optimize fleet operations.

The purpose of the research: to develop a web-based decision support system with an integrated algorithm for generating recommendations and warnings to improve the efficiency of enterprise fleet operation.

Research methods: statistical methods of data processing, methods of assessing the efficiency of transport systems, mathematical modeling of fleet utilization indicators, algorithmic methods for constructing analytical dependencies, structural analysis methods for generating recommendations and forecasts.

The work develops an algorithm for generating recommendations and warnings regarding maintenance and vehicle overload, and creates a web-based decision support system for fleet management. The developed algorithm generates timely recommendations based on technical condition and usage patterns, improving operational efficiency and reducing maintenance costs.

Field of application – automation of fleet management for enterprises in various industries, decision support systems in transport logistics.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ ТА ПОЗНАЧЕНЬ.....	5
ВСТУП.....	6
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ.....	9
1.1 Дослідження сфери діяльності.....	9
1.2 Огляд існуючих розробок.....	12
1.3 Методи оцінювання ефективності використання транспортних засобів ...	16
1.4 Методичні підходи до розв’язання задач управління автопарком підприємства.....	20
1.5 Постановка задачі.....	29
2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ, ТЕХНОЛОГІЙ, ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОДІБНИХ ЗАДАЧ.....	32
2.1 Аналіз існуючих підходів, методів і засобів підтримки прийняття рішень у сфері управління автопарками.....	32
2.2 Лексикографічний метод вибору транспортного засобу	35
2.3 Розробка структури алгоритму	38
3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ВЕБСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	41
3.1 Розробка бази даних системи.....	41
3.1.1 Моделювання користувачів і ролей	43
3.1.2 Моделювання автопарку та технічного обслуговування.....	43
3.1.3 Моделювання замовлень і рейсів	45
3.1.4 Забезпечення цілісності та ефективності БД.....	46
3.1.5. Відповідність показників ефективності даним БД.....	47
3.2 Розробка варіантів використання системи	51
3.3 Архитектура вебзастосунку	53
3.3.1 Клієнтська підсистема	54
3.3.2 Серверна підсистема	54
3.3.3 Підсистема бази даних.....	56

3.4 Розробка карти сайту	56
3.5 Розробка діаграми класів	58
3.6 Діаграма послідовностей	62
ВИСНОВКИ.....	65
ПЕРЕЛІК ДжЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	68
ДОДАТОК А Графічний матеріал.....	71
ДОДАТОК Б Керівництво користувача.....	81
ДОДАТОК В Текст програми	89

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

БД – база даних;

вебСППР – вебсистема підтримки прийняття рішень;

СУБД – система управління базами даних.

ТО – технічне обслуговування.

ВСТУП

Сучасний етап розвитку транспортної галузі характеризується постійним зростанням вимог до ефективності використання транспортних ресурсів, мінімізації експлуатаційних витрат та підвищення надійності роботи автопарку. В умовах активної цифрової трансформації підприємств особливого значення набуває впровадження інформаційних систем, здатних забезпечити глибоку аналітичну обробку даних, прогнозування технічного стану транспортних засобів та надання інтелектуальної підтримки під час прийняття управлінських рішень.

На сьогоднішній день управління автопарком на більшості транспортних і виробничих підприємств здійснюється із застосуванням частково автоматизованих процесів або з використанням програмних систем обліку, які не забезпечують комплексного аналізу ефективності експлуатації транспортних засобів. Такий підхід призводить до нерационального розподілу транспортних ресурсів, несвоєчасного проведення технічного обслуговування, зростання витрат на паливо-мастильні матеріали, а також збільшення простоїв техніки через незаплановані ремонти. Відсутність інтегрованих аналітичних механізмів унеможливорює оперативне виявлення проблемних зон та формування обґрунтованих управлінських рішень. У зв'язку з цим виникає об'єктивна потреба у створенні сучасної системи підтримки прийняття рішень, яка б не лише забезпечувала облік транспортних даних, а й формувала конкретні рекомендації та попередження для оптимізації експлуатації автопарку.

Актуальність дослідження визначається необхідністю підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства через впровадження вебсистеми підтримки прийняття рішень, що інтегрує методи аналізу великих обсягів даних, оцінювання ефективності використання транспортних засобів за множиною критеріїв, а також алгоритми автоматизованого формування управлінських рекомендацій. Реалізація такої системи сприятиме суттєвому зменшенню експлуатаційних витрат, підвищенню продуктивності транспортних процесів, покращенню

якості планування технічного обслуговування та зниженню ризиків виникнення аварійних ситуацій.

Мета дослідження полягає у підвищенні ефективності експлуатації автопарку підприємства шляхом розроблення інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень, що базується на алгоритмах аналітичної обробки даних, багатокритеріального оцінювання транспортних засобів і формування цільових рекомендацій для керівництва та операторів.

Для досягнення поставленої мети визначено такі основні завдання:

- провести комплексний аналіз існуючих методів оцінювання ефективності використання транспортних засобів та систем управління автопарками;
- визначити систему ключових показників, що впливають на ефективність експлуатації автопарку, і обґрунтувати методика їх розрахунку;
- розробити та формалізувати алгоритм багатокритеріального вибору транспортного засобу для виконання замовлення на основі лексикографічного підходу;
- спроектувати логічну структуру та функціональну архітектуру вебсистеми підтримки прийняття рішень для управління автопарком;
- реалізувати програмне забезпечення системи із застосуванням сучасних технологій веброзробки;
- оцінити ефективність розроблених рішень у процесі моделювання експлуатаційних сценаріїв.

Об'єкт дослідження – процес експлуатації автопарку підприємства, що включає планування рейсів, контроль технічного стану транспортних засобів, управління навантаженням водіїв і аналіз ефективності транспортних операцій.

Предмет дослідження – методи та засоби оцінювання ефективності використання транспортних засобів, алгоритми багатокритеріального вибору та формування рекомендацій, а також архітектурні й технологічні підходи до побудови інформаційних систем підтримки прийняття рішень у транспортних системах.

Методи дослідження включають: системний аналіз транспортних процесів для виявлення ключових факторів впливу; статистичні методи обробки даних для визначення закономірностей експлуатації; математичне моделювання показників ефективності використання транспортних засобів; лексикографічний метод багатокритеріального вибору альтернатив; методи структурного аналізу та об'єктно-орієнтованого проектування для формування архітектури системи.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у розробленні комплексного аналітичного підходу до оцінювання ефективності експлуатації транспортних засобів, що базується на інтегрованому застосуванні системи експлуатаційних коефіцієнтів і лексикографічного методу багатокритеріального вибору. Вперше запропоновано формалізований алгоритм послідовного відбору транспортного засобу для виконання замовлення з урахуванням природної ієрархії критеріїв, що дозволяє уникнути суб'єктивності під час визначення вагових коефіцієнтів. Також вперше реалізовано поєднання оцінювання поточного технічного стану автомобілів із механізмами автоматизованого формування попереджень і рекомендацій на основі аналізу накопичених історичних даних.

Практичне значення отриманих результатів полягає у можливості безпосереднього застосування розробленої вебсистеми на підприємствах із власним автопарком для досягнення суттєвого зниження витрат на експлуатацію, підвищення надійності та технічної готовності транспортних засобів, оптимізації завантаження персоналу та загального покращення ефективності транспортних процесів. Запропоновані методи й алгоритми можуть бути адаптовані та використані для побудови аналогічних інформаційних систем у галузі транспортної логістики, моніторингу технічного стану промислового обладнання, диспетчеризації перевезень і виробничого планування ресурсів підприємства.

Публікації. Основні результати дослідження представлено у вигляді наукових публікацій, зокрема тез доповіді на міжнародній науково-технічній конференції молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти [1].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ

1.1 Дослідження сфери діяльності

У сучасних умовах розвитку транспортної галузі питання ефективного управління автопарком підприємства стає одним із ключових аспектів підвищення конкурентоспроможності та економічної стабільності організації. Високі ціни на паливо, зношування транспортних засобів, затримки в технічному обслуговуванні, нераціональні маршрути перевезень – усе це суттєво впливає на ефективність використання автопарку.

Зараз системи моніторингу автотранспорту є невід’ємною частиною роботи кожного транспортного підприємства. Вони дозволяють ефективно вирішувати бізнес-завдання, пов’язаних з оптимізацією процесів у компаніях-перевізниках. Крім того, завдяки таким системам підвищується рівень безпеки водіїв і вантажів під час перевезень [2-4].

Для ефективного управління логістичними процесами автомобільних перевезень необхідно здійснювати збір, обробку та передачу інформації, пов’язаної з відповідним потоком. Рух матеріальних ресурсів потребує фінансового забезпечення, а для успішного просування товарів і налагодження взаємодії між виробником та споживачем застосовуються різні види послуг. Отже, у логістиці поряд із матеріальним потоком розглядаються також інформаційний, фінансовий та сервісний потоки, які супроводжують і підтримують рух матеріальних цінностей.

Для прийняття оперативних і стратегічних рішень у сфері експлуатації транспортних засобів необхідні інформаційні технології, що здатні аналізувати значні обсяги даних, виявляти закономірності та формувати рекомендації щодо оптимізації процесів. Одним із найбільш ефективних напрямів є вебсистеми підтримки прийняття рішень (вебСППР), які поєднують аналітичні методи, алгоритми прогнозування, а також інструменти візуалізації даних [5].

Вебсистема підтримки рішень для автопарку включає такі основні підсистеми:

- інформаційну – для збору, зберігання та обробки даних про транспортні засоби, водіїв, маршрути, витрати пального, технічні огляди;
- аналітичну – для розрахунку показників ефективності (коефіцієнт використання пробігу, витрати пального, коефіцієнт технічної готовності тощо);
- рекомендаційну – для автоматичного формування попереджень (наприклад, про необхідність ТО або перевищення планових витрат);
- інтерфейсну (веб) – для зручного доступу керівників і диспетчерів через браузер у режимі реального часу.

Для забезпечення ефективної роботи підприємства автотранспортної галузі будемо доцільно використовувати вебсистему підтримки прийняття рішень (вебСППР), яка дозволяє автоматизувати процеси аналізу, планування та контролю експлуатації транспортних засобів, структурна схема якої зображена на рисунку 1.1.

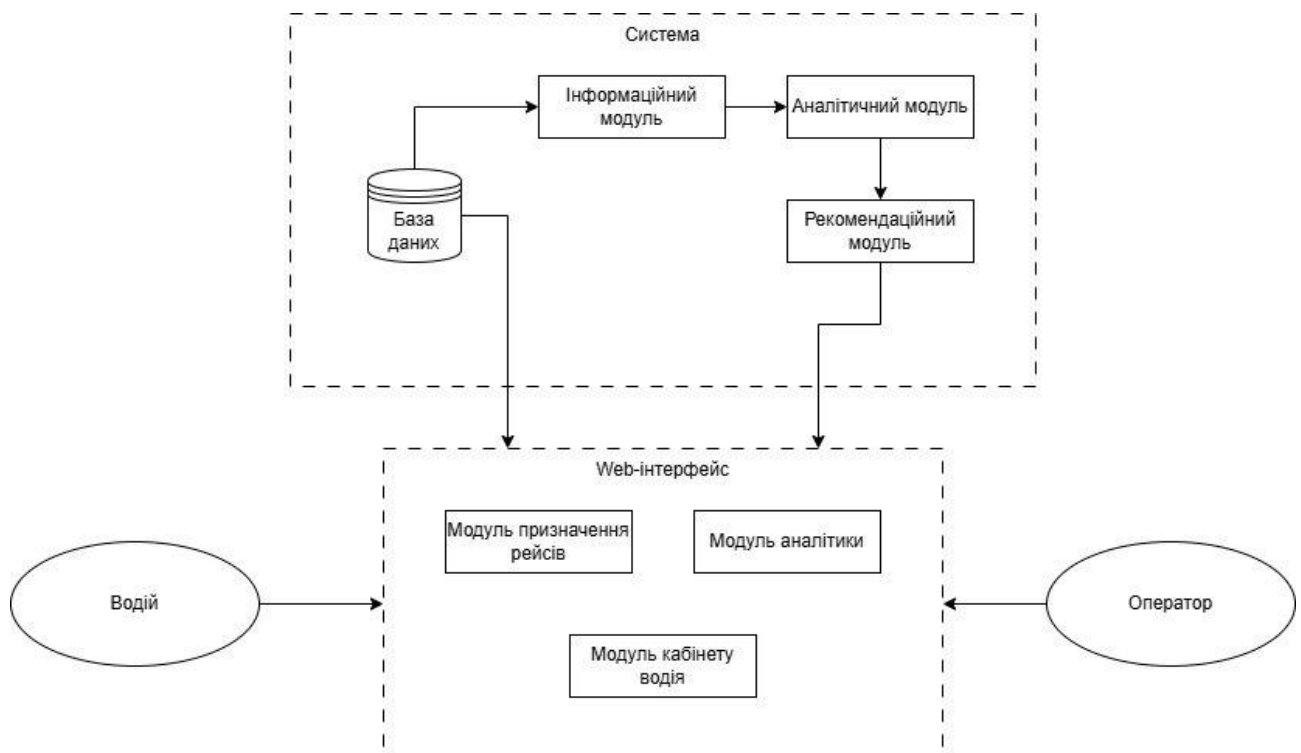


Рисунок 1.1 – Структурна схема вебСППР автопарку

Структурна схема СППР (рис. 1.1) відображає взаємозв'язок основних компонентів системи, що забезпечують збір, зберігання, обробку та представлення даних користувачам.

До складу системи входять такі основні модулі:

- інформаційний модуль, який відповідає за введення та оновлення інформації про транспортні засоби, водіїв, маршрути, технічне обслуговування, витрати пального тощо. Всі дані зберігаються у централізованій базі даних;
- аналітичний модуль. Цей модуль виконує обробку накопичених даних, розрахунок показників ефективності використання автопарку (коефіцієнтів технічної готовності, пробігу, використання часу, витрат пального тощо) і виявляє відхилення від нормативних показників;
- рекомендаційний модуль. Він формує управлінські пропозиції на основі результатів аналітики. Зокрема, ця система може автоматично створювати попередження про необхідність проведення технічного обслуговування, перевищення витрат пального або нераціональне завантаження транспортних засобів;
- база даних, є центральним сховищем усієї інформації, що використовується в системі. Забезпечує узгодженість, цілісність і швидкий доступ до даних усіх модулів.

Для взаємодії користувачів із системою використовується вебінтерфейс, який реалізує доступ до основних функцій вебСППР через браузер. Він складається з трьох функціональних модулів:

- модуль призначення рейсів. Цей модуль дозволяє оператору формувати маршрути, розподіляти транспортні засоби та водіїв між рейсами;
- модуль аналітики. Він надає оператору або керівнику можливість переглядати статистику, діаграми та звіти, які сформовані аналітичним модулем;
- модуль кабінету водія призначається для надання водію доступу до інформації про його рейси, маршрут, стан автомобіля та отримані повідомлення від системи.

Така структура вебСППР забезпечує централізоване зберігання даних, розподіляє функції між користувачами, сприяє підвищенню швидкості прийняття управлінських рішень та мінімізує дію людського фактору.

Сучасні інформаційні системи управління автопарком базуються на принципах централізованої обробки даних із використанням вебтехнологій і моделі клієнт-сервер. Серверна частина виконує збереження й обробку інформації (часто із застосуванням реляційних або NoSQL баз даних), а клієнтська забезпечує візуалізацію результатів у браузері. Для таких систем важливими характеристиками є надійність, масштабованість і балансування навантаження, особливо при великій кількості транспортних засобів і користувачів.

Інформаційні системи цього типу належать до операційно-аналітичних систем підтримки рішень (OLAP-систем), які застосовуються в управлінні ресурсами підприємства. Вони поєднують елементи логістичних систем, оскільки забезпечують планування, облік, контроль і оптимізацію переміщення ресурсів (транспортних засобів, палива, вантажів тощо).

Таким чином, вебсистема підтримки рішень для управління автопарком є складовою класу корпоративних інформаційних систем, спрямованих на:

- підвищення ефективності експлуатації транспорту;
- зниження експлуатаційних витрат;
- підвищення безпеки та надійності автопарку;
- автоматизацію процесів контролю й аналізу.

Застосування таких систем дозволяє підприємствам не лише оперативно реагувати на зміни в роботі транспорту, а й прогнозувати потенційні ризики, планувати обслуговування, а також приймати обґрунтовані управлінські рішення на основі об'єктивних даних.

1.2. Огляд існуючих розробок

Для ефективної експлуатації автопарку підприємства необхідно забезпечити безперервний контроль технічного стану транспортних засобів, планування

маршрутів, оптимальний розподіл навантаження між водіями та своєчасне технічне обслуговування. Одним з основних напрямів автоматизації цих процесів є впровадження вебсистем підтримки прийняття рішень (вебСППР), які на основі даних про автомобілі, маршрути та водіїв здатні формувати рекомендації для оператора, сповіщати про потенційні проблеми та оптимізувати розклад руху транспорту [6].

Такі системи дозволяють централізовано зберігати інформацію про автопарк, контролювати технічний стан кожного транспортного засобу та організувати взаємодію між оператором і водієм. У рамках даного дослідження вебСППР визначається як вебсистема, що забезпечує автоматичний контроль навантаження персоналу, управління станом автомобілів і надання користувачам доступу до актуальних даних у режимі реального часу.

Однією з найпоширеніших платформ управління автопарком є Wialon, що використовується для моніторингу транспорту в реальному часі. Ця система дає змогу відстежувати місцезнаходження автомобілів, швидкість руху, витрати палива, пробіг і стан транспортного засобу. Також передбачено можливість створення сповіщень, панель якого зображено на рисунку 1.2, відображення статусу транспортних засобів і нагадувань про наближення технічного обслуговування та формування звітів для аналізу експлуатаційних показників.

Разом з тим, система Wialon має певні обмеження. Вона орієнтована насамперед на великі транспортні компанії, вимагає підключення зовнішнього обладнання та не реалізує механізму автоматичного контролю навантаження водіїв. Окрім того, відсутній вебкабінет для водія, що ускладнює доступ до інформації про заплановані рейси без використання мобільного застосунку.

Іншим прикладом сучасної вебплатформи є FleetMaster, що використовується для планування рейсів та управління технічним станом автомобілів. Система дозволяє створювати маршрути, призначати автомобілі та водіїв, вести журнал технічного обслуговування й відстежувати виконання рейсів у режимі реального часу, панель призначення рейсу зображено на рисунку 1.3.

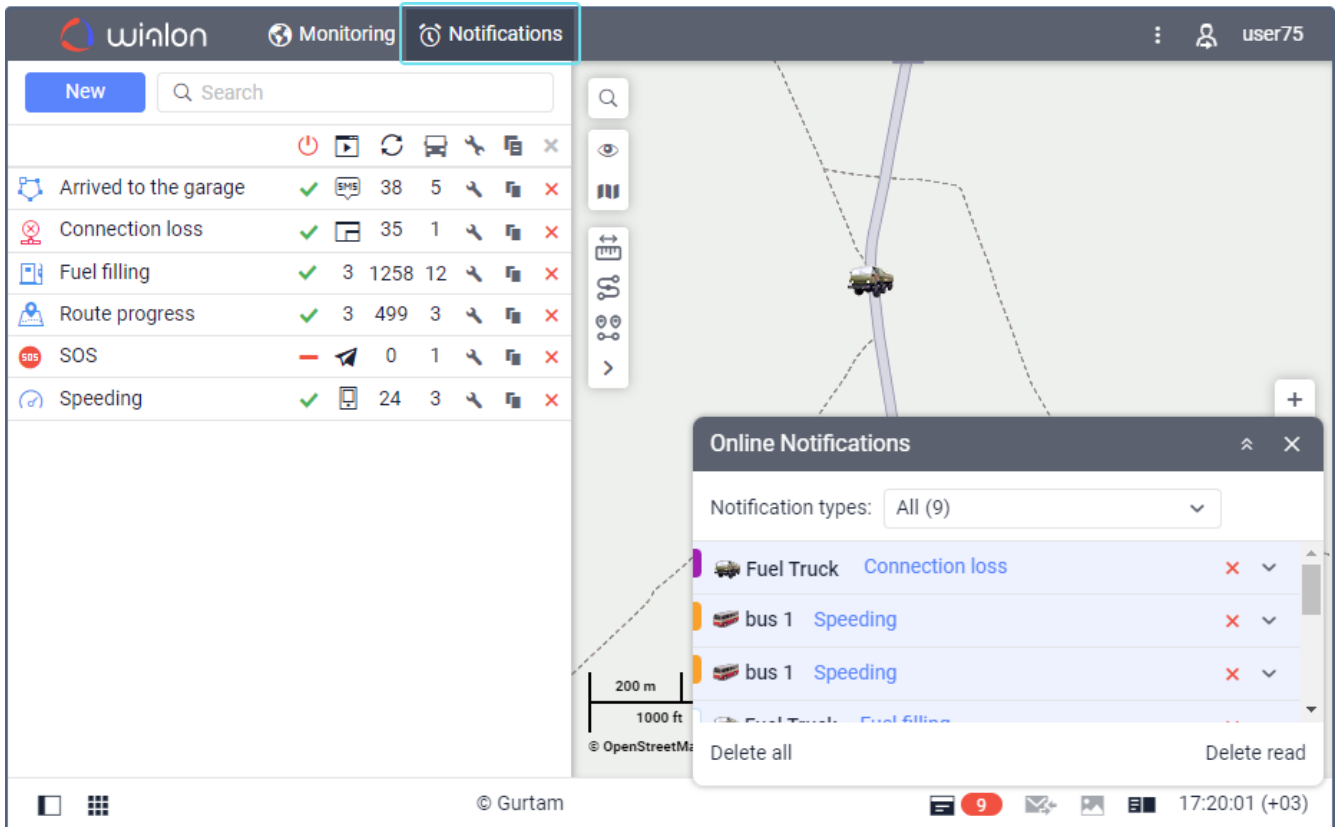


Рисунок 1.2 – Панель сповіщень у системі «Wialon»



Рисунок 1.3 – Форма призначення рейсу у системі «FleetMaster»

На відміну від Wialon, система FleetMaster більш зручна у використанні завдяки простішому вебінтерфейсу та можливості формувати сповіщення без додаткового обладнання. Проте вона має і певні недоліки. Контроль навантаження водіїв виконується вручну, що створює ризик призначення кількох рейсів одному працівнику в один день. Крім того, відсутній повноцінний вебкабінет для водіїв – інформація надсилається через електронну пошту або SMS, а система не запобігає конфліктним призначенням, наприклад, коли автомобіль перебуває на технічному обслуговуванні.

Аналіз існуючих рішень дає підстави стверджувати, що більшість сучасних систем управління автопарком орієнтовані на моніторинг транспорту та планування маршрутів, але не забезпечують комплексної підтримки прийняття рішень для оператора. У таких рішеннях відсутні механізми автоматичного контролю навантаження водіїв, рекомендації щодо розподілу транспортних засобів і функції, які б унеможливили конфліктні дії користувача.

Запропонована у даній роботі вебсистема підтримки прийняття рішень вирішує зазначені недоліки. Вона реалізує автоматичний контроль навантаження персоналу, що дозволяє системі попереджати оператора у разі перевищення кількості призначень для конкретного водія. Крім того, система містить вебкабінет водія, де користувач може переглядати свої призначені маршрути, інформацію про автомобіль і дати рейсів без потреби встановлення додаткових застосунків.

Важливою відмінністю розроблюваної системи є наявність інтелектуального блоку підтримки прийняття рішень, який аналізує стан автопарку та блокує конфліктні дії, наприклад, призначення автомобіля, що перебуває на технічному обслуговуванні, або перевантаженого водія. Таким чином, запропонована система поєднує переваги існуючих рішень (зручність вебінтерфейсу, автоматичні сповіщення) з новими можливостями аналітики, рекомендацій і превентивного контролю.

Розробка подібної вебсистеми спрямована на підвищення ефективності експлуатації автопарку, зниження ризику помилок під час планування рейсів і

оптимізацію взаємодії між оператором та водіями. Це дозволить покращити організацію транспортних процесів на підприємстві та забезпечить умови для більш раціонального використання наявного автопарку.

1.3 Методи оцінювання ефективності використання транспортних засобів

Для оцінювання ефективності використання транспортних засобів застосовуються аналітичні методи, що базуються на порівнянні фактичних показників експлуатації із плановими або нормативними значеннями. Такі методи дають змогу не лише контролювати технічний стан автопарку, але й аналізувати ефективність маршрутів, рівень завантаження персоналу та економічну доцільність експлуатації кожного автомобіля.

В основі більшості методів лежить принцип відношення фактично досягнутого результату до максимально можливого, що дозволяє кількісно визначати ступінь використання ресурсів. Саме ці показники можуть бути інтегровані до аналітичного модуля вебсистеми підтримки прийняття рішень [7].

Оцінювання ефективної діяльності відображає її результативність, є базою для аналізу роботи підприємства, свідчить про рівень його конкурентоспроможності та розкриває специфіку функціонування. Ефективність розглядається як загальна економічна категорія, властива всім суспільно-економічним формаціям, що показує співвідношення між отриманим результатом (ефектом) і сукупними витратами, понесеними на його досягнення [8].

Система показників ефективності дозволяє визначити рівень завантаження автомобілів, якість технічного обслуговування, ступінь використання пробігу, а також виявити резерви підвищення продуктивності роботи автопарку [8-9].

1. Коефіцієнт використання автомобіля за часом

$$K_t = \frac{T_p}{T_k}, \quad (1.1)$$

де K_t – коефіцієнт використання часу;

T_p – фактичний час роботи автомобіля, год;

T_k – календарний фонд часу, год.

Цей показник характеризує, наскільки повно автомобіль використовується протягом певного періоду (зміни, доби, місяця). Якщо автомобіль експлуатується 180 годин із 200 можливих, то $K_t = 180 / 200 = 0,9$, що свідчить про високий рівень використання ресурсу. У контексті вебсистеми цей коефіцієнт може розраховуватись автоматично на основі журналів рейсів або графіків роботи. Високе значення коефіцієнта вказує на ефективне планування транспортних завдань, низьке – на простої або нераціональний розподіл роботи.

2. Коефіцієнт технічної готовності

$$K_g = \frac{T_c}{(T_c + T_{pm})}, \quad (1.2)$$

де K_g – коефіцієнт технічної готовності;

T_c – час перебування автомобіля у справному стані, діб;

T_{pm} – час простою через ремонт або технічне обслуговування, діб.

Цей коефіцієнт показує, наскільки надійно експлуатується транспортний засіб. Наприклад, якщо автомобіль був у справному стані 27 днів і 3 дні простоював, то $K_g = 27 / (27 + 3) = 0,9$. У системі підтримки рішень цей показник може визначатись на основі записів про проведені ремонти, планові огляди та фактичний час експлуатації. Якщо коефіцієнт знижується нижче 0,8, це сигнал для технічної служби щодо потреби перегляду графіків ТО або якості обслуговування.

3. Коефіцієнт використання пробігу

$$K_p = \frac{L_{кор}}{L_{зар}}, \quad (1.3)$$

де K_p – коефіцієнт використання пробігу;

$L_{кор}$ – корисний пробіг (з вантажем або за маршрутом), км;

$L_{заг}$ – загальний пробіг, км.

Показник характеризує раціональність маршрутів і ступінь використання пробігу. Наприклад, якщо автомобіль за місяць проїхав 320 км, з яких 250 км – із вантажем, то $K_p = 250/320 = 0.78$. У вебсистемі цей показник може обчислюватись автоматично на основі GPS-даних або шляхових листів. Зменшення коефіцієнта свідчить про неефективне планування маршрутів або великі порожні пробіги, що потребує оптимізації логістики.

4. Коефіцієнт змінності роботи автопарку

$$K_{зм} = \frac{N_{зм}}{N_{авт}}, \quad (1.4)$$

де $K_{зм}$ – коефіцієнт змінності;

$N_{зм}$ – кількість автомобілів, що працювали хоча б одну зміну;

$N_{авт}$ – загальна кількість автомобілів у парку.

Цей показник характеризує інтенсивність використання транспортного парку протягом доби. Наприклад, якщо з 25 автомобілів у роботі були 18, то $K_{зм} = 18/25 = 0.72$. У вебсистемі дані можуть формуватися із календарів змін водіїв або звітів про виконані рейси. Коефіцієнт дозволяє оцінити завантаженість автопарку та визначити резерви для підвищення ефективності експлуатації.

5. Коефіцієнт використання вантажопідйомності

$$K_{вп} = \frac{Q_{ф}}{Q_{н}}, \quad (1.5)$$

де $K_{вп}$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

$Q_{ф}$ – фактична маса перевезеного вантажу, т;

$Q_{н}$ – номінальна вантажопідйомність автомобіля, т.

Показник характеризує ступінь використання вантажної здатності автомобіля. Якщо транспорт має номінальну вантажопідйомність 10 т, а середнє навантаження становить 8,2 т, то $K_{вп} = 8.2/10 = 0.82$. У системі підтримки рішень цей показник допомагає визначити нераціональне використання ресурсів, зокрема випадки недовантаження або перевантаження, що впливає на паливну ефективність та технічний стан автомобіля.

б. Комплексний коефіцієнт ефективності використання автопарку

$$K_{еф} = w_1 K_t + w_2 K_g + w_3 K_p + w_4 K_{вп} , \quad (1.6)$$

де $K_t, K_g, K_p, K_{вп}$ – відповідні коефіцієнти використання часу, технічної готовності, пробігу та вантажопідйомності;

w_1, w_2, w_3, w_4 – вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного показника та задовольняють умову $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$.

Вагові коефіцієнти можуть визначатися експертно або на основі статистичних даних підприємства. Наприклад, для збалансованої оцінки ефективності можна прийняти: $w_1 = 0.25, w_2 = 0.35, w_3 = 0.25, w_4 = 0.15$. У такому разі, при значеннях $K_t = 0.9, K_g = 0.88, K_p = 0.75, K_{вп} = 0.82$, отримаємо

$$K_{еф} = 0.25 \cdot 0.9 + 0.35 \cdot 0.88 + 0.25 \cdot 0.75 + 0.15 \cdot 0.82 = 0.84.$$

Отже, загальна ефективність використання автопарку становить 84 % від максимально можливої. Такий підхід дозволяє гнучко враховувати вплив окремих факторів та формувати об'єктивну інтегральну оцінку роботи транспортного підприємства.

Застосування цих коефіцієнтів у системі управління автопарком дозволяє проводити постійний моніторинг ефективності, виявляти проблемні зони та своєчасно приймати рішення щодо оптимізації маршрутів, технічного обслуговування і розподілу транспортних ресурсів.

Зазначено, що невід'ємною складовою системи оцінювання ефективності транспортного процесу перевезень є не лише визначення рівня його технологічності та економічності, але й оцінювання якості наданої транспортної послуги. Визначено критерії ефективності транспортної послуги як для споживача, так і для виконавця, при цьому перевага надається відносним показникам, які дозволяють порівнювати ефективність транспортування різних видів вантажів у різних умовах. Наведено порівняльні формули, що відображають диференціацію витрат і характеризують як ефективність, так і неефективність транспортної послуги.

Реалізація зазначених методів у вебсистемі дозволяє створити модуль автоматичного аналізу експлуатаційних даних, який забезпечує:

- відображення поточного рівня ефективності для кожного автомобіля у режимі реального часу;
- виявлення тенденцій зниження технічної готовності, перевантаження водіїв або порушення графіків роботи;
- надання рекомендацій оператору щодо перерозподілу ресурсів та планування технічного обслуговування.

Такі можливості перетворюють звичайну облікову систему на інтелектуальну платформу підтримки управлінських рішень, що дозволяє мінімізувати людський фактор, підвищити точність планування та ефективність експлуатації автопарку.

1.4 Методичні підходи до розв'язання задач управління автопарком підприємства

У процесі розробки було здійснено дослідження методичних підходів до оцінювання ефективності використання автотранспортних засобів. Метою дослідження є визначення оптимальних способів обчислення показників ефективно-

сті, встановлення порогових значень для їх інтерпретації, а також аналіз алгоритмічних та організаційних аспектів практичного застосування отриманих результатів.

Оцінювання ефективності експлуатації автопарку є багатофакторною задачею, яка поєднує технічні, організаційні та економічні складові. Для її розв'язання використовуються коефіцієнти, описані у підрозділі 1.3, а саме: коефіцієнт використання автомобіля за часом (K_t), коефіцієнт технічної готовності (K_g), коефіцієнт використання пробігу (K_p), коефіцієнт змінності роботи автопарку ($K_{зм}$), коефіцієнт використання вантажопідйомності ($K_{вп}$) та комплексний коефіцієнт ефективності ($K_{еф}$). У цьому підрозділі розглянуто методичні варіанти їхнього обчислення й трактування, проведено порівняльний аналіз альтернативних підходів і сформовано обґрунтовані рекомендації щодо вибору конкретних методик.

Насамперед досліджено способи обчислення основних коефіцієнтів. Першим із них є коефіцієнт використання автомобіля за часом K_t , який характеризує інтенсивність залучення транспортного засобу у перевізному процесі. Інтуїтивно цей показник відображає, яку частку доступного календарного часу автомобіль фактично працював. Для його розрахунку можуть бути застосовані принаймні два підходи, що відрізняються вибором періоду аналізу.

У межах першого підходу K_t визначається за фіксований календарний період, наприклад за місяць:

$$K_t = \frac{T_p}{T_k},$$

де T_p – фактичний час роботи автомобіля за календарний місяць, год;

T_k – календарний фонд часу за той самий місяць, год.

Приклад: якщо протягом 30 днів місяця автомобіль працював 580 годин, а календарний фонд становить 720 год (30×24), то:

$$K_t = \frac{580}{720} = 0.806.$$

Отримане значення свідчить про те, що автомобіль був задіяний понад 80 % доступного часу, що можна розглядати як нормальний рівень завантаження. Перевагою такого підходу є простота реалізації, відповідність звітним періодам підприємства та зручність порівняння показників між місяцями. Водночас недоліком є можливе спотворення на межі періодів (наприклад, коли тривалий рейс починається наприкінці одного місяця, а завершується на початку іншого) і відсутність урахування внутрішньомісячних коливань.

Альтернативний підхід базується на використанні ковзного часового вікна фіксованої тривалості. У цьому разі коефіцієнт визначається за останні 30 днів від поточної дати:

$$K_t = \frac{T_p(\text{last30days})}{(30 \cdot 24)}, \quad (1.7)$$

де $T_p(\text{last30days})$ – фактичний час роботи автомобіля за останні 30 днів.

Наприклад, станом на 15 листопада аналіз проводиться за період з 16 жовтня по 15 листопада. Якщо за цей час автомобіль працював 595 годин, то:

$$K_t = \frac{595}{720} = 0.826.$$

Такий підхід забезпечує більш актуальне відображення поточного стану завантаженості, згладжує сезонні коливання та дозволяє відстежувати тенденції без жорсткої прив'язки до календарних меж. Проте реалізація методу ковзного вікна є складнішою, оскільки потребує накопичення та опрацювання історичних даних, а також може бути менш інтуїтивно зрозумілою для користувача щодо конкретного періоду, за який сформовано показник.

Порівняльні характеристики двох методів обчислення K_t узагальнено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняння методів розрахунку коефіцієнта K_t

Критерії	Фіксований період	Ковзне вікно
Зручність реалізації	Висока	Середня
Відповідність звітності	Так	Ні
Актуальність даних	Середня	Висока
Згладжування коливань	Низьке	Високе
Зрозумілість для оператора	Висока	Середня

Проведений аналіз показав, що для цілей періодичної звітності та порівняння між місяцями доцільніше застосовувати метод фіксованого періоду, тоді як ковзне вікно може бути рекомендовано як розширена опція для оперативного моніторингу.

Наступним важливим показником є коефіцієнт технічної готовності K_g , який характеризує надійність і доступність транспортного засобу до експлуатації. Загальна ідея полягає в оцінюванні частки часу, протягом якої автомобіль перебуває у справному стані. Однак різні методики по-різному трактують поняття “простоїв”, що безпосередньо впливає на значення коефіцієнта.

У першому варіанті розрахунку до часу простою включаються лише аварійні ремонти:

$$K_g = \frac{T_c}{(T_{repair} + T_c)}, \quad (1.8)$$

де T_c – час перебування автомобіля у справному стані, діб;

T_{repair} – час простою через несправності та аварійні ремонти, діб.

Такий підхід дозволяє оцінити саме надійність технічного стану, не “штрафуючи” підприємство за планові технічні огляди, які, навпаки, сприяють підтриманню працездатності. Проте в цьому випадку отриманий коефіцієнт не дає повної картини фактичної доступності транспортного засобу для виконання рейсів.

У другому варіанті до простоїв включаються як непланові ремонти, так і планові технічні обслуговування:

$$K_g = \frac{T_c}{(T_{pm} + T_c)},$$

де T_{pm} – сумарний час простою через будь-які види технічного обслуговування та ремонтів.

Наприклад, якщо автомобіль був справним 25 днів, 2 дні перебував на плановому ТО та 3 дні – у ремонті, то:

$$K_g = \frac{25}{(2+3+25)} = \frac{25}{30} = 0.833.$$

У цьому випадку коефіцієнт відображає реальний рівень доступності автомобіля для експлуатації. З точки зору управління автопарком саме ця інформація є критично важливою, оскільки навіть планові простої зменшують можливість виконання перевезень і повинні бути враховані під час планування.

Узагальнено переваги та недоліки підходів до розрахунку K_g наведено нижче: метод, що враховує лише аварійні ремонти, більш коректно відображає надійність, але недооцінює вплив планових обслуговувань на доступність; метод, що включає всі простої, простіший в обліку, відповідає класичним рекомендаціям галузевих стандартів і дає реалістичнішу картину експлуатаційної готовності. Враховуючи орієнтацію на підтримку управлінських рішень, у подальшому доцільно використовувати саме другий підхід.

Коефіцієнт використання пробігу K_p використовується для оцінювання раціональності маршрутів та ступеня завантаження транспортного засобу корисною роботою. Ключовим моментом є визначення того, який пробіг вважати “корисним”.

У класичній інтерпретації коефіцієнт визначається як відношення пробігу з вантажем до загального пробігу:

$$K_p = \frac{L_{\text{кор}}}{L_{\text{заг}}}, \quad (1.9)$$

де $L_{\text{кор}}$ – пробіг автомобіля з вантажем, км;

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

Такий підхід є нормативно закріпленим, легко реалізується на основі шляхових листів або GPS-даних і надає однозначну інтерпретацію: чим ближче значення K_p до 1, тим менша частка порожнього пробігу.

У розширеному підході до корисного пробігу додають так званий “функціонально необхідний” порожній пробіг – наприклад, доїзд до місця завантаження або повернення на базу оптимальним маршрутом. У цьому разі формула набуває вигляду:

$$K_p = \frac{(L_{\text{кор}} + L_{\text{usefulempty}})}{L_{\text{заг}}}, \quad (1.10)$$

де $L_{\text{usefulempty}}$ – порожній пробіг, який є об’єктивно необхідним у процесі виконання перевезення.

Такий підхід забезпечує більш “справедливу” оцінку для випадків, коли порожні пробіги зумовлені технологією перевезень, однак він потребує детального аналізу маршрутів і складніший в автоматизації.

Порівняння показало, що для базового рівня аналізу доцільно використовувати класичне визначення K_p , яке є зрозумілим, методично обґрунтованим і узгодженим із чинними логістичними підходами. Цей розширений варіант може застосовуватись у поглиблених дослідженнях, коли є можливість детально відокремити “корисні” порожні пробіги від суто непродуктивних.

Для узагальнення вибору методів розрахунку основних коефіцієнтів можна навести таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Узагальнення обраних методів обчислення коефіцієнтів

Коефіцієнт	Обраний підхід	Основне обґрунтування
K_t	Фіксований календарний період	Відповідність звітності, простота порівняння
K_g	Облік усіх простоїв	Реальна доступність, відповідність методиці
K_p	Пробіг з вантажем (класичний підхід)	Нормативне трактування, чіткість інтерпретації

Після визначення способів обчислення окремих коефіцієнтів важливим етапом є формування інтегрального показника ефективності ($K_{еф}$), який узагальнює інформацію про технічний стан, рівень використання транспорту, раціональність маршрутів та ефективність експлуатації автопарку в цілому. Комплексний коефіцієнт повинен не лише об'єднувати часткові показники, а й робити це таким чином, щоб кінцевий результат адекватно відображав реальний стан системи. Тобто, якщо всі коефіцієнти мають високі значення, інтегральна оцінка також повинна бути високою, і навпаки – низькі параметри мають суттєво знижувати загальний результат. Від вибору математичної моделі для об'єднання залежить стабільність і коректність аналітичних висновків.

Найпростішим і водночас інтерпретаційно зрозумілим способом є обчислення середнього арифметичного значення часткових коефіцієнтів:

$$K_{еф} = \frac{(K_t + K_g + K_p + K_{вп})}{4}. \quad (1.11)$$

Така формула передбачає рівну вагомість усіх показників і забезпечує пропорційну реакцію інтегрального значення на зміни кожного параметра. Вона проста у реалізації, стабільна й дозволяє уникнути ефекту заниження результатів, який виникав у мультиплікативних моделях. Наприклад, при $K_t = 0.8$; $K_g = 0.9$; $K_p = 0.85$; $K_{вп} = 0.75$ отримаємо

$$K_{\text{еф}} = \frac{(0.8+0.9+0.85+0.75)}{4} = 0.825.$$

Отримане значення відображає середній рівень ефективності автопарку, при якому усі показники працюють узгоджено, хоча окремі з них можуть мати потенціал для покращення. Основною перевагою моделі є простота реалізації, проте її недоліком є припущення про рівну важливість усіх параметрів.

Для більш точного відображення специфіки діяльності підприємства застосовується зважена адитивна модель (1.6), яка враховує відносну важливість кожного коефіцієнта, за умови $w_1 + w_2 + w_3 + w_4 = 1$.

У цій формулі вагові коефіцієнти w визначають вплив кожного показника. Для транспортних підприємств орієнтовно приймають: $w_1 = 0.25$ (коефіцієнт використання часу), $w_2 = 0.3$ (коефіцієнт технічної готовності), $w_3 = 0.25$ (коефіцієнт використання пробігу), $w_4 = 0.2$ (коефіцієнт використання вантажопідйомності). Підвищена вага технічної готовності відображає її визначальну роль у забезпеченні надійності й безпеки роботи автопарку.

При використанні наведених коефіцієнтів і тих самих вихідних даних отримаємо

$$K_{\text{еф}} = 0.25 \cdot 0.8 + 0.3 \cdot 0.9 + 0.25 \cdot 0.85 + 0.2 \cdot 0.75 = 0.8375.$$

Результат є близьким до середнього арифметичного, проте трохи вищим за рахунок більшої ваги технічної готовності. Це дозволяє точніше відобразити пріоритети підприємства і створює гнучку систему оцінювання, яка може бути адаптована під різні умови експлуатації. Порівняння моделей наведено у таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 – Порівняння моделей системи

Критерій	Середньоарифметична модель	Зважена модель
Простота реалізації	Дуже висока	Висока
Гнучкість налаштування	Відсутня	Висока
Відповідність реальним умовам	Задовільна	Висока
Стабільність результатів	Висока	Висока
Рекомендоване використання	Базовий аналіз	Стратегічне планування

На підставі проведеного дослідження як основний метод розрахунку інтегрального показника ефективності обрано зважену модель. Вона поєднує простоту реалізації, точність та можливість адаптації до різних умов експлуатації. У випадках, коли вагові коефіцієнти не визначені, використовується середня формула як окремий випадок, при якому всі $w_i = 0.25$, $\forall i = \overline{1; 4}$.

На основі проведеного аналізу для кожного з коефіцієнтів (K_t , K_g , K_p , $K_{зм}$, $K_{вп}$, $K_{еф}$) сформовано чотирирівневу шкалу: високий рівень, нормальний рівень, низький рівень та критичний стан. Узагальнена шкала подана в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Шкала оцінювання ефективності використання автопарку

Коефіцієнт	Високий рівень	Нормальний рівень	Низький рівень	Критичний стан
K_t	$\geq 0,85$	0,70–0,84	0,50–0,69	$< 0,50$
K_g	$\geq 0,90$	0,75–0,89	0,60–0,74	$< 0,60$
K_p	$\geq 0,80$	0,65–0,79	0,50–0,64	$< 0,50$
$K_{зм}$	$\geq 0,85$	0,70–0,84	0,55–0,69	$< 0,55$
$K_{вп}$	$\geq 0,85$	0,70–0,84	0,55–0,69	$< 0,55$
$K_{еф}$	$\geq 0,70$	0,50–0,69	0,30–0,49	$< 0,30$

Узагальнюючи результати проведеного дослідження, слід відзначити, що запропоновані методичні підходи забезпечують комплексне оцінювання ефективності експлуатації автопарку на основі системи часткових і інтегральних коефіцієнтів. Використання адитивної або зваженої моделі для розрахунку інтегрального показника дозволяє уникнути спотворення результатів, властивих мультиплікативним схемам, та забезпечує стабільність оцінювання навіть при незначних коливаннях окремих параметрів.

Розроблена методика є універсальною: вона може бути адаптована під різні типи транспортних підприємств, системи моніторингу та інформаційні середовища. Застосування гнучких вагових коефіцієнтів дає змогу налаштувати оцінку відповідно до стратегічних пріоритетів підприємства – підвищення технічної готовності, зниження простоїв або покращення використання пробігу.

Отримані результати створюють основу для подальшої розробки алгоритмів у програмній частині системи підтримки прийняття рішень. Вони дозволяють автоматизувати процес аналізу, виявляти слабкі місця в роботі автопарку та формувати рекомендації щодо підвищення ефективності використання транспортних засобів [10-13].

1.5 Постановка задачі

Нехай

$T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$ – множина транспортних засобів автопарку, де n – кількість транспортних засобів;

$K = \{k_1, k_2, \dots, k_m\}$ – множина параметрів ефективності експлуатації транспортних засобів, де m – кількість показників, наприклад, використання часу, технічна готовність, пробіг, вантажопідйомність;

$R = \{r_1, r_2, \dots, r_l\}$ – множина фактичних даних експлуатації транспортних засобів, де l – кількість спостережень або вимірювань.

Кожен транспортний засіб t_i можна представити у вигляді вектора характеристик

$$t_i = \{k_{i1}, k_{i2}, \dots, k_{im}\}, \quad (1.12)$$

де r_{ij} – значення j -го показника ефективності для транспортного засобу t_i .

Нехай задано функцію

$$f: T \times K \times R \rightarrow E, \quad (1.13)$$

де f – функція, яка відображає ефективність використання транспортного засобу $t \in T$ за певним показником $k \in K$ на основі фактичних даних R ;

E – впорядкована множина числових значень (наприклад, від 0 до 1), що дозволяє оцінити рівень ефективності.

Тоді для кожного транспортного засобу $t \in T$ необхідно визначити оптимальний рівень використання ресурсів, який забезпечує максимальну ефективність експлуатації

$$t^* = \underset{t \in T}{\operatorname{arg\,max}} f(T, k, r), \quad (1.14)$$

де $f(T, k, r)$ – комплексна оцінка ефективності транспортного засобу t з урахуванням вибраного показника k та фактичних даних r .

Для інтегральної оцінки ефективності автопарку можна використати таку згортку

$$K_{\text{еф}} = \sum_{j=1}^m w_j \cdot k_j, \quad (1.15)$$

$$\sum_{j=1}^m w_j = 1; \quad 0 \leq w_j \leq 1,$$

де w_j – вагові коефіцієнти, що відображають відносну важливість кожного показника ефективності.

Таким чином, задача оцінювання ефективності використання транспортного парку зводиться до визначення таких показників t^* , які дозволяють максимізувати інтегральну ефективність K_{ef} кожного транспортного засобу та автопарку в цілому.

2 ДОСЛІДЖЕННЯ ІСНУЮЧИХ ПІДХОДІВ, МЕТОДІВ, ЗАСОБІВ, ТЕХНОЛОГІЙ, ІНСТРУМЕНТАРІЮ ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ПОДІБНИХ ЗАДАЧ

2.1 Аналіз існуючих підходів, методів і засобів підтримки прийняття рішень у сфері управління автопарками

Прийняття рішень, щодо призначення транспортних засобів є однією з найбільш відповідальних операцій автотранспортного підприємства, оскільки саме правильний вибір автомобіля визначає подальшу ефективність виконання рейсу, рівень витрат та безпеку транспортного процесу. У сучасних умовах підвищеної конкуренції транспортних компаній і зростання вимог до точності планування, підприємства вимушені переходити до систематичного аналізу даних, що формуються в процесі експлуатації автопарку. Це, у свою чергу, підвищує актуальність використання систем підтримки рішень, які дозволяють мінімізувати людський фактор і підвищити точність та оперативність прийнятих рішень [14].

Однією з ключових особливостей задачі призначення автомобіля є її багатокритеріальний характер. На вибір транспортного засобу одночасно впливають декілька параметрів, причому вони мають різну природу – технічну, експлуатаційну, тимчасову, логістичну та організаційну. Наприклад, технічна готовність визначає можливість використання автомобіля, тоді як коефіцієнт використання пробігу або коефіцієнт використання вантажопідйомності впливають на економічну ефективність виконання конкретного замовлення [15]. У реальних умовах експлуатації важливо не лише проаналізувати кожен критерій окремо, але й визначити їх відносну вагомість та взаємозв'язки.

Незважаючи на те, що багато сучасних інформаційних систем містять інструменти моніторингу технічного стану, журналів ТО, графіків водіїв і пробігу, більшість з них не пропонують формалізованих алгоритмів вибору транспортного засобу [16]. У таких системах оператору доводиться самостійно порівнювати доступні транспортні засоби, орієнтуючись на власний досвід або загальні

інструкції. Це створює ризики нераціонального використання автопарку, особливо у випадках, коли кількість транспортних засобів велика, а рівень завантаження нерівномірно розподілений.

Додатковою складністю є те, що більшість підприємств стикаються з проблемою відсутності єдиної системи критеріїв для вибору автомобіля. В залежності від типів перевезень (міжміські, міжнародні, внутрішньоміські, спеціалізовані тощо), сезонності, стану доріг і вимог клієнтів, одні параметри можуть ставати більш важливими, ніж інші. Наприклад, у перевезеннях сипучих матеріалів ключову роль відіграє вантажопідйомність, тоді як у пасажирських перевезеннях важливішими є безпека та технічна готовність. Тому задачу підтримки рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку можна представити як багатокритеріальну задачу вигляду (1.15).

Класичні моделі багатокритеріального аналізу, зокрема методи зважених коефіцієнтів, передбачають наявність фіксованих ваг для кожного критерію. Проте на практиці їх визначення є складним і часто суб'єктивним процесом. Розмитість експертних оцінок, різні точки зору керівників, відсутність історичних даних – усе це ускладнює побудову коректної моделі. Крім того, методи зваженого сумування мають серйозний недолік: критично низьке значення одного показника може бути «компенсоване» високими значеннями інших. Це суперечить реальним потребам транспортного процесу, оскільки неможливо компенсувати недостатню вантажопідйомність або технічну несправність високими показниками пробігу чи рівнем завантаження.

У задачі призначення автомобіля важливо враховувати не лише абсолютні значення показників, але й обмеження, які можуть повністю виключити транспортний засіб зі списку можливих альтернатив. До таких обмежень належать: наявність планового або аварійного ремонту, відсутність водія, недостатня вантажопідйомність, недоступність автомобіля у потрібний час, перевищення допустимого рівня завантаження за попередній період тощо. Саме тому важливо мати механізм попереднього фільтрування, який виключає недопустимі варіанти ще до початку процесу багатокритеріального вибору [17-20].

У таких умовах виникає потреба у методах, що дозволяють здійснювати впорядкований вибір транспортного засобу з урахуванням природної ієрархії критеріїв. Одним з ефективних підходів є лексикографічний метод, який дозволяє порівнювати альтернативи послідовно – спочатку за найважливішим критерієм, потім за наступним і так далі. Цей метод повторює логіку природного вибору, яку використовують оператори автопарків, але формалізує її в чітку математичну структуру.

Перевага лексикографічного підходу полягає в тому, що він не потребує точного визначення вагових коефіцієнтів, але водночас дозволяє врахувати різну важливість показників. Якщо два транспортні засоби мають однакове значення за ключовим критерієм, порівняння переходить до наступного, що повністю відповідає природній логіці прийняття рішень [21-25]. Така система дозволяє уникнути ситуацій, коли інтегральне значення вводить в оману або не відображає реального стану транспортного засобу.

Крім того, лексикографічний метод дозволяє адаптувати систему до різних типів підприємств. Наприклад, у вантажних перевезеннях першим критерієм може бути вантажопідйомність, у пасажирських – технічна готовність, у міських доставках – показники маневреності та витрати палива. Така гнучкість робить метод придатним для широкого спектру транспортних задач.

Важливою перевагою лексикографічної моделі є її простота інтеграції в інформаційні системи. Оскільки порівняння виконується послідовно, обчислювальна складність алгоритму є низькою, що дозволяє виконувати вибір у реальному часі навіть при великому обсязі даних. Це робить метод особливо корисним для вебсистем, де швидкість формування рекомендацій має критичне значення.

Таким чином, аналіз існуючих підходів показує, що традиційні методи оцінювання ефективності та оптимізації не повністю відповідають специфіці задачі призначення транспортного засобу. Натомість лексикографічний підхід дозволяє формалізувати процес вибору, уникаючи суб'єктивності, забезпечує прозорість прийняття рішень й адаптується до реальних потреб автотransпортних підприємств.

У наступному підрозділі буде розглянуто формальне визначення лексикографічного методу, структуру впорядкування критеріїв та його застосування для визначення найкращого транспортного засобу серед доступних альтернатив.

2.2 Лексикографічний метод вибору транспортного засобу

У моделі оцінювання ефективності транспортних засобів (1.15) вагові коефіцієнти w_j визначають відносну важливість кожного експлуатаційного показника. Порівняння ваг між собою дозволяє сформувати стійку ієрархію критеріїв, яка відображає пріоритети підприємства. Таке впорядкування відіграє ключову роль у процесі вибору транспортного засобу, оскільки задає чітку послідовність аналізу – від найважливіших характеристик до другорядних. Цей підхід дає можливість адаптувати порядок оцінювання до специфіки перевезень, політики оновлення автопарку або стратегічних завдань логістичної системи.

Якщо ваги впорядковано за спаданням

$$w_1 > w_2 > \dots > w_m, \quad (2.1)$$

то і відповідні критерії встановлюють аналогічний порядок важливості

$$k_1 > k_2 > \dots > k_m. \quad (2.2)$$

Це впорядкування задає структуру прийняття рішень. Першим аналізується критерій k_1 , оскільки він є найбільш значущим. Такий алгоритм дозволяє уникати неоднозначності під час порівняння транспортних засобів. А у випадку, коли значення одного з критеріїв є однаковим для декількох варіантів, процедура природно переходить до наступного – менш важливого, але все ще суттєвого показника. Таким чином формується послідовне, логічно обґрунтоване порівняння альтернатив.

Нехай U та V – два транспортні засоби, що порівнюються, $U \in T, V \in T$. Лексикографічне правило встановлює, що U краще за V , якщо виконується одна з умов

$$k_1(u) > k_1(v) \text{ або}$$

$$\left((k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge k_2(u) > k_2(v) \right) \text{ або}$$

$$\left((k_1(u) \approx k_1(v)) \wedge (k_2(u) \approx k_2(v)) \wedge (k_3(u) > k_3(v)) \right) \text{ і т.д.}$$

$$\exists t \in J_{n-1}, \text{ таке, що } (k_j(u) \approx k_j(v), j \in J_s) \wedge (k_{s+1}(u) > k_{s+1}(v)).$$

Представлене правило демонструє покроковий характер порівняння: перевага визначається на найбільш важливому етапі, а за необхідності – уточнюється наступними критеріями. Це відповідає реальній практиці експлуатації автопарку, коли важливі рішення приймаються спершу на основі ключових параметрів.

Реалізація методу відбувається у декілька етапів. Нехай T – множина усіх доступних транспортних засобів. Перший етап відбору передбачає визначення варіантів, які мають найбільше значення найважливішого критерію:

$$T_1^0 = \arg \max_{t \in T} k_1(t). \quad (2.3)$$

Цей етап дозволяє миттєво усунути варіанти, що програють за найвагомійшим показником. Якщо після цього кроку залишається лише одна альтернатива, процес прийняття рішення завершується. У ситуаціях, коли кілька транспортних засобів мають однакове значення k_1 , проводиться другий етап.

Другий етап уточнює вибір

$$T_2^0 = \arg \max_{t \in T_1^0} k_2(t). \quad (2.4)$$

На цьому етапі порівняння зосереджується на другому за важливістю критерії, що дозволяє визначити перевагу серед варіантів, які пройшли попередній

відбір. Якщо й тут залишається декілька альтернатив, процедура переходить до наступного етапу, поступово звужуючи множину можливих варіантів.

У загальному вигляді l -й крок лексикографічного алгоритму має вигляд

$$T_l^0 = \arg \max_{t \in T_{l-1}^0} k_l(t), \quad l = 1, 2, \dots, n. \quad (2.5)$$

Ця формула показує рекурсивну структуру процесу: кожний наступний критерій застосовується лише до тих альтернатив, що залишилися після аналізу попередніх. Таким чином, метод гарантує логічну послідовність відбору, відповідну загальній важливості критеріїв.

У випадках, коли підприємство допускає певне відхилення значення критерію від максимуму (наприклад, через практичні обмеження або політику використання ресурсу), застосовується метод поступки

$$T_{l+1}^0 = \arg \max_{t \in T} k_{l+1}(t), \quad l = 1, 2, \dots, n - 1, \quad (2.6)$$

за умови $k_l(t) > k_l(t_l^0) - \Delta k_l(t)$.

Цей підхід дозволяє гнучко враховувати практичні відхилення без втрати цілісності лексикографічного підходу. Він особливо корисний у ситуаціях, коли різниця між альтернативами мінімальна або коли обмеження підприємства не дозволяють вибрати абсолютного лідера за всіма критеріями.

У підсумку лексикографічний метод забезпечує чітке, структуроване та послідовне порівняння транспортних засобів на основі вагових критеріїв. Такий підхід поєднує математичну строгість та практичну логіку прийняття рішень, гарантуючи узгоджене врахування важливості кожного показника.

Додатковою перевагою лексикографічного підходу є його передбачуваність та прозорість для користувачів системи управління автопарком. Оскільки рішення формується послідовно відповідно до чітко визначеної структури важ-

ливості критеріїв, процес вибору може бути легко пояснений менеджерам, планувальникам та операторам. Це особливо важливо у ситуаціях, коли підприємство прагне підвищити обґрунтованість прийняття рішень або впроваджує стандартизовані процедури оцінювання транспортних засобів.

Крім того, лексикографічний метод добре поєднується з іншими інструментами оптимізації та аналітики. Його можна використовувати як автономний алгоритм або як один із елементів більш складної системи підтримки рішень. Наприклад, у поєднанні з прогнозними моделями технічного стану, графіками завантаження чи маршрутними оптимізаторами, лексикографічне впорядкування дозволяє звужити коло допустимих варіантів перед проведенням розширеного аналізу.

З практичної точки зору метод також є ефективним щодо обчислювальних витрат. Оскільки кожен наступний критерій розглядається лише для підмножини варіантів, що залишилися після попереднього етапу, обсяг обробки даних зменшується на кожному кроці. Це робить метод придатним для інтеграції у виборієнтовані системи, де важливо забезпечити швидкість реакції навіть при значному обсязі транспортних засобів.

Отже, застосування лексикографічного методу у виборі транспортного засобу дозволяє поєднати прозорість, адаптивність та обчислювальну ефективність. Він є узгодженим із підходом, що базується на вагових коефіцієнтах, та доповнює його можливістю формувати чітку структуру прийняття рішень.

2.3 Розробка структури алгоритму

Спираючись на результати аналізу критеріїв ефективності та принципи лексикографічного методу, на цьому етапі формується структурована схема алгоритму вибору транспортного засобу. Така схема описує взаємозв'язок окремих етапів та демонструє логіку переходів між ними під час прийняття рішення.

Першим етапом роботи алгоритму є введення даних замовлення. Це може включати пункт призначення, необхідний обсяг перевезення, часові обмеження

та інші характеристики, що визначають вимоги до транспортного засобу. Такі дані виступають початковим набором інформації, на основі якого формується множина потенційних кандидатів.

Наступним кроком є отримання множини транспортних засобів, які можуть бути розглянуті для виконання замовлення. На цьому етапі відсіюються ті транспортні засоби, що не відповідають базовим умовам (недостатня вантажопідйомність, недоступність, невідповідність вимогам замовлення тощо). Таким чином формується множина T – всі потенційно доступні варіанти.

Після формування множини T виконується розрахунок показників ефективності кожного транспортного засобу. До таких показників входять часткові коефіцієнти, описані у попередніх підрозділах розділу 2, що характеризують рівень використання транспортного засобу за певними аспектами. Результатом цього етапу є набір значень $k(t)$ для кожного транспортного засобу $t \in T$, що забезпечує основу для подальшого багатокритеріального порівняння.

Далі виконується визначення порядку критеріїв відповідно до їх важливості. На основі вагових коефіцієнтів, сформованих у попередніх етапах дослідження, визначається послідовність критеріїв $k_1 > k_2 > \dots > k_m$, де k_1 є найважливішим. Такий підхід забезпечує пріоритетність критеріїв у процесі вибору та відповідає принципам лексикографічної оптимізації.

Після цього алгоритм переходить до основної частини – послідовного звуження множини кандидатів за критеріями. На початку встановлюється $l = 1$, що відповідає першому критерію. На кожному етапі визначається підмножина T_l^0 – множина транспортних засобів, що мають найкраще значення критерію $k_l(t)$ серед елементів T_{l-1}^0 . Якщо ця підмножина складається лише з одного елемента, тоді транспортний засіб вважається оптимальним, і алгоритм завершує роботу.

Якщо підмножина T_l^0 містить декілька варіантів і при цьому $l \leq m$, тоді алгоритм переходить до наступного критерію, збільшуючи значення l . Такий

підхід гарантує, що порівняння виконується суворо відповідно до заданої важливості критеріїв, не допускаючи компенсації менш важливих показників більш важливими.

Якщо ж після обробки всіх критеріїв ($l = m$) підмножина T_l^0 містить більше одного елемента, алгоритм завершується вибором транспортного засобу серед рівноцінних альтернатив. Це може бути або автоматичний вибір за додатковим правилом, або передача рішення оператору.

На заключному етапі виконується формування фінального результату – оптимального або рекомендованого транспортного засобу. Структура алгоритму у графічному вигляді наведена на рисунку 2.1, що ілюструє взаємозв'язок етапів та логіку переходів між ними.

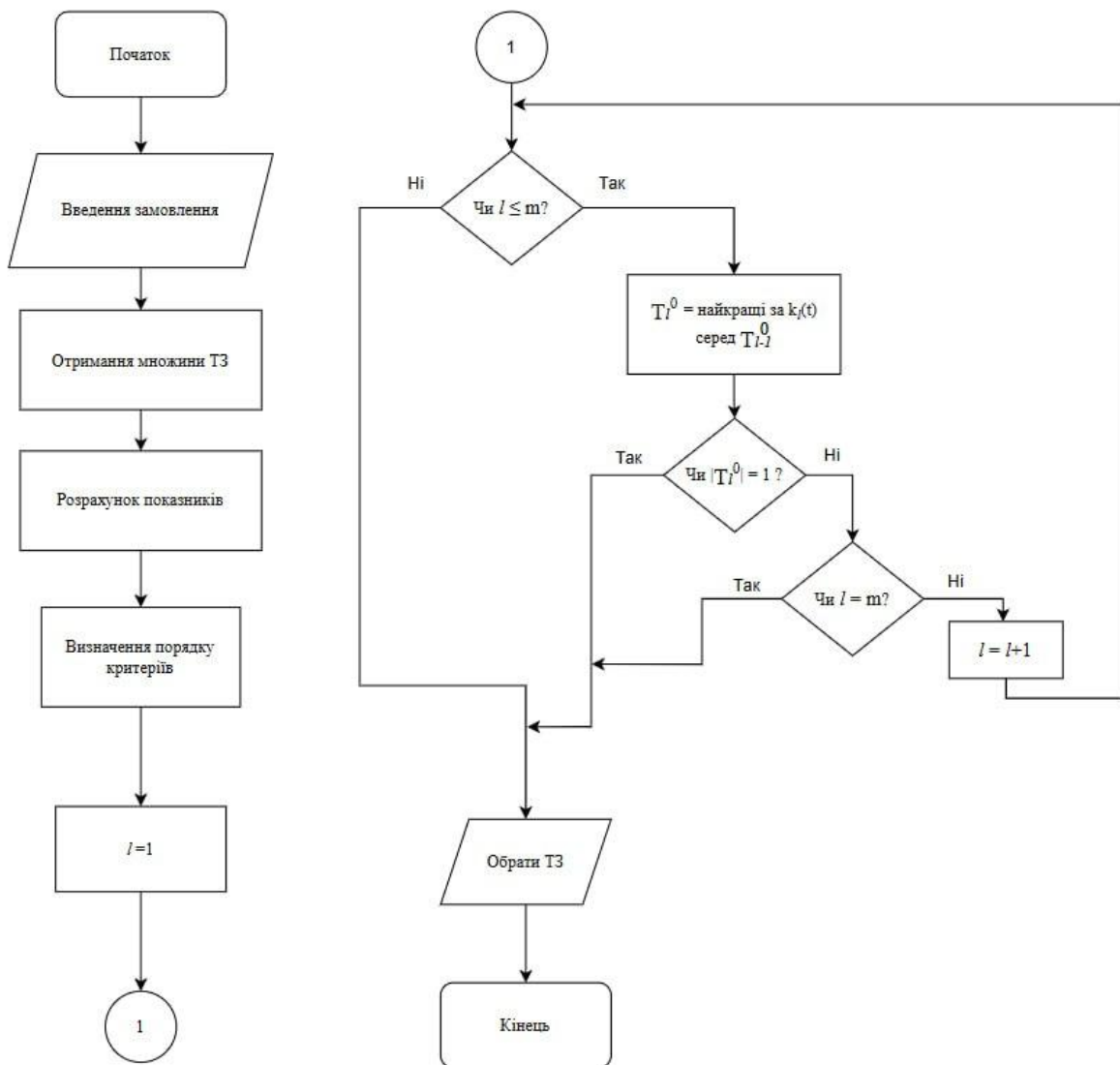


Рисунок 2.1 – Структура алгоритму

3 ПРОЄКТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА ВЕБСИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

3.1 Розробка бази даних системи

Одним із ключових етапів створення вебсистеми підтримки прийняття рішень (вебСППР) для управління автопарком є проєктування та реалізація бази даних. Саме база даних забезпечує централізоване зберігання інформації про транспортні засоби, водіїв, замовлення, рейси та технічне обслуговування і виступає основою для аналітичних модулів, описаних у попередніх розділах.

При розробці структури БД було дотримано принципів реляційного моделювання, нормалізації до третьої нормальної форми, а також вимог до цілісності даних та розширюваності системи. Як СУБД було обрано MySQL, що підтримує транзакційний механізм InnoDB, роботу з зовнішніми ключами та достатню продуктивність для веборієнтованих систем [26, 27].

На логічному рівні БД складається з групи сутностей, які відображають основні об'єкти предметної області, зображеної на рисунку 3.1:

- Roles – довідник ролей користувачів;
- Users – користувачі системи;
- DriversInfo – розширені атрибути для користувачів-водіїв;
- VehicleStatuses – довідник статусів транспортних засобів;
- Vehicles – транспортні засоби автопарку;
- Maintenances – записи про технічне обслуговування;
- OrderStatuses – довідник статусів замовлень;
- Orders – замовлення на перевезення;
- TripStatuses – довідник статусів рейсів;
- Trips – рейси, що виконуються автомобілями.

Таке розбиття дозволяє розділити довідкову інформацію (ролі, статуси) та оперативні дані (замовлення, рейси, обслуговування), що спрощує супровід і масштабування системи.

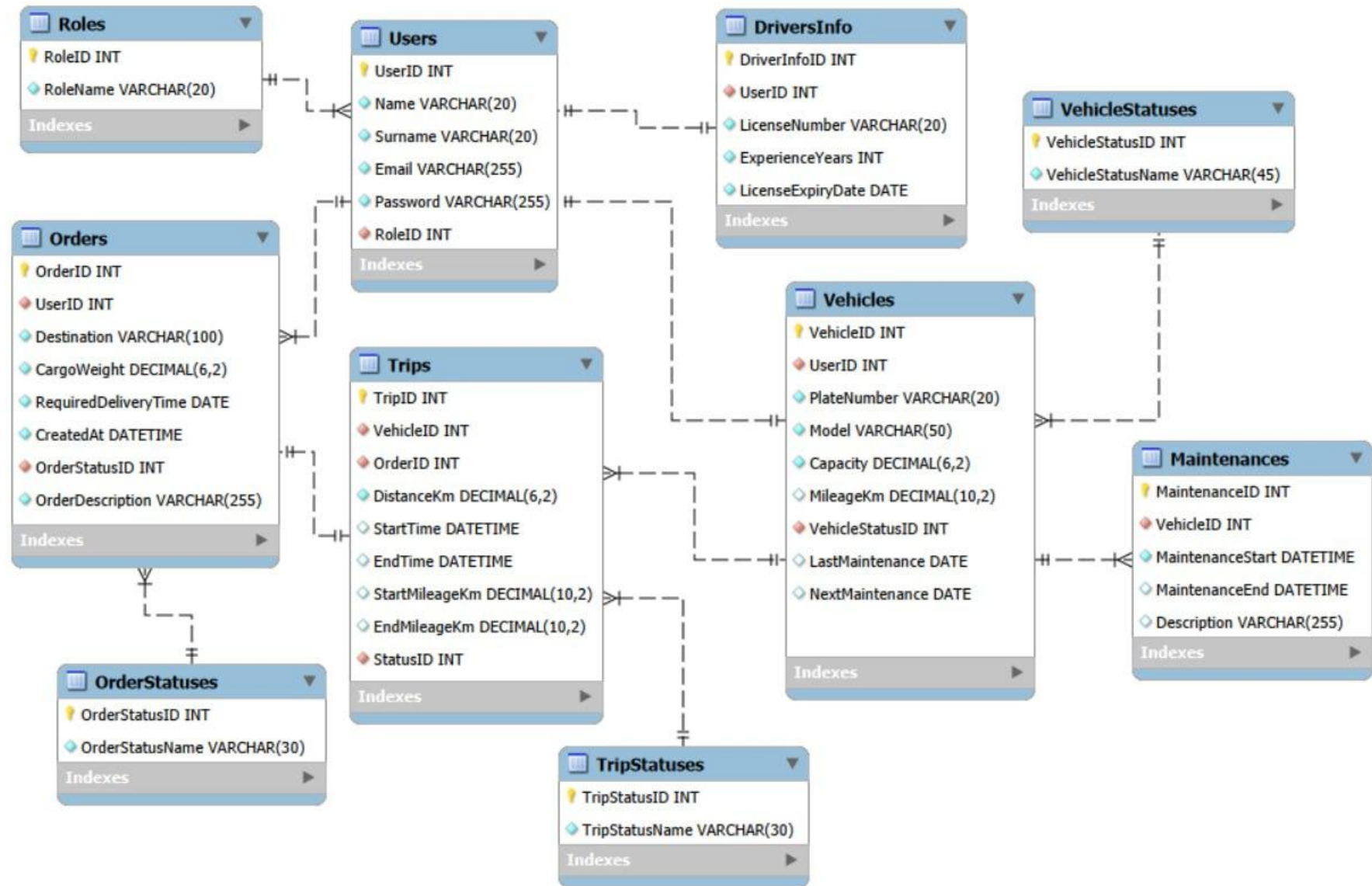


Рисунок 3.1 – Схема бази даних

3.1.1 Моделювання користувачів і ролей

Таблиця Roles(RoleID, RoleName) містить перелік ролей у системі (адміністратор, диспетчер, водій тощо). Винос ролей в окрему сутність дозволяє уникнути дублювання значень і забезпечує можливість розширення переліку без зміни структури основних таблиць.

Таблиця Users (UserID, Name, Surname, Email, Password, RoleID) зберігає облікові записи користувачів. Атрибут RoleID є зовнішнім ключем на таблицю Roles і реалізує механізм розмежування доступу: саме від цієї ролі залежить набір функцій вебінтерфейсу, доступних конкретному користувачеві. Обов'язковість полів Email та Password забезпечує можливість авторизації в системі; для Email доцільно задати унікальний індекс.

Оскільки частина користувачів виступає водіями, але не всі користувачі мають водійські дані, інформацію про водійське посвідчення винесено в окрему таблицю DriversInfo (DriverInfoID, UserID, LicenseNumber, ExperienceYears, LicenseExpiryDate).

Між Users та DriversInfo реалізовано зв'язок типу «один-до-одного» (або «один-до-нуля/одного»): для диспетчерів та адміністраторів запис у DriversInfo може бути відсутній. Такий підхід дозволяє не заповнювати зайві поля для користувачів, які не є водіями, і водночас зберігати повну інформацію про кваліфікацію водіїв і строк дії посвідчення.

3.1.2 Моделювання автопарку та технічного обслуговування

Стан та характеристики транспортних засобів описуються кількома взаємопов'язаними таблицями. Довідник VehicleStatuses (VehicleStatusID, VehicleStatusName) містить можливі стани автомобіля (наприклад, «доступний», «у рейсі», «на техобслуговуванні», «недоступний»).

Використання окремої таблиці забезпечує єдиний перелік статусів та можливість зміни/додавання нових, без переробки бізнес-логіки.

Таблиця Vehicles (VehicleID, UserID, PlateNumber, Model, Capacity, MileageKm, VehicleStatusID, LastMaintenance, NextMaintenance) є центральною для опису автопарку.

Основні атрибути:

- PlateNumber – державний номер, для якого задається унікальне обмеження;
- Capacity – вантажопідйомність (тип DECIMAL), що використовується під час перевірки сумісності транспортного засобу з вантажем;
- MileageKm – загальний пробіг (тип DECIMAL(10,2)), який є базою для розрахунку показників ефективності;
- UserID – посилання на користувача, відповідального за автомобіль (наприклад, закріпленого водія);
- VehicleStatusID – поточний статус автомобіля, зовнішній ключ на VehicleStatuses;
- LastMaintenance, NextMaintenance – дати останнього та запланованого техобслуговування, що використовуються рекомендаційним модулем.

Інформація про кожну окрему операцію технічного обслуговування зберігається в таблиці Maintenances (MaintenanceID, VehicleID, MaintenanceStart, MaintenanceEnd, Description). Тут для кожного автомобіля може бути зареєстровано довільну кількість записів, що утворює зв'язок «один-до-багатьох» з таблицею Vehicles.

Поля MaintenanceStart та MaintenanceEnd (тип DATETIME) дозволяють визначати тривалість простою та розраховувати коефіцієнт технічної готовності, а текстовий опис фіксує виконані роботи. Наявність окремої сутності для обслуговувань дає змогу формувати історію ремонтів і використовувати її для побудови прогнозів та попереджень.

3.1.3 Моделювання замовлень і рейсів

Замовлення клієнтів описуються таблицею Orders (OrderID, UserID, Destination, CargoWeight, RequiredDeliveryTime, CreatedAt, OrderStatusID, OrderDescription).

Основні атрибути:

- UserID – посилання на користувача, який створив замовлення (диспетчер або клієнт);
- Destination – пункт призначення;
- CargoWeight – маса вантажу;
- RequiredDeliveryTime – бажаний час доставки;
- CreatedAt – час створення замовлення;
- OrderStatusID – статус (нове, у роботі, виконане, скасоване тощо), зовнішній ключ на довідник OrderStatuses (OrderStatusID, OrderStatusName).

Реальний процес перевезення відображається у таблиці Trips (TripID, VehicleID, OrderID, DistanceKm, StartTime, EndTime, StartMileageKm, EndMileageKm, StatusID). Для кожного рейсу фіксуються:

- автомобіль (VehicleID) та замовлення (OrderID), що забезпечує простежуваність виконання;
- фактична дистанція (DistanceKm), час початку та завершення (StartTime, EndTime);
- показники спідометра до і після рейсу (StartMileageKm, EndMileageKm), за якими обчислюються пробіг і витрати ресурсу;
- статус рейсу (StatusID) – зовнішній ключ на таблицю TripStatuses (TripStatusID, TripStatusName).

Таким чином, формується історія всіх виконаних перевезень, яка є основою для розрахунку коефіцієнтів використання пробігу, часу роботи, змінності автопарку та інших показників, описаних у методичній частині.

3.1.4 Забезпечення цілісності та ефективності БД

Під час розробки фізичної моделі було передбачено низку механізмів забезпечення цілісності даних:

- для всіх зв'язків «батько-нащадок» визначено зовнішні ключі з обмеженнями ON DELETE RESTRICT або ON DELETE CASCADE залежно від бізнес-логіки (наприклад, неможливість видалення статусу, що використовується в інших таблицях);
- атрибути, які беруть участь у зв'язках (ідентифікатори, статуси, зовнішні ключі), проіндексовані, що прискорює виконання запитів під час формування аналітичних звітів;
- числові поля, що відображають масу, пробіг, витрату пального, оголошено в типі DECIMAL для уникнення похибок округлення;
- усі дати та часові відмітки задаються типом DATE або DATETIME, що дозволяє коректно виконувати фільтрацію за періодами й обчислювати тривалість рейсів та простоїв.

Структура БД орієнтована на підтримку подальшого розширення функціоналу. За потреби можуть бути додані додаткові характеристики транспортних засобів (тип пального, екологічний клас, витрата палива), модулі обліку витрат, інтеграція з GPS-сервісами тощо, без порушення існуючих зв'язків.

Отже, розроблена база даних забезпечує:

- повне відображення інформації про автопарк, персонал, замовлення, рейси та технічне обслуговування;
- можливість формування показників ефективності експлуатації і комплексних коефіцієнтів для кожного транспортного засобу та автопарку в цілому;
- підтримку алгоритмів лексикографічного вибору автомобіля для виконання замовлення, оскільки всі необхідні критерії (вантажопідйомність, технічний стан, завантаження водія, історія рейсів) зберігаються в структурованому вигляді.

3.1.5. Відповідність показників ефективності даним БД

Експлуатаційна ефективність автотранспортного підприємства визначається низкою кількісних показників, що дозволяють оцінювати ступінь використання транспортних засобів, їх технічний стан, інтенсивність роботи та якість логістичних рішень. Для забезпечення автоматизованих розрахунків цих показників база даних системи повинна зберігати повний набір вихідних величин, які безпосередньо входять до відповідних формул.

Розроблена структура бази даних забезпечує тісний взаємозв'язок між експлуатаційними даними та аналітичними модулями системи. Усі показники розраховуються виключно на основі фактичної інформації, яка накопичується під час роботи автопарку, а отже – є достовірними та не прив'язаними до суб'єктивних оцінок.

Далі наведено детальний опис відповідності між кожним показником та даними, які використовуються в аналітичних виразах.

1. Коефіцієнт використання вантажопідйомності ($K_{ВП}$).

$$K_{ВП} = \frac{Q_{\text{факт}}}{Q_{\text{ном}}}$$

Цей коефіцієнт демонструє, наскільки раціонально використовується вантажопідйомність транспортного засобу під час виконання конкретного рейсу або замовлення. Чим ближче його значення до 1, тим ефективніше працює автомобіль з точки зору завантаження. Необхідні дані для обчислення $K_{ВП}$ наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Дані для обчислення $K_{ВП}$

Показник	Таблиця	Поле
Номінальна вантажопідйомність $Q_{\text{ном}}$	Vehicles	Capacity
Фактичне завантаження $Q_{\text{факт}}$	Orders	CargoWeight

Отже, у системі достатньо мати одне замовлення та закріплений за ним автомобіль, щоб коефіцієнт був розрахований автоматично.

2. Коефіцієнт використання автомобіля за часом (K_t).

Коефіцієнт використання автомобіля за часом характеризує інтенсивність та регулярність роботи транспортного засобу протягом заданого періоду. Показник відображає, яку частку доступного календарного часу автомобіль фактично перебував у роботі, виконуючи рейси.

$$K_t = \frac{T_p}{T_k}$$

Цей коефіцієнт дозволяє оцінити рівень використання транспортного засобу в часі. Якщо значення K_t низьке, це означає, що автомобіль простоює значну частину періоду, що може свідчити про нерівномірне завантаження, неефективне планування або відсутність попиту. Він бере свої значення безпосередньо з таблиці Trips, наведеної в таблиці 3.2 оскільки там зберігаються часові мітки всіх рейсів.

Таблиця 3.2 – Дані для обчислення K_t

Показник	Таблиця	Поле
Фактичний час роботи автомобіля, год. T_p	Trips	StartTime EndTime
Календарний фонд часу, год. T_k	–	Календарний фонд часу за період, год

3. Коефіцієнт використання пробігу ($K_{впр}$).

Цей показник відображає відношення корисного пробігу (тобто пробігу з вантажем) до загального пробігу транспортного засобу за певний календарний період

$$K_{\text{впр}} = \frac{L_{\text{кор}}}{L_{\text{заг}}}$$

Значення коефіцієнта дозволяє визначити рівень порожнього пробігу – однієї з ключових причин зниження ефективності роботи автопарку. Необхідні дані для обчислення $K_{\text{впр}}$ наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Дані для обчислення $K_{\text{впр}}$

Величина	Таблиця	Поле
Корисний пробіг $L_{\text{кор}}$	Trips	DistanceKm
Загальний пробіг $L_{\text{заг}}$	Trips	StartMileageKm, EndMileageKm

Якщо показник $K_{\text{впр}}$ близький до 1, це означає, що порожні пробіги мінімальні, а логістичні маршрути організовані ефективно.

4. Коефіцієнт змінності роботи автопарку ($K_{\text{зм}}$).

Даний коефіцієнт показує, яка частина автопарку фактично задіяна у роботі протягом певного періоду

$$K_{\text{зм}} = \frac{N_{\text{зм}}}{N_{\text{авт}}}$$

Це один з основних показників рівня використання ресурсу автопарку. Якщо підприємство має багато автомобілів, але лише частина з них виходить на лінію, це свідчить про нерівномірне навантаження або нераціональне формування рейсів. Необхідні дані для обчислення $K_{\text{зм}}$ наведено в таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Дані для обчислення КЗМ

Параметр	Таблиця	Опис
Активні автомобілі $N_{авт}$	Trips	Автомобілі, що мали хоча б один рейс у період
Увесь автопарк $N_{ЗМ}$	Vehicles	Усі транспортні засоби

Отже, система може визначати завантаження як усього автопарку, так і окремих груп транспортних засобів.

5. Коефіцієнт технічної готовності (K_g).

Цей показник дозволяє оцінити технічну надійність автомобіля

$$K_g = \frac{T_c}{(T_c + T_{pm})}$$

Чим більше часу транспортний засіб проводить у справному стані, тим вище значення K_g . Показник має важливе економічне значення, оскільки простой автотранспорту напряму впливають на продуктивність і прибутковість. Необхідні дані для обчислення K_g наведено в таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Дані для обчислення K_g

Параметр	Таблиця	Опис
Дні справної роботи T_c	Trips	Дні, у які виконано хоча б один рейс
Дні простою T_{pm}	Maintenances	Дні, що входять до інтервалу [MaintenanceStart; MaintenanceEnd]

3.2 Розробка варіантів використання системи

На рисунку 3.2 представлено діаграму варіантів використання (Use Case Diagram), яка відображає функціональні можливості інформаційної системи керування замовленнями та взаємодію користувачів із системою. Діаграма розроблена відповідно до стандартів UML та ілюструє основні сценарії використання системи з точки зору кінцевих користувачів.

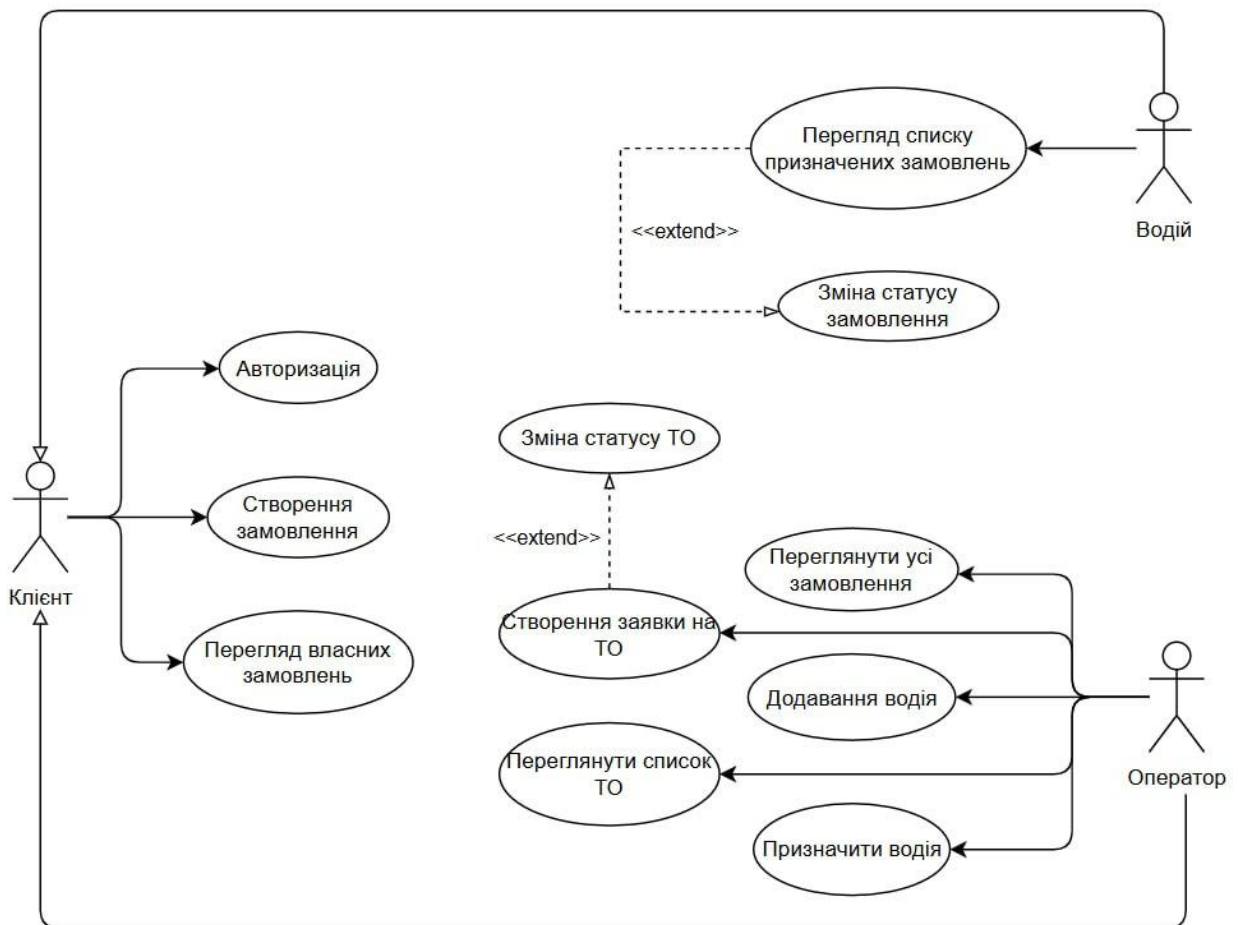


Рисунок 3.2 – Діаграма Use Case

На діаграмі актори подані у вигляді умовних графічних позначень, які представляють користувачів або зовнішні сутності, що здійснюють взаємодію з інформаційною системою. Варіанти використання зображені у формі овалів та

відображають окремі функціональні можливості системи. Взаємозв'язки між акторами та варіантами використання відображені за допомогою ліній асоціації, які визначають характер їх взаємодії в межах системи.

Система передбачає взаємодію з трьома основними акторами: Клієнт, Водій та Оператор, кожен з яких має визначений набір прав та функціональних можливостей.

Роль «Клієнт», представляє користувача з простими правами даної системи, він надається автоматично будь-якому користувачеві у цієї системі і формує замовлення в системі. Клієнт має можливість виконувати такі варіанти використання як: авторизація, створення замовлення та перегляд власних замовлень.

Прецедент «Авторизація» – це процес проходження ідентифікації користувача з метою отримання доступу до функціоналу системи.

Прецедент «Створення замовлення» – дає його користувачеві можливість формування нового замовлення шляхом введення необхідних даних.

Прецедент «Перегляд власних замовлень» – дає користувачеві можливість перегляд списку створених замовлень та їхнього статусу.

Дані функції забезпечують повний цикл взаємодії клієнта з системою від входу до контролю виконання замовлення.

Роль «Водій», представляє користувача, відповідального за виконання замовлень. Для нього передбачені такі варіанти використання як: перегляд списку призначених замовлень та зміну статусу замовлення.

Прецедент «Перегляд списку призначених замовлень» – дає його користувачеві можливість отримання інформації про замовлення, які закріплені за конкретним водієм.

Прецедент «Зміна статусу замовлення» – надає його користувачеві можливість оновлення стану замовлення під час його виконання (наприклад, «прийнято», «в процесі», «виконано»).

Варіант використання «Зміна статусу замовлення» реалізований, як розширення основного сценарію перегляду призначених замовлень, оскільки ця дія можлива лише після вибору конкретного замовлення.

Роль «Оператор», це користувач який має особливі права у даній системі, він виконує функції адміністративного управління системою. До його функціональних можливостей належать такі як: перегляд усіх замовлень, додавання водіїв, призначення водіїв, переглянути список ТО, створення заявки на ТО, а також зміна статусу ТО.

Прецедент «Перегляд усіх замовлень» – дає користувачеві доступ до повного переліку замовлень, створених у системі.

Прецедент «Додавання водія» – даний прецедент дає можливість користувачеві проводити реєстрацію нових водіїв у системі.

Прецедент «Призначення водія» – це дає користувачеві можливість закріплення водія за конкретним замовленням для подальшого виконання.

Прецедент «Переглянути список ТО» – дає користувачеві можливість доступу до повного списку автотранспорту які знаходяться на ТО.

Прецедент «Створення заявки на ТО» – дає можливість користувачеві створити нові заявки на ТО автотранспорту.

Прецедент «Зміна статусу ТО» – дає користувачеві можливість зміни статусу автотранспорту яке знаходиться на ТО.

Функціонал оператора забезпечує координацію процесу виконання замовлень та контроль роботи водіїв.

3.3 Архітектура вебсистеми

Для реалізації вебсистеми підтримки прийняття рішень з управління автопарком була використана класична тришарова архітектура «Клієнт–Сервер–База даних», що забезпечує чітке розділення відповідальності між компонентами, гнучкість масштабування та зручність супроводу. Архітектура побудована на основі Spring Boot Framework із використанням JPA для роботи з базою даних MySQL. Структурна схема архітектури представлена на рисунку 3.3.

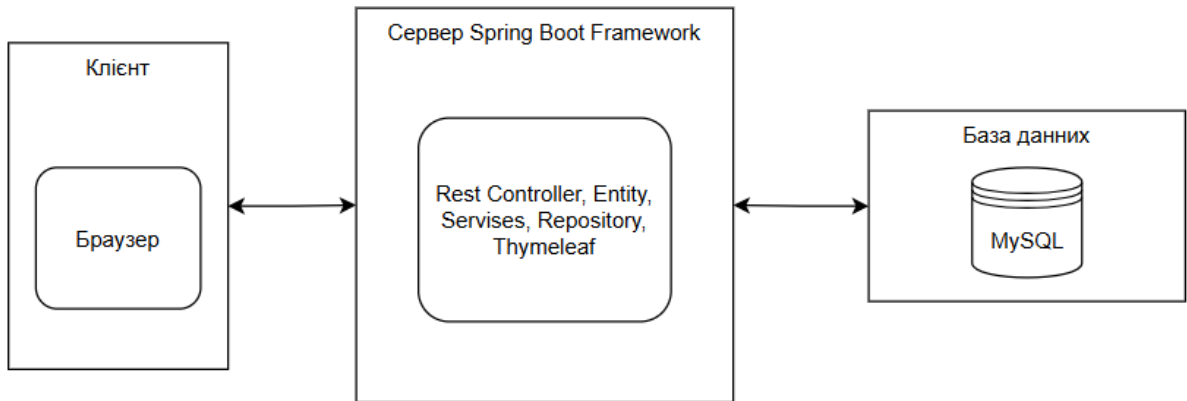


Рисунок 3.3 – Архітектура системи

3.3.1 Клієнтська підсистема

Клієнтська частина системи реалізована у вигляді вебінтерфейсу, який працює безпосередньо в браузері користувача. Вона відповідає за відображення даних, взаємодію з елементами сторінки та передачу запитів до серверної частини.

Через браузер користувачі отримують доступ до функціоналу системи відповідно до своєї ролі. Оператор має можливість створювати замовлення, призначати рейси, контролювати стан автопарку та переглядати аналітичні звіти. Водій працює з особистим кабінетом, де відображаються його маршрути, інформація про закріпленій автомобіль та повідомлення від системи.

Інтерфейс, побудований з урахуванням принципів адаптивності та зручності, дозволяє ефективно працювати як на стаціонарних комп'ютерах, так і на мобільних пристроях. Важливою особливістю клієнтської підсистеми є її інтеграція з серверними API, що забезпечує динамічне оновлення даних у режимі реального часу та мінімізує затримки при роботі з великими обсягами інформації.

3.3.2 Серверна підсистема

Серверна частина побудована на основі Spring Boot Framework, який було

обрано завдяки його здатності швидко створювати масштабовані та надійні корпоративні вебзастосунки. Spring Boot забезпечує автоматичну конфігурацію, інтеграцію з JPA та Spring Security, а також підтримує модульність і гнучкість, що робить його оптимальним рішенням для системи управління автопарком. Використання цього фреймворку дозволяє зосередитися на бізнес-логіці та функціональності, мінімізуючи витрати на рутинні налаштування та технічні деталі.

Вона включає такі компоненти, які разом утворюють повний цикл обробки даних:

- Rest Controller – приймає HTTP-запити від клієнта, витягує параметри та координує їх обробку, передаючи дані до сервісного шару. Контролери відповідають за маршрутизацію запитів і формування відповідей у форматі HTML або JSON.
- Entity – описують предметну область у вигляді Java-класів, що відображають структуру таблиць бази даних. Завдяки JPA сутності дозволяють працювати з даними на об'єктному рівні, абстрагуючись від SQL-запитів.
- Services – реалізують бізнес-логіку системи. Тут виконуються розрахунки коефіцієнтів ефективності, формуються аналітичні звіти, здійснюється контроль конфліктних призначень та створюються рекомендації для оператора. Сервісний шар також відповідає за транзакційність складних операцій.
- Repository – забезпечують доступ до даних, ізолюючи бізнес-логіку від деталей роботи з базою. Репозиторії дозволяють виконувати CRUD-операції та складні вибірки без написання SQL вручну.
- Thymeleaf – серверний шаблонізатор, що використовується для генерації HTML-сторінок з динамічними даними та дозволяє формувати інтерфейс користувача безпосередньо на стороні сервера.
- Spring Security – відповідає за автентифікацію та авторизацію користувачів, розмежування доступу до функціоналу залежно від ролі, захист від несанкціонованого доступу та управління сесіями.

3.3.3 Підсистема бази даних

База даних MySQL забезпечує централізоване зберігання інформації про транспортні засоби, водіїв, рейси, технічне обслуговування та аналітичні показники. Структура бази нормалізована до третьої нормальної форми, всі зв'язки реалізовані через зовнішні ключі, що гарантує цілісність даних.

Для забезпечення швидкого доступу та стабільної роботи з великими масивами інформації база даних підтримує оптимізацію запитів за допомогою механізмів кешування та використання транзакційного механізму InnoDB. Це дозволяє системі ефективно обробляти як поточні операційні дані, так і великі історичні масиви, необхідні для аналітики та прогнозування.

3.4 Розробка карти сайту

Для демонстрації принципів функціонування системи було розроблено карту сайту. У сучасному цифровому середовищі створення карти сайту є обов'язковим етапом як під час розробки, так і під час проєктування вебресурсів. Інтенсивний розвиток цифрових технологій, зокрема вебсистем, значно підвищує важливість карти сайту як інструменту структурування інформації та функціональності.

На рисунку 3.4 зображено розроблену карту сайту для автопарку підприємства, діяльність якого пов'язана з перевезенням будь-якого вантажу.

Карта сайту сприяє формуванню логічної структури ресурсу та забезпечує послідовність під час розширення функціоналу й додавання нових розділів. Вона є базовою складовою етапу проєктування, оскільки дозволяє покращити процеси планування, впорядкування інформації та підвищити рівень користувацького досвіду.

Карта сайту забезпечує зручну та зрозумілу навігацію, це надає можливість швидкого доступу до необхідної інформації ресурсу з будь-якого типу пристрою, зокрема персонального комп'ютера, мобільного телефону або планшета.

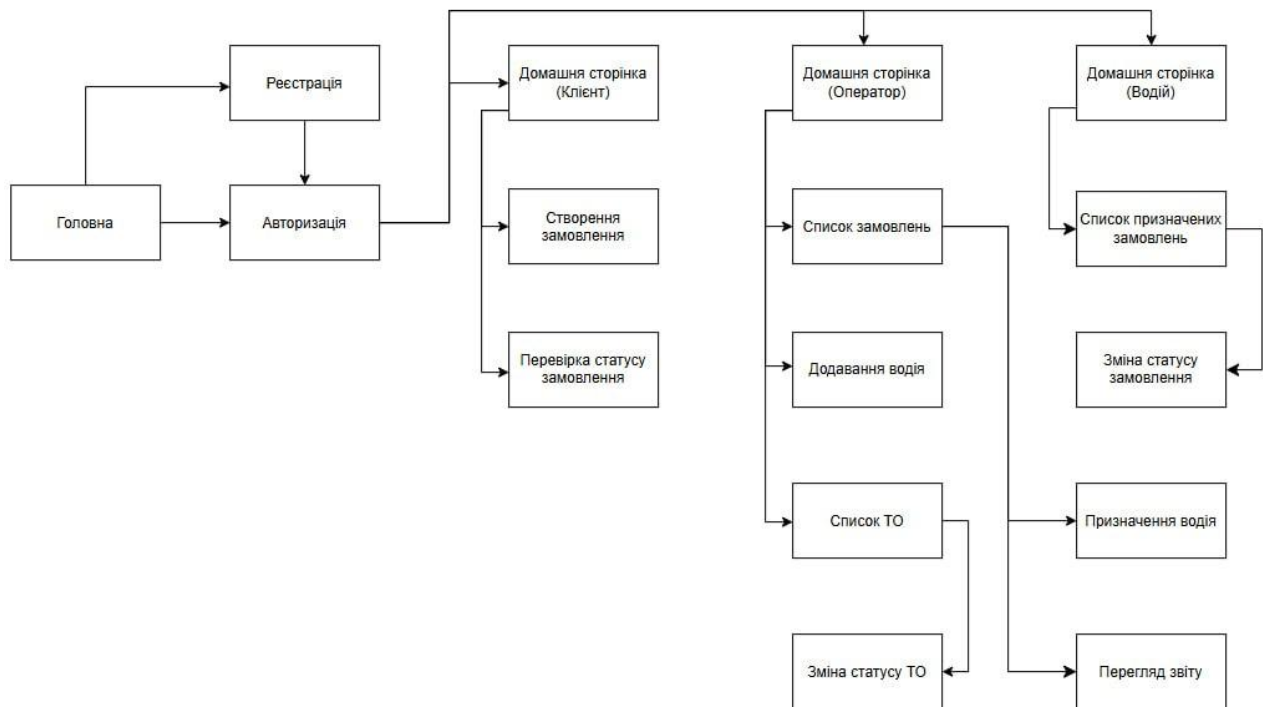


Рисунок 3.4 – Карта сайту

На стартовій сторінці вебресурсу користувачу надається можливість створити обліковий запис або, за наявності вже зареєстрованого профілю, увійти до системи. Після успішної автентифікації користувач перенаправляється на головну сторінку, з якої відкривається доступ до функціональних розділів відповідно до його ролі. Робота в системі передбачена виключно для ідентифікованих користувачів, зокрема для таких ролей, як клієнт, оператор та водій.

Користувач із роллю «Клієнт», може переходити до сторінок створення замовлення та перевірка статусу замовлення.

Користувач із роллю «Оператор», має доступ до сторінок: список замовлень, додавання водіїв та списку ТО. На сторінці список замовлень він має можливість призначити водія та переглянути звіт о виконанні конкретного замовлення. На сторінці списку ТО користувач має право змінити статус ТО.

Користувач із роллю «Водій», має право переглянути список призначених замовлень. А увійшовши до сторінки списку призначених замовлень, він має право змінити статус цього замовлення.

3.5 Розробка діаграми класів

Розроблено діаграму класів зображено на рисунку 3.5, яка слугуватиме основою для подальшої реалізації вебсервера.

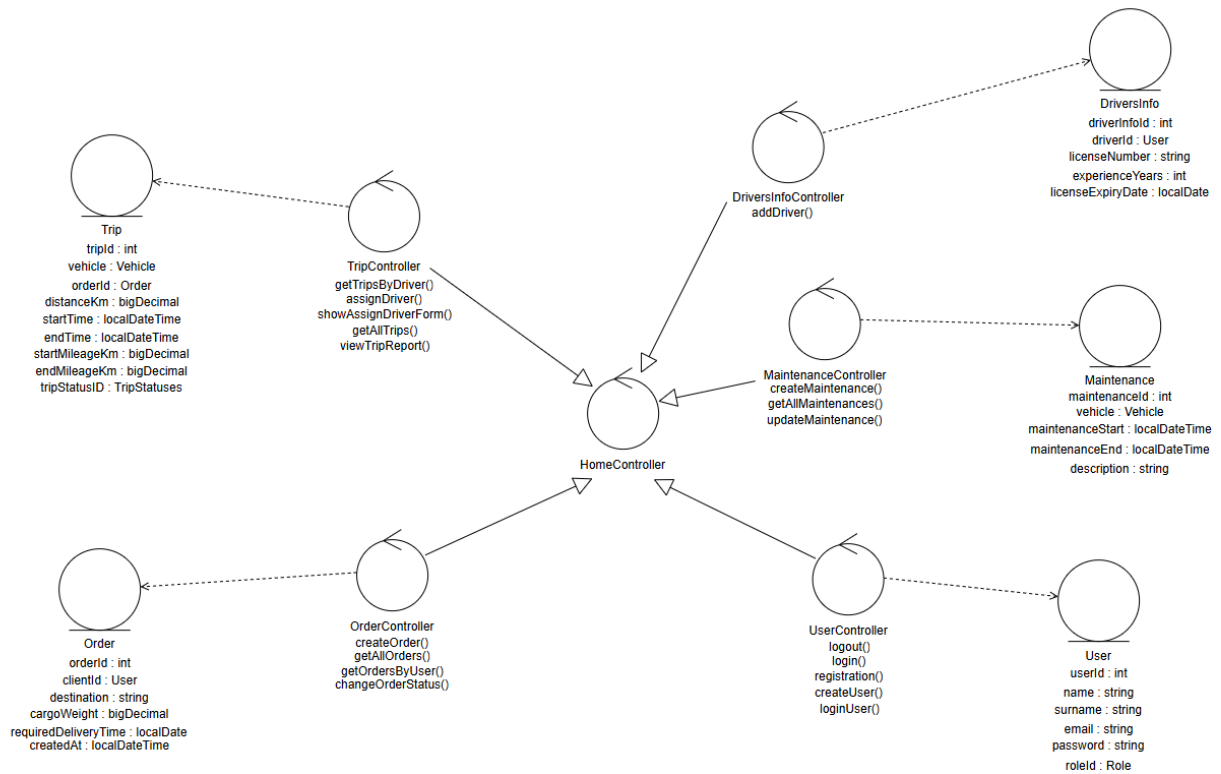


Рисунок 3.5 – Діаграма класів

Діаграма класів відображає логічну структуру вебсистеми підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства. Вона демонструє основні компоненти системи, їх атрибути, методи та взаємозв'язки між класами-контролерами і класами-сутностями предметної області.

Розроблена діаграма дозволяє формалізувати архітектуру системи, визначити відповідальність кожного програмного компонента та забезпечити зрозумілу реалізацію бізнес-логіки.

Клас *HomeController*. Базовий клас-контролер, який виконує функцію центрального елемента навігації вебсистеми. Він забезпечує доступ до основних розділів системи та координує взаємодію між іншими контролерами. Даний клас

не містить складної бізнес-логіки, але відіграє важливу роль у побудові структури користувацького інтерфейсу.

Клас *UserController*. Клас-контролер, що відповідає за обробку HTTP-запитів, пов'язаних з користувачами системи. Він реалізує механізми автентифікації, авторизації та керування обліковими записами користувачів.

Методи, що містить клас *UserController*:

- login() – метод, що забезпечує авторизацію користувача в системі;
- logout() – метод, що виконує завершення сеансу користувача;
- registration() – метод, що забезпечує реєстрацію нового користувача;
- createUser() – метод, що створює нового користувача та зберігає його дані;
- loginUser() – метод, що виконує перевірку облікових даних користувача.

Клас *DriversInfoController*. Клас-контролер, призначений для керування інформацією про водіїв, які здійснюють керування транспортними засобами підприємства. Він забезпечує збереження та актуалізацію даних, необхідних для допуску водіїв до виконання рейсів.

Методи, що містить клас *DriversInfoController*:

- addDriver() – метод, що забезпечує додавання інформації про водія до системи та збереження відповідних даних у базі даних.

Клас *TripController*. Клас-контролер, що відповідає за керування рейсами транспортних засобів. Він реалізує функціональність перегляду, призначення та аналізу рейсів, що дозволяє контролювати процес експлуатації автопарку.

Методи, що містить клас *TripController*:

- getTripsByDriver() – метод, що забезпечує отримання списку рейсів конкретного водія;
- assignDriver() – метод, що виконує призначення водія на рейс;
- showAssignDriverForm() – метод, що забезпечує відображення форми призначення водія;
- getAllTrips() – метод, що повертає список усіх рейсів;

- `viewTripReport()` – метод, що забезпечує формування та перегляд звіту по рейсу.

Клас *OrderController*. Клас-контролер, що відповідає за обробку замовлень на перевезення вантажів. Він забезпечує створення замовлень, їх перегляд, а також зміну статусів у процесі виконання.

Методи, що містить клас *OrderController*:

- `createOrder()` – метод, що забезпечує створення нового замовлення;
- `getAllOrders()` – метод, що повертає список усіх замовлень;
- `getOrdersByUser()` – метод, що забезпечує отримання замовлень певного користувача;
- `changeOrderStatus()` – метод, що виконує зміну статусу замовлення.

Клас *MaintenanceController*. Клас-контролер, призначений для керування процесами технічного обслуговування транспортних засобів. Він дозволяє фіксувати періоди обслуговування та контролювати технічний стан автопарку.

Методи, що містить клас *MaintenanceController*:

- `createMaintenance()` – метод, що забезпечує створення запису про технічне обслуговування;
- `getAllMaintenances()` – метод, що повертає список усіх записів технічного обслуговування;
- `updateMaintenance()` – метод, що забезпечує оновлення інформації про технічне обслуговування.

Клас-сутність *User*. Клас-сутність, що представляє користувача інформаційної системи. Він використовується для зберігання облікових даних, персональної інформації та визначення ролі користувача в системі, а саме:

- `userId` – унікальний ідентифікатор користувача;
- `name` – ім'я користувача;
- `surname` – прізвище користувача;
- `email` – електронна адреса користувача;
- `password` – пароль користувача;
- `roleId` – роль користувача в системі.

Клас-сутність *DriversInfo*. Клас-сутність, що містить розширену інформацію про водія. Дані цього класу використовуються для перевірки відповідності водія вимогам до виконання рейсів, а саме:

- `driverInfoId` – ідентифікатор запису;
- `driverId` – посилання на користувача;
- `licenseNumber` – номер водійського посвідчення;
- `experienceYears` – стаж водіння;
- `licenseExpiryDate` – дата закінчення дії посвідчення.

Клас-сутність *Trip*. Клас-сутність, що зберігає інформацію про виконання рейсів транспортними засобами. Він дозволяє аналізувати ефективність використання транспорту та водіїв, а саме:

- `tripId` – ідентифікатор рейсу;
- `vehicleId` – транспортний засіб;
- `driverId` – призначений водій;
- `distanceKm` – довжина рейсу;
- `startTime`, `endTime` – час початку та завершення рейсу;
- `startMileageKm`, `endMileageKm` – показники пробігу;
- `tripStatusId` – статус рейсу.

Клас-сутність *Order*. Клас-сутність, що описує замовлення на перевезення вантажів і використовується для планування та контролю логістичних процесів, а саме:

- `orderId` – ідентифікатор замовлення;
- `clientId` – користувач, що створив замовлення;
- `destination` – пункт призначення;
- `cargoWeight` – вага вантажу;
- `requiredDeliveryTime` – необхідний час доставки;
- `createdAt` – дата створення замовлення.

Клас-сутність *Maintenance*. Клас-сутність, що відображає дані про технічне обслуговування транспортних засобів та використовується для контролю їх технічного стану, а саме:

maintenanceId – ідентифікатор обслуговування;
 vehicleId – транспортний засіб;
 maintenanceStart – початок обслуговування;
 maintenanceEnd – завершення обслуговування;
 description – опис виконаних робіт.

3.6 Діаграма послідовностей

Діаграму послідовності процесу призначення транспортного засобу та водія до замовлення зображено на рисунку 3.6. Вона відображає взаємодію між диспетчером, серверною частиною вебсистеми та базою даних у процесі автоматизованого вибору оптимального транспортного засобу з використанням багатокритеріального підходу.

Актор «Dispatcher» ініціює процес, переходячи на сторінку призначення водія для конкретного замовлення. При цьому формується HTTP-запит GET /assignDriver/{orderId}, який надходить до контролера TripController.

Контролер TripController обробляє отриманий запит та викликає метод assignDriver() сервісного рівня TripService, передаючи ідентифікатор замовлення. На початковому етапі сервіс звертається до бази даних з метою отримання детальної інформації про замовлення шляхом виклику методу getOrderDetails(), після чого формується перелік доступних транспортних засобів за допомогою методу getAvailableVehicles().

Подальша обробка виконується відповідно до лексикографічного методу багатокритеріального вибору, при якому критерії впорядковуються за спаданням їх важливості:

$$K_{\text{вп}} > K_t > K_p > K_g,$$

де $K_{\text{вп}}$ – коефіцієнт використання вантажопідйомності;

K_t – коефіцієнт використання автомобіля за часом;

K_p – коефіцієнт використання пробігу;

K_g – коефіцієнт технічної готовності.

Оцінювання за коефіцієнтом використання вантажопідйомності $K_{вп}$. На першому етапі для кожного доступного транспортного засобу у циклі виконується метод `calculateKvp()`, який відповідає за розрахунок коефіцієнта використання вантажопідйомності. Для цього сервіс `TripService` звертається до бази даних методом `getVehicle()`, отримує технічні характеристики автомобіля та визначає ступінь відповідності транспортного засобу параметрам замовлення.

У разі, якщо після оцінювання за критерієм $K_{вп}$ залишається лише один допустимий транспортний засіб, контролер `TripController` формує та повертає форму призначення (`showAssignDriverForm()`) з уже визначеним автомобілем.

Оцінювання за коефіцієнтом використання за часом K_t . Якщо кількість придатних транспортних засобів перевищує один, система переходить до наступного за важливістю критерію – коефіцієнта використання автомобіля за часом. Для цього у циклі виконується метод `calculateKtForDay()`, який аналізує завантаження автомобіля протягом поточної доби.

У межах цього методу сервіс `TripService` звертається до бази даних за допомогою методу `getTripsForDay()`, у результаті чого отримується список рейсів, виконаних відповідним транспортним засобом за поточний день.

Оцінювання за коефіцієнтом використання пробігу K_p . За наявності кількох альтернатив система виконує подальший аналіз за коефіцієнтом використання пробігу. Для цього використовується метод `calculateKpForLast30Days()`, який здійснює розрахунок показника на основі даних експлуатації транспортного засобу за останні 30 днів.

У процесі виконання цього методу сервіс отримує історію рейсів шляхом виклику методу `getTrips()`, після чого визначається співвідношення корисного та загального пробігу автомобіля.

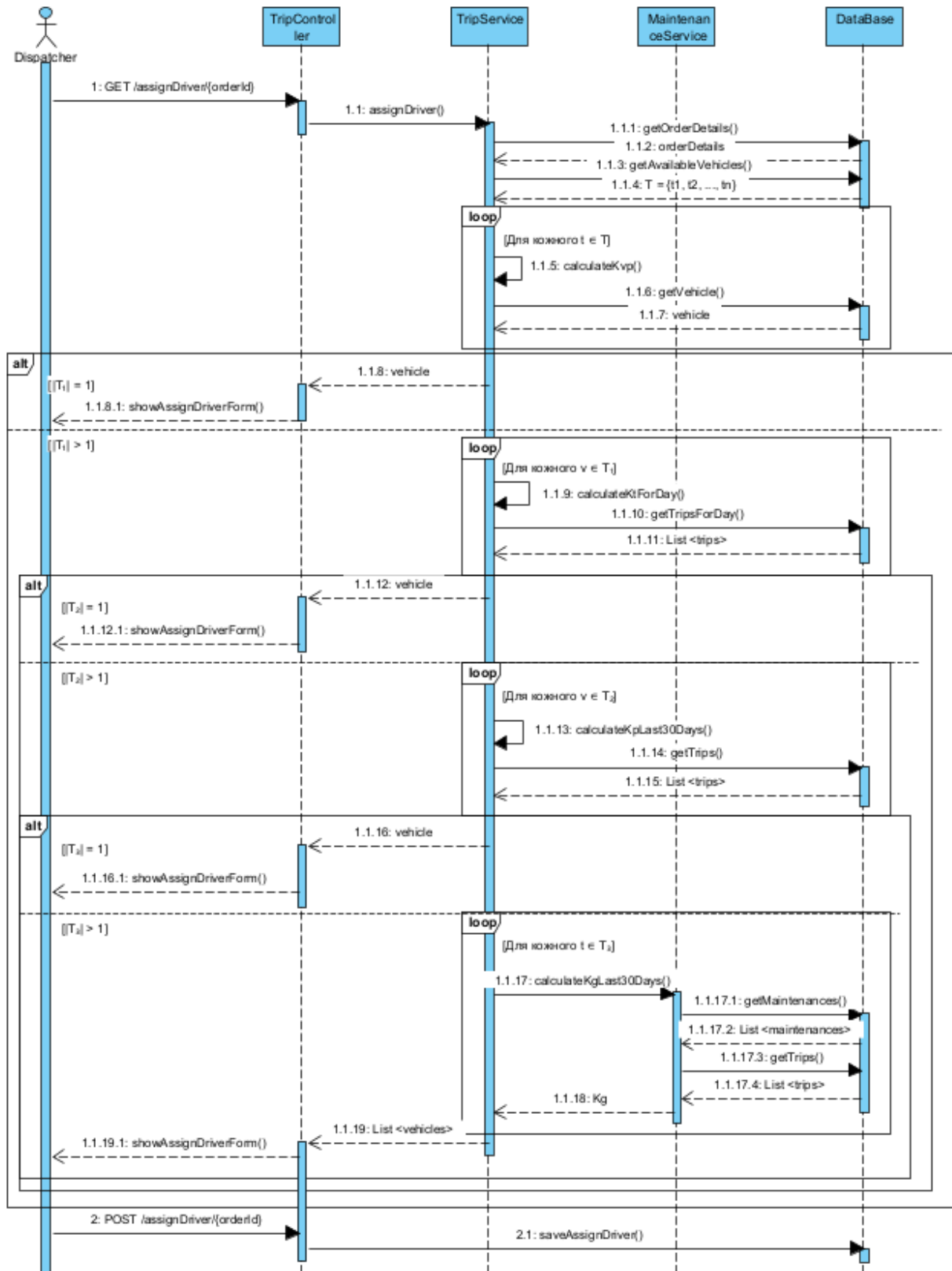


Рисунок 3.6 – Діаграма послідовностей

Оцінювання за коефіцієнтом технічної готовності K_g . На завершальному етапі багатокритеріального аналізу виконується оцінювання коефіцієнта технічної готовності транспортного засобу. Для цього сервіс TripService викликає метод calculateKgForLast30Days(), у межах якого здійснюється аналіз технічного стану автомобіля за останні 30 днів.

Під час виконання методу сервіс звертається до бази даних для отримання інформації про технічні обслуговування (getMaintenances()) та виконані рейси (getTrips()). На основі тривалості простоїв і часу експлуатації обчислюється коефіцієнт технічної готовності K_g .

Формування результату та завершення процесу. Після послідовного застосування всіх критеріїв відповідно до їх пріоритетності сервіс TripService формує впорядкований список транспортних засобів (List<vehicles>) і повертає його до контролера TripController. Контролер передає дані до рівня представлення та викликає метод showAssignDriverForm(), у результаті чого диспетчеру відображається форма з рекомендованим транспортним засобом або переліком допустимих варіантів.

Після підтвердження вибору диспетчером формується HTTP-запит POST /assignDriver/{orderId}, який обробляється контролером TripController. Контролер викликає метод saveAssignDriver(), що забезпечує збереження інформації про призначення транспортного засобу та водія у базі даних.

Таким чином, представлена діаграма послідовності демонструє реалізацію лексикографічного методу багатокритеріального вибору транспортного засобу, що дозволяє забезпечити обґрунтоване, формалізоване та ефективне прийняття рішень у процесі управління автопарком.

ВИСНОВКИ

Метою кваліфікаційної роботи було підвищення ефективності експлуатації автопарку підприємства шляхом розроблення вебсистеми підтримки прийняття рішень з алгоритмами аналітичної обробки даних і формування рекомендацій для керівництва.

У результаті проведеної роботи було здійснено аналіз предметної області управління автопарками транспортних підприємств. На основі аналізу існуючих систем виявлено їхні обмеження та визначено ключові функції для автоматизації. Встановлено типи користувачів системи та рівні доступу для кожного з них.

Проведено дослідження методів оцінювання ефективності використання транспортних засобів. Визначено систему ключових показників та розроблено методичні підходи до їх розрахунку. Обґрунтовано застосування лексикографічного методу для задачі призначення транспортного засобу і розроблено відповідний алгоритм багатокритеріального вибору.

Виконано функціональне моделювання системи. Розроблено діаграму варіантів використання методами UML та діаграму класів. Обґрунтовано архітектуру системи із застосуванням Spring Boot Framework і Spring Security. Спроектують логічну та фізичну моделі бази даних, яку реалізовано на платформі MySQL.

Спроектують інформаційна система програмно реалізована з використанням мови програмування Java та фреймворку Spring Boot. Система забезпечує автоматизований контроль навантаження водіїв, вебкабінет для водіїв і інтелектуальний блок підтримки прийняття рішень.

Отже, розроблено вебсистему підтримки прийняття рішень для управління автопарком підприємства з інтегрованим методом багатокритеріального вибору транспортних засобів і автоматизованим формуванням рекомендацій.

Основні положення та результати магістерської роботи апробовано та частково оприлюднено у вигляді тез доповіді на Міжнародній науково-технічній

конференції молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти «Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління» [1].

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Артеменко А., Колесник Л. Система підтримки прийняття рішень для підвищення ефективності експлуатації автопарку // Комп'ютерні науки, інформаційні технології та системи управління: матеріали Міжнародної науково-технічної конференції молодих вчених, аспірантів та здобувачів вищої освіти, 19–20 грудня 2025 р. Івано-Франківськ: Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, 2022. С. 01–04.
2. Кислий В.М., Біловодська О.А., Олефіренко О.М., Соляник О.М. Логістика: Теорія та практика: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2020. 360 с.
3. Ізтелеумова М.С., Грицук І.В., Арімбекова П.М., Тарандушка Л.А. Організація та логістика перевезень: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2021. 264 с.
4. Дикань О.В., Дейнека О.Г., Волохова І.В., Лук'янова О.М. Менеджмент транспортних послуг: навч. посіб. Харків: УкрДУЗТ, 2023. 184 с.
5. Бідюк П.І., Тимошук О.Л., Коваленко А.Є., Коршевнік Л.О. Системи і методи підтримки прийняття рішень: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 610 с.
6. Ізтелеумова М.С., Грицук І.В., Арімбекова П.М., Тарандушка Л.А. Організація та логістика перевезень: підручник. Херсон: Олді-плюс, 2021. 264 с.
7. Тюріна Н.М., Гой І.В., Бабій І.В. Логістика: навч. посіб. Київ: Центр учбової літератури, 2021. 392 с.
8. Марченко В.М, Шутюк В.В. Логістика: підручник. 2-ге вид. Київ: НУХТ, 2022. 334 с.
9. Кашканов В.А., Кашканов А.А., Варчук В.В. Інформаційні системи і технології на автомобільному транспорті: навч. посіб. Вінниця: ВНТУ, 2020. 104 с.
10. Нікітіна Л., Яценко І. Моделі та методи прийняття рішень: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2023. 179 с.

- 11.Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів: підручник. Київ: Знання-Прес, 2004. 511 с.
- 12.Загорянський В.Г., Мороз М.М., Гайкова Т.В. Якість та контроль транспортного процесу (вантажні та пасажирські автомобільні перевезення): навч. посіб. Кременчук: Кременчуцький навчальний університет імені Михайла Остроградського, 2023. 138 с.
- 13.Докуніхін В., Куцевська Н., Малишев В., Петренко Т. Сервісне обслуговування автотранспортних підприємств: підручник. Київ: Університет «Україна», 2022. 203 с.
- 14.Звенігородський О.С., Зінченко О.В., Чичкарьов Є.А., Кисіль Т.М. Штучний інтелект. Вступний курс: навч. посіб. Київ: ДУТ, 2022. 193 с.
- 15.Keen P.G.W., Scott Morton M.S. Decision Support Systems: An Organizational Perspective. Reading, MA: Addison-Wesley, 1978. 340 p.
- 16.Power D.J. Decision Support Systems: Concepts and Resources for Managers. Westport, CT: Greenwood Publishing Group, 2002. 250 p.
- 17.Турчин І.О., Коваленко Т.О. Інформаційні системи і технології в управлінні підприємствами транспорту: навч. посіб. Київ: НАУ, 2020. 268 с.
- 18.Marakas G.M. Decision Support Systems in the 21st Century. 2nd ed. Upper Saddle River, NJ: Prentice Hall, 2003. 480 p.
- 19.Sprague, R.H., Watson, H.J. Decision Support Systems for Management. 4th ed. Prentice Hall, 1996. 490 p.
- 20.Безугла Л.С., Юрченко Н.І., Ільченко Т.В., Пальчик І.М., Воловик Д.В. Логістика: навч. посіб. Дніпро: Пороги, 2021. 252 с.
- 21.Творошенко І.С. Технології прийняття рішень в інформаційних системах: навч. посіб. Харків: ХНУРЕ, 2021. 118 с.
- 22.Бродський Ю.Б. Системний аналіз та теорія прийняття рішень: навч. посіб. Ч. 1: Системологія. Житомир: Житомирська політехніка. 2022. 92 с.
- 23.Висоцька В.А., Досин Д.Г., Микіч Х.І., Завуцак І.І., Рибчак З.Л. Методи та засоби функціонування систем підтримки прийняття рішень на основі онтологій: монографія. Львів: Новий світ – 2000, 2024. 334 с

- 24.Бідюк П.І., Тимошук О.Л., Коваленко О.Л., Коршевнюк Л.О. Системи і методи підтримки прийняття рішень: підручник. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022. 610 с.
- 25.Братушка С.М., Новак С.М., Хайлук С.О. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посіб. Суми: ДВНЗ «УАБС НБУ», 2020. 265 с
26. Балик Н.Р., Мандзюк В.І. Бази даних MySQL: навч. посіб. Тернопіль: Богдан, 2010. 160 с.
- 27.Renee M. P. Teate SQL for Data Scientists: A Beginner's Guide for Building Datasets for Analysis. New Jersey, Canada: Wiley, 2021. 288 p.