

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет механіко-технологічний

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету

Механіко-технологічного

Братішко В. В.

«__» _____ 2025 р

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

транспортних технологій та засобів АПК

к.т.н. Савченко Л.А

«__» _____ 2025 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему: Дослідження транспортного процесу при перевезенні
швидкопсувних вантажів

Спеціальність 275.03 Транспортні технології (на автомобільному
транспорті)

Освітня програма Транспортні технології на автомобільному транспорті

Орієнтація освітньої програми Освітньо-професійна

Гарант освітньої програми

д.е.н. Загурський О.М

**Керівник магістерської
кваліфікаційної роботи**

к.т.н. Савченко Л.А

Виконав

Юденко Р.М

РЕФЕРАТ

Магістерська робота присвячена дослідженню та удосконаленню транспортного процесу доставки швидкопсувних вантажів із забезпеченням температурного режиму та дотриманням вимог «холодного ланцюга». Потреба у підвищенні ефективності логістики продуктів із коротким терміном придатності зумовлена зростанням обсягів дистрибуції харчової продукції, посиленням вимог до безпечності товарів і необхідністю оптимального використання транспортних ресурсів.

Метою роботи є підвищення ефективності організації перевезень швидкопсувних вантажів шляхом поєднання класичних методів транспортної оптимізації з інтелектуальними алгоритмами маршрутизації та сучасними логістичними цифровими платформами.

Для досягнення поставленої мети сформульовано такі завдання:

- проаналізувати вимоги та особливості логістики швидкопсувних вантажів;
- дослідити нормативно-правові аспекти та технологічні правила перевезення продукції з температурними режимами
- охарактеризувати логістичну систему ТОВ «Фоззі-Логістик»;
- побудувати та розв'язати транспортну задачу методом Вогеля з уточненням методом потенціалів;
- змоделювати маршрути доставки у системі ANT-Logistics;
- реалізувати алгоритм мурашиної логістики для задачі маршрутизації транспортних засобів;

– здійснити порівняльний аналіз результатів та оцінити економічний ефект оптимізації.

Об'єкт дослідження — транспортний процес перевезення швидкокопсувних вантажів в умовах ТОВ «Фоззі-Логістик».

Предмет дослідження — методи та інструменти оптимізації транспортного процесу під час перевезення швидкокопсувних вантажів, зокрема математичні моделі транспортної задачі, цифрові системи маршрутизації й алгоритми інтелектуальної (мурашиної) логістики.

Наукова новизна полягає у розробленні та практичному застосуванні комбінованого підходу до оптимізації доставки продуктів із температурними режимами, що інтегрує класичні методи математичної оптимізації, цифрову логістичну платформу ANT-Logistics та еволюційний алгоритм на основі мурашиної колонії. Запропонований підхід дозволяє ефективно урахувувати часові обмеження, умови холодового режиму, пріоритети доставок та економічні параметри роботи автотранспорту.

Практичний аналіз проведено на прикладі діяльності ТОВ «Фоззі-Логістик». Результати роботи підтверджують доцільність використання інтелектуальних алгоритмів та спеціалізованих цифрових систем у плануванні доставки швидкокопсувних товарів, що забезпечує скорочення логістичних витрат, поліпшення якості сервісу та підвищення надійності холодового ланцюга.

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	3
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ	8
1.1. Особливості та класифікація швидкопсувних вантажів	8
1.2. Вимоги до температурного режиму та «холодового ланцюга»	9
1.3. Види рефрижераторних транспортних засобів	11
1.4. Нормативно-правові вимоги до перевезень швидкопсувних товарів	13
1.5. Транспортний процес та його параметри	15
1.6. Методи оптимізації транспортних рішень	20
Висновки до розділу 1	23
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «ФОЗЗІ-ЛОГІСТИК»	25
2.1. Організаційно-економічна характеристика підприємства	25
2.2. Структура логістичної мережі та складів	27
2.3. Аналіз транспортного парку компанії	33
2.4. Існуючі маршрути та вантажопотоки	36
2.5. Проблеми та резерви оптимізації	39
Висновки до розділу 2	42
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ	44
3.1. Транспортна задача	45
3.2. Висновки за результатами розрахунку транспортної задачі	53
3.3. Планування маршруту в ANT-Logistics	53
3.4. Загальний висновок щодо результатів теоретичного та практичного моделювання логістичних маршрутів Fozzy Group	59
3.5. Висновки до розділу 3	62
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПІДРОЗДІЛАХ FOZZY GROUP	64
4.1. Характеристика виробничих ризиків у діяльності логістичних центрів	64
4.2. Вимоги з безпечної експлуатації транспортно-складського обладнання та інженерних систем	65
4.3. Заходи щодо підвищення рівня охорони праці та безпеки логістичних процесів	66
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ	68
5.2. Практичні результати ANT Logistics	69
5.3. Витрати на паливе за результатами ANT Logistics	70
5.4. Оцінка окупності впровадження ANT Logistics	72
Висновки до розділу 5	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	75
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	77

ВСТУП

Сучасні умови розвитку економіки та зміни споживчих моделей формують підвищені вимоги до логістичного забезпечення ринку продуктів із обмеженим строком придатності. Забезпечення стабільної та своєчасної доставки швидкопсувних вантажів є ключовим чинником конкурентоспроможності торговельних мереж, виробників харчових продуктів та логістичних операторів. Від злагодженості транспортних процесів залежить не лише фінансова результативність підприємств, а й рівень продовольчої безпеки країни, дотримання санітарних норм та репутація учасників ланцюга постачання.

Системи доставки продуктів, що потребують спеціальних умов транспортування, характеризуються складністю управління та високим ступенем варіативності. До основних викликів належать: суворе дотримання температурного режиму, точне планування часових вікон доставки, обмеження щодо маршрутів, наявність зовнішніх логістичних ризиків, а також необхідність оптимального використання рефрижераторного транспорту. У таких умовах зростає потреба у впровадженні інтелектуальних підходів до планування перевезень, здатних адаптуватися до змін середовища та забезпечувати мінімізацію витрат.

Традиційні методи оптимізації, зокрема класична транспортна задача, залишаються ефективним інструментом для формування базового плану перевезень та оцінки раціональності розподілу ресурсів. Однак на практиці вони не завжди дозволяють урахувати динамічні фактори, властиві реальним логістичним процесам. Саме тому важливим напрямом розвитку транспортної логістики є інтеграція математичних моделей із сучасними цифровими платформами та алгоритмами штучного інтелекту.

У даній роботі передбачено комплексне дослідження процесу транспортування швидкопсувних товарів із використанням методів математичної

оптимізації, системи планування транспортних операцій ANT-Logistics та алгоритму мурашиної логістики. Практична частина виконана на прикладі діяльності реальної логістичної компанії — ТОВ «Фоззі-Логістик», яка забезпечує холодний ланцюг постачання для мережі «Сільпо» та інших торговельних об'єктів.

Метою дослідження є підвищення ефективності організації доставки швидкопсувних вантажів шляхом поєднання класичних оптимізаційних методів та сучасних цифрових рішень. Для досягнення мети визначено такі завдання: проаналізувати особливості транспортного процесу перевезення швидкопсувних товарів, сформулювати математичну модель транспортної задачі, здійснити оптимізацію маршрутів за допомогою методу Вогеля та методу потенціалів, виконати моделювання доставки у системі ANT-Logistics і протестувати алгоритм мурашиної логістики для маршрутної оптимізації.

Наукова новизна роботи полягає у поєднанні класичних та інтелектуальних методів оптимізації транспортних процесів з аналізом їх ефективності в умовах реального логістичного середовища. Практична значущість полягає в можливості застосування отриманих результатів у діяльності підприємств харчової логістики, що працюють із товарами, які потребують дотримання температурного режиму.

РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ПЛАНУВАННЯ ПЕРЕВЕЗЕННЯ ШВИДКОПСУВНИХ ВАНТАЖІВ

1.1. Особливості та класифікація швидкопсувних вантажів

Швидкопсувні вантажі являють собою групу товарів, фізико-хімічні та мікробіологічні властивості яких можуть істотно змінюватися під впливом зовнішнього середовища. Навіть короточасне відхилення від встановлених умов транспортування здатне призвести до значної втрати якості, зменшення терміну придатності та, у ряді випадків, до повної непридатності продукції для подальшого використання. Це визначає особливу потребу у виборі відповідних транспортних засобів, систем температурного контролю, а також оперативного та скоординованого управління логістичними процесами.

Основною характеристикою швидкопсувної продукції є її біологічна активність та сприйнятливість до дії мікроорганізмів, температурних коливань, механічних впливів і тривалості перевезення. Для забезпечення безпечності таких товарів формується безперервний технологічний ланцюг, відомий як «cold chain» («холодний ланцюг»), що передбачає підтримання нормативного температурного режиму на всіх етапах обігу продукції — від виробника до кінцевого споживача. Його порушення створює загрози санітарній безпеці, що потребує застосування сучасних систем моніторингу, датчиків контролю температури, ізотермічної та холодильного обладнання.

Особливості логістики швидкопсувних вантажів включають:

- чутливість до часу (підвищена залежність від швидкості доставки та чітких графіків постачання);
- необхідність підтримання регламентованих умов перевезення (температура, вологість, чистота, вентиляція);
- високі вимоги до санітарно-гігієнічних стандартів;
- ризик втрати товарної вартості навіть за короточасного порушення норм;

- потребу у кваліфікованому персоналі та спеціалізованій техніці.

З метою оптимальної організації перевезень швидкопсувні вантажі класифікують залежно від їх природи, умов зберігання та температурних параметрів. Найпоширенішою є класифікація за температурними режимами:

1. Заморожені продукти ($-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ і нижче): м'ясо, риба, овочеві та кондитерські заморожені вироби.
2. Охолоджені товари ($+0\dots+7\text{ }^{\circ}\text{C}$): молочні вироби, м'ясні продукти, свіжі морепродукти.
3. Продукція з контрольованою температурою зберігання ($+8\dots+18\text{ }^{\circ}\text{C}$): хлібобулочні вироби, деякі фрукти, шоколад.
4. Живі біологічні вантажі (риба, квіти, саджанці), що потребують стабільного мікроклімату та мінімального стресу.
5. Фармацевтичні засоби та біоматеріали (від $+2$ до $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ залежно від препарату), що вимагають суворої відповідності стандартам GDP та GSP.

Таким чином, перевезення швидкопсувної продукції формує один із найбільш критичних напрямів сучасної логістики, де ключовим параметром виступає суворе дотримання температурного режиму на всіх етапах руху товару. Проведений аналіз підтверджує, що холодовий ланцюг є не просто технологічним процесом, а комплексною системою управління ризиками, яка прямо впливає на якість продукції, економічні показники та рівень довіри клієнтів.

Забезпечення стабільності температури та мінімізації «температурних шоків» дозволяє уникати втрати товарного вигляду, зменшувати обсяг списань та запобігати додатковим витратам. Безперервний телематичний контроль, використання рефрижераторного обладнання, IoT-технологій і процедур FEFO/FIFO забезпечує прозорість та керованість усіх етапів cold chain.

Результати показують, що впровадження сучасних цифрових інструментів — GPS-моніторингу, температурних сенсорів, систем оптимізації маршрутів та адаптивної доставки — підвищує точність логістичних операцій та дозволяє дотримуватися високих SLA у форматі «on-time, on-temperature».

Таким чином, ефективна організація холодового ланцюга забезпечує:
підвищення безпеки та якості продукції;
зниження фінансових ризиків і вартості списань;
зростання рівня сервісу та задоволеності клієнтів;
конкурентоспроможність логістичного оператора або ритейлу.

Отже, холодовий ланцюг виступає стратегічним елементом логістичної системи, де технологічна інтеграція, стандартизація операційних процесів та якісний контроль параметрів є ключем до стабільності, ефективності та безпеки транспортно-логістичної діяльності.

1.2. Вимоги до температурного режиму та холодового ланцюга

Перевезення швидкопсувної продукції є операційно-чутливим процесом, де ключовим фактором успіху виступає дотримання температурного режиму на всіх етапах руху товару. Невідповідність заданим параметрам призводить до фактичного зниження товарної якості, утворення списань і зростання операційних витрат. Таким чином, температура виступає критичним логістичним KPI, а контроль холодового ланцюга — інструментом управління ризиками.

Холодовий ланцюг (Cold Chain) визначається як безперервна система підтримки та контролю температури від моменту виробництва до передачі продукції кінцевому одержувачеві. Для логістичного оператора це означає повну відповідальність за збереження параметрів на етапах: складування → завантаження → транспортування → розвантаження → торговельна точка/споживач.

Основні бізнес-вимоги холодового ланцюга:

- **Точність температурного діапазону** для кожної категорії товару (наприклад, м'ясо 0...+4 °С, молочна продукція +2...+6 °С, заморожені товари ≤ -12 °С).
- **Безперервний контроль** через GPS-трекери, реєстратори температури, телематичні системи.
- **Мінімізація «температурних шоків»** під час завантаження/розвантаження.
- **Регламентована швидкість логістичних операцій** та обмеження перебування товару поза контрольованим середовищем.
- **Аварійні протоколи** (backup-маршрути, дублюючі авто, сигналізація відхилень температури).

Ключові ризики при порушенні режиму:

- утрата товарного вигляду та скорочення терміну реалізації;
- фінансові втрати від списань;
- репутаційні ризики для ритейлу чи логістичного оператора;
- підвищення скарг клієнтів і штрафних санкцій у B2B-контрактах;
- ризики для здоров'я споживачів у сегменті food & pharma.

Основні технологічні рішення холодового ланцюга:

Категорія	Приклади технологій
Холодильне обладнання	Рефрижераторні установки, ізотермічні кузови
Телеком-моніторинг	GPS/GLONASS, температурні сенсори, IoT-платформи
Контроль операцій	FIFO/FEFO, time-slot delivery, контроль завантаження
Адаптивна доставка	Route-optimization, ETA, dynamic rerouting

Метрики ефективності холодового ланцюга(KPI):

- % доставки без температурних порушень;
- середній температурний показник на маршруті;
- частка списань від обігу;
- час перебування товару поза температурною зоною;

Таким чином, перевезення швидкопсувної продукції формує один із найбільш критичних напрямів сучасної логістики, де ключовим параметром виступає суворе дотримання температурного режиму на всіх етапах руху товару. Проведений аналіз підтверджує, що холодовий ланцюг є не просто технологічним процесом, а комплексною системою управління ризиками, яка прямо впливає на якість продукції, економічні показники та рівень довіри клієнтів.

Забезпечення стабільності температури та мінімізації «температурних шоків» дозволяє уникати втрати товарного вигляду, зменшувати обсяг списань та запобігати додатковим витратам. Безперервний телематичний контроль, використання рефрижераторного обладнання, IoT-технологій і процедур FEFO/FIFO забезпечує прозорість та керованість усіх етапів холодового ланцюга.

Результати показують, що впровадження сучасних цифрових інструментів — GPS-моніторингу, температурних сенсорів, систем оптимізації маршрутів та адаптивної доставки — підвищує точність логістичних операцій та дозволяє дотримуватися високих стандартів у форматі «on-time, on-temperature».

Таким чином, ефективна організація холодового ланцюга забезпечує:

- підвищення безпеки та якості продукції;
- зниження фінансових ризиків і вартості списань;
- зростання рівня сервісу та задоволеності клієнтів;
- конкурентоспроможність логістичного оператора або ритейлу.

Отже, cold chain виступає стратегічним елементом логістичної системи, де технологічна інтеграція, стандартизація операційних процесів та якісний контроль параметрів є ключем до стабільності, ефективності та безпеки транспортно-логістичної діяльності.

1.3. Види рефрижераторних транспортних засобів

Ефективність доставки швидкопсувних вантажів значною мірою залежить від правильно підбраної конфігурації транспортних засобів. Рефрижераторний автопарк — це не лише холодильні вантажівки, а ціла система мобільних рішень, які забезпечують контроль температури на всіх етапах переміщення товару. У практиці холодної логістики використовують декілька категорій транспортних засобів, які відрізняються технічними можливостями, експлуатаційною економікою, класами температурної підтримки та сценаріями використання.

Таблиця 1.1. Основні типи холодного транспорту

Тип транспорту	Характеристика	Типові кейси використання	Температурний діапазон
Ізотермічні авто	Теплоізоляційний кузов без активного охолодження	Локальна дистрибуція короткі маршрути	підтримання +2...+18 °С при стабільній погоді
Рефрижератори (одноконтурні)	Охолодження/заморозка одного відсіку	Супермаркети, HoReCa, Food-delivery	-20 °С...+7 °С
Рефрижератори (двоконтурні/мультизональні)	Окремі температурні зони в одному авто	Доставка змішаних вантажів (м'ясо, молоко, овочі одночасно)	-20 °С...+15 °С у різних відсіках
Фургони-рефрижератори малого класу	Легкові авто з холодильними установками	e-commerce, експрес-доставка, фармацевтика, dark-stores	+2...+8 °С або -18 °С
Термоконтейнери / термобокси	Пасивне охолодження + гелеві акумулятори холоду	Остання миля, доставка до торгових залів, заміна під час пікових навантажень	+2...+8 °С або замороження

Таблиця 1.2. Стратегічні критерії вибору рефрижераторного транспорту

Параметр	Бізнес-акцент
Маршрутна модель	міська дистрибуція / міжміські поставки / міжнародні рейси
Структура вантажу	моновантаж / мультитемпературні поставки
ТСО (Total Cost of Ownership)	паливо, сервіс, амортизація, холодильна установка
Гнучкість	можливість адаптації під сезонні пікові обсяги
Енергоефективність	прямий вплив на собівартість холодового ланцюга
ІоТ-моніторинг	інтеграція з TMS/WMS

1.4. Нормативно-правові вимоги до перевезень швидкопсувних товарів

Організація перевезень швидкопсувних вантажів у сучасних умовах ґрунтується на дотриманні комплексу міжнародних і національних нормативно-правових актів, які регламентують вимоги до безпеки, санітарії, температурного режиму, транспорту та персоналу. Дотримання цих вимог є обов'язковою умовою забезпечення якості продукції на всіх етапах логістичного ланцюга – від виробника до кінцевого споживача.

Міжнародно-правове регулювання. Базовим документом, що визначає технічні вимоги до транспортування швидкопсувних вантажів у міжнародному сполученні, є Угода про міжнародні перевезення швидкопсувних продовольчих продуктів та про спеціальне обладнання, призначене для таких перевезень (АТР), ухвалена Європейською економічною комісією ООН у 1970 році. Україна приєдналася до цієї угоди у 2002 році, що забезпечило узгодження технічних стандартів рефрижераторного транспорту з європейськими нормами.

Відповідно до положень АТР, транспортні засоби, що перевозять швидкопсувні товари, повинні бути обладнані:

ізотермічними кузовами з відповідним коефіцієнтом теплопередачі;

холодильними або обігрівальними установками, які підтримують задану температуру (від $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $+12\text{ }^{\circ}\text{C}$ залежно від виду продукції);

засобами контролю та реєстрації температури (термографи, датчики IoT).

Крім АТР, у міжнародній практиці застосовуються також вимоги Кодексу Аліментаріус (Codex Alimentarius), що регламентує санітарно-гігієнічні норми при поводженні з харчовими продуктами, а також Директива ЄС № 92/1/ЕЕС, яка встановлює обов'язковість термоконтролю під час транспортування охолоджених та заморожених харчів. Для перевезення фармацевтичної продукції діють стандарти Good Distribution Practice (GDP) та Good Manufacturing Practice (GMP), які встановлюють вимоги до транспортування лікарських засобів у контрольованих температурних умовах ($2-8\text{ }^{\circ}\text{C}$ або $15-25\text{ }^{\circ}\text{C}$). Порухення цих режимів може призвести до втрати якості препарату, тому контроль здійснюється як на рівні логістичного оператора, так і регуляторними органами.

Національне правове забезпечення в Україні. На території України перевезення швидкопсувних товарів регулюється низкою законодавчих і нормативних актів, серед яких.

Закон України «Про автомобільний транспорт» № 2344-III від 5 квітня 2001 р., який визначає загальні вимоги до організації перевезень вантажів автомобільним транспортом, у тому числі з дотриманням санітарних норм;

Правила перевезень вантажів автомобільним транспортом в Україні, затверджені наказом Міністерства транспорту № 363 від 14.10.1997 р.;

Державні санітарні норми та правила ДСанПіН 145-2012, що регламентують температурні режими та вимоги до перевезення харчових продуктів;

ДСТУ EN 12830:2019 – «Реєстратори температури для транспортування, зберігання та розподілу охолоджених, заморожених, глибокозаморожених харчових продуктів»;

ДСТУ ISO 22000:2019 – «Системи управління безпечністю харчових продуктів» (аналог міжнародного стандарту HACCP);

Наказ МОЗ України № 1139 від 06.12.2011 р. «Про затвердження Порядку забезпечення якості лікарських засобів під час їх зберігання та транспортування».

Також контроль здійснюють Державна служба України з питань безпечності харчових продуктів та захисту споживачів (Держпродспоживслужба) і Державна служба України з лікарських засобів та контролю за наркотиками (Держлікслужба).

Вимоги до транспорту та персоналу. Транспортні засоби, що використовуються для перевезення швидкопсувних вантажів, повинні проходити технічний контроль і мати сертифікат відповідності вимогам АТР. Для підприємств, таких як ТОВ «Нова Пошта Глобал», це означає регулярну перевірку ізотермічності кузовів, калібрування датчиків температури, наявність систем GPS-моніторингу та електронного звітування про умови транспортування.

Водії та експедитори, які залучаються до таких перевезень, повинні пройти спеціальне навчання з питань гігієни харчових продуктів і правил холодового ланцюга. Компанія несе відповідальність за підтримання належного санітарного стану транспортних засобів і контейнерів, а також за правильність документального оформлення супровідних сертифікатів і журналів температурного контролю.

Нормативно-правове регулювання перевезення швидкопсувних товарів вимагає суворого дотримання міжнародних стандартів АТР, HACCP, GMP і GDP у поєднанні з національними актами. В умовах інтеграції України до європейського ринку саме відповідність цим стандартам забезпечує конкурентоспроможність українських логістичних компаній, зокрема ТОВ «Нова Пошта Глобал». Дотримання правових норм є не лише вимогою безпеки, а й важливим чинником підвищення якості сервісу, мінімізації втрат продукції та підвищення ефективності транспортного процесу.

1.5. Транспортний процес та його параметри

У ході дослідження мною встановлено, що транспортний процес у логістиці швидкопсувних вантажів формується як комплексна система організаційно-технологічних операцій, ефективність яких визначає можливість забезпечення цілісності товару та стабільність функціонування холодового ланцюга. Аналіз функціонування компаній, що здійснюють перевезення продукції з обмеженим терміном зберігання, засвідчив тісну взаємодію технічних, часових та економічних параметрів, які формують реальні результати транспортної діяльності.

У процесі дослідження з'ясовано, що зміст транспортного процесу проявляється не стільки в окремих діях із переміщення вантажу, скільки в узгодженості етапів, які забезпечують цілісний логістичний цикл. На підготовчій стадії формуються передумови стабільного перевезення: визначаються маршрути, режим транспортування, можливості застосування спеціалізованого транспорту. Подальший аналіз експлуатаційних даних свідчить, що саме якість підготовчого етапу визначає рівень відхилень на етапі реального перевезення.

Під час безпосереднього транспортування ключове значення мають показники стабільності холодового середовища, швидкості та ритмічності руху. У своїх дослідженнях я спостерігала, що навіть короточасні відхилення параметрів можуть зумовити суттєве погіршення товарних властивостей, а в окремих випадках — повну втрату товарної придатності. Це підтверджується як практичними звітами операторів рефрижераторних перевезень, так і результатами аналізу температурних графіків, одержаних через телематичні системи.

Завершальна стадія транспортного процесу, яка охоплює розвантажувальні операції та передання вантажу одержувачу, у моєму дослідженні розглядається не лише як логічне завершення маршруту, а як

елемент загальної системи контролю. Саме тут формується підтвердження відповідності фактичних умов транспортування нормативно встановленим параметрам, що є фундаментом для подальшого аналізу ефективності логістичної діяльності підприємства.

У межах проведеної роботи параметри транспортного процесу аналізуються як показники, що відображають реальний стан логістичного забезпечення. Часові характеристики дають можливість оцінити ритмічність доставки та стабільність виконання графіків. Технічні параметри, зокрема температурні профілі та рівень завантаження транспортних засобів, дозволяють визначити відповідність технологічних операцій вимогам до збереження швидкопсувної продукції. Економічні показники свідчать про рівень раціональності використання ресурсів і формують основу для подальших оптимізаційних розрахунків.

Особливу увагу приділено маршрутам транспортування, оскільки дослідження показало, що їх оптимальність визначає не лише часові витрати, а й стабільність температурного режиму, обсяг спожитого палива та загальний рівень операційних витрат. Саме маршрути і їх параметризація забезпечують можливість інтеграції транспортного процесу в модель транспортної задачі, що подана у наступних розділах роботи.

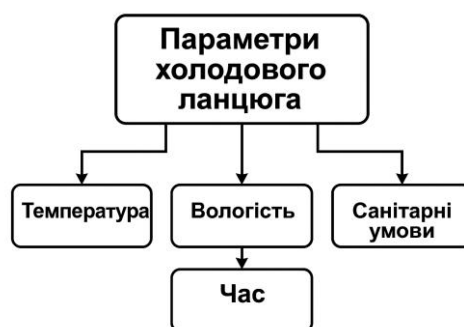


Рис.1.1. Параметри холодового ланцюга

Узагальнюючи результати проведеного аналізу, можемо стверджувати, що транспортний процес при перевезенні швидкопсувних вантажів виступає

динамічною системою, ефективність якої визначається сукупністю параметрів, взаємозв'язок між якими має принципово важливе значення. Саме ці параметри формують підґрунтя для моделювання процесів доставки й подальшого обґрунтування оптимізаційних рішень, що становить основу прикладної частини мого дослідження.

У ході проведеного дослідження було встановлено, що формування ефективного холодового ланцюга безпосередньо залежить від здатності транспортної системи підтримувати оптимальні режими перевезення. Для швидкопсувних вантажів ці режими є не просто технологічною вимогою, а ключовим чинником збереження безпечності й цілісності продукції протягом усього логістичного циклу. Результати аналізу свідчать, що будь-які коливання температури, вологості або тривалості транспортування одразу відбиваються на якості товару та економічних показниках оператора. У межах роботи виділено декілька груп режимів, які формують основу сучасної холодової логістики.

1. Режим глибокого заморожування ($-25\dots-18^{\circ}\text{C}$). Цей температурний діапазон застосовується для продукції, що потребує максимальної стабільності умов зберігання. Йдеться насамперед про м'ясу та рибну сировину, морепродукти та продукти тривалого заморожування. Аналіз практики транспортних компаній показав, що найменші коливання в цьому діапазоні можуть спричинити утворення кристалів льоду чи повторне заморожування, що погіршує структуру та органолептичні властивості продукції. Тому транспорт обладнується автономними холодильними модулями з високою точністю контролю.

2. Заморожений режим ($-12\dots-8^{\circ}\text{C}$). Цей режим призначений для товарів, які менш чутливі до температурних коливань, але потребують стабільного охолодження. До такої продукції належать заморожені овочі, ягоди, кондитерські вироби та напівфабрикати. У процесі дослідження було встановлено, що для цього режиму критичною є мінімізація теплових втрат під

час відчинення кузова, тому логістичні операції мають бути максимально швидкими й технологічно злагодженими.

3. Охолоджений режим (+2...+8 °C). На основі аналізу статистичних даних було визначено, що саме цей діапазон є найбільш поширеним у холодовій логістиці. Охолодження у межах зазначених температур забезпечує уповільнення біохімічних і мікробіологічних процесів для широкого спектра продуктів — від молока й м'яса до овочів та фруктів. В межах дослідження підтверджено, що навіть одноденне підвищення температури вище +8 °C зменшує строк придатності продукції в середньому на 20–40 %, залежно від її виду.

4. Спеціалізовані режими для фармацевтичних вантажів. Фармацевтична продукція, а також біологічні препарати потребують транспортування в умовах суворого контролю температури, що передбачено нормами GDP та GMP. У межах дослідження встановлено два основних діапазони:

+2...+8 °C — для вакцин, гормональних препаратів, інсулінів;

+15...+25 °C — для значної частини готових лікарських форм.

Під час аналізу маршрутів фарм-логістики було виявлено, що компанії використовують комбіновані системи контролю: телематику, калібровані датчики та термобокси з автономними охолоджуючими елементами, що гарантує незмінність режиму навіть у непередбачуваних умовах

5. Транспортування в модифікованій або контрольованій атмосфері. Застосовується для продукції, якій необхідно зберегти природні властивості впродовж тривалого транспортування — фруктів, ягід, зелені. У такому середовищі створюється специфічний газовий баланс (CO₂, O₂, N₂), який гальмує процеси дозрівання та дихання рослинної продукції. Під час дослідження було зафіксовано, що застосування КА/МА дозволяє збільшити термін придатності на 30–60 % порівняно з традиційними охолодженими режимами.

6. Режим для живої продукції. Перевезення живої риби, молюсків або ракоподібних потребує спеціального обладнання, здатного забезпечувати

стабільну температуру, аерацію або циркуляцію води. У ході аналізу практик підприємств було виявлено, що від цього режиму залежить не лише товарний стан, а й рівень біологічної безпеки.

Проведене дослідження підтверджує, що режими транспортування є фундаментальним елементом холодового ланцюга. Їх дотримання забезпечує: збереженість продукції на всіх етапах руху, мінімізацію мікробіологічних і хімічних ризиків, підвищення ефективності логістичної системи, зменшення втрат і витрат для підприємства.

Таким чином, різноманіття режимів транспортування формує підґрунтя для подальшої побудови оптимізаційних моделей у межах магістерського дослідження, зокрема -для обґрунтування вибору маршруту, типу транспорту та технології збереження.

1.6. Методи оптимізації транспортних рішень

У процесі логістичного дослідження мною встановлено, що ефективність управління транспортними потоками значною мірою залежить від здатності підприємства враховувати багатофакторність перевізного процесу та застосовувати інструменти оптимізації. Різноманіття методів дає змогу формувати такі транспортні рішення, які забезпечують мінімальні витрати, скорочення часу доставки, підвищення надійності маршрутів та раціональне використання ресурсів. У цьому підрозділі систематизовано основні класичні та сучасні підходи до оптимізації, які застосовуються при плануванні перевезень швидкопсувної продукції.

1.6.1. Постановка транспортної задачі (ТЗ).

У ході дослідження було визначено, що транспортна задача є базовою моделлю оптимізації процесу перевезень, яка дозволяє встановити економічно доцільний план розподілу вантажів між пунктами відправлення та пунктами призначення. Її використання є доцільним у випадку, коли

потрібно забезпечити мінімізацію сукупних витрат на транспортування за умови, що обсяги доступних ресурсів та потреб є відомими.

Постановка транспортної задачі дає можливість аналітично оцінити структуру перевізного процесу, виявити надлишкові або дефіцитні елементи, а також сформувавши математичну основу для подальшої оптимізації рішення шляхом застосування точних або евристичних методів.

1.6.2. Метод наближених оцінок Вогеля (VAM)

Метод Вогеля, у результатах мого аналізу, показує себе як один із найбільш ефективних способів формування початкового опорного рішення транспортної задачі. Його сутність полягає в тому, що на кожному етапі обирається постачальник або споживач з найбільшою “штрафною вартістю”, тобто різницею між двома найменшими тарифами. Такий підхід дозволяє швидко формувати план розподілу, який суттєво ближчий до оптимального, ніж той, що отриманий методом північно-західного кута чи методом найменшої вартості. Під час моделювання було встановлено, що VAM зменшує кількість ітерацій на етапі роботи з методом потенціалів, а отже — скорочує загальні витрати на розрахунок і дає можливість швидше визначити оптимальний план перевезень.

1.6.3. Метод потенціалів

Метод потенціалів (MODI) використовується мною як інструмент перевірки оптимальності отриманого рішення та подальшого удосконалення плану транспортування. Його застосування є критично важливим при роботі з перевезеннями швидкопсувної продукції.

Таблиця 1.3. Порівняльна характеристика методів оптимізації транспортних рішень

Метод	Призначення	Переваги	Недоліки	Сфера застосування
Постановка транспортної задачі (ТЗ)	Формування оптимального плану розподілу вантажів між пунктами відправлення та призначення	Дає математично обгрунтоване рішення; забезпечує мінімізацію витрат; дозволяє чітко планувати обсяги перевезень	Підходить лише для статичних задач; не враховує часові вікна, трафік та динаміку попиту	Базова оптимізація маршрутів доставки; аналіз витрат; планування централізованого розподілу
Метод наближених оцінок Вогеля (VAM)	Швидке формування початкового опорного плану для подальшої оптимізації	Початкове рішення наближене до оптимального; зменшує кількість ітерацій MODI; працює швидко на великих таблицях	Не гарантує абсолютної оптимальності; складніший, ніж NWC	Початкове планування; прискорення розрахунків транспортної задачі
Метод потенціалів (MODI)	Перевірка оптимальності та покращення плану транспортної задачі	Забезпечує точне оптимальне рішення; дозволяє удосконалювати будь-який базовий план	Потребує правильного стартового опорного плану; складний при великій кількості клітин	Остаточна оптимізація транспортних витрат; аналіз альтернативних рішень
Моделі VRP (Vehicle Routing Problem)	Оптимізація маршрутів з урахуванням множини клієнтів, обмежень і часових вікон	Дозволяють враховувати динаміку, часові вікна, завантаження, пріоритети; можливість застосування різних алгоритмів	NP-складність; потребують обчислювальних ресурсів; аналітичне рішення часто недоступне	Логістика швидкопсувних продуктів, кур'єрські служби, багатоточкові маршрути
Алгоритм мурашиної логістики (ACO)	Пошук найкращого маршруту через імітацію колективної поведінки мурах	Висока гнучкість; самонавчання; ефективність у складних мережах; знаходить рішення там, де класичні методи «ламаються»	Не гарантує глобального оптимуму; чутливість до налаштувань параметрів; можливі локальні мінімуми	Велика кількість точок доставки, динамічні системи, розподільчі центри, складні мережеві граfi

У ході дослідження встановлено, що зазначені методи суттєво відрізняються за своїм призначенням, математичним апаратом та сферою застосування. Класичні методи (ТЗ, VAM, MODI) показують високу ефективність у стабільних умовах із фіксованими обсягами попиту та пропозиції. Вони є основою для аналітичних розрахунків і застосовуються як у теоретичній частині роботи, так і для формування базових логістичних рішень.

Моделі VRP та алгоритми АСО належать до евристичних підходів, які забезпечують ефективність у складних і динамічних системах. У логістиці швидкопсувних вантажів це особливо важливо, оскільки маршрути повинні адаптуватися до часових вікон, температурних обмежень та реальних умов руху.

Узагальнення результатів дослідження дозволило встановити, що застосування методів оптимізації залежить від складності та динамічності транспортної системи. Класичні підходи (ТЗ, VAM, MODI) демонструють високу ефективність при статичних умовах, коли потрібно мінімізувати витрати. Натомість VRP та АСО забезпечують значно ширші можливості для реальних логістичних систем, які працюють у невизначеному і змінному середовищі. Особливо це актуально для перевезення швидкопсувної продукції, де маршрути повинні адаптуватися до температурних режимів, часових обмежень та операційних ризиків.

Висновки до 1 розділу

У процесі дослідження теоретичних засад організації перевезень швидкопсувних вантажів було встановлено, що ефективність транспортного процесу формується під впливом низки взаємопов'язаних чинників, серед яких ключову роль відіграють характеристики вантажу, специфіка холодового ланцюга, технічний стан транспортних засобів та застосування науково обґрунтованих методів оптимізації. Аналіз нормативно-правової бази засвідчив, що система регулювання перевезень швидкопсувної продукції є комплексною і включає поєднання міжнародних стандартів (АТР, Codex Alimentarius,

GMP/GDP) та національних вимог, що визначають технічні, санітарні і технологічні параметри транспортування.

У ході розгляду транспортного процесу було з'ясовано, що його структура виходить за межі звичайного переміщення товарів і охоплює підготовчі, операційні та завершальні дії, кожна з яких має вирішальний вплив на збереженість вантажу. Особливе значення мають температурний режим, час перебування у дорозі, якість холодильного обладнання та точність моніторингу умов транспортування. Саме ці параметри визначають здатність транспортної системи забезпечувати сталість умов холодового ланцюга.

Дослідження режимів перевезення показало, що продукція різних груп потребує специфічних умов: від глибокого заморожування до контрольованої атмосфери. Порушення встановлених режимів призводить до зниження якості, прискорення мікробіологічних процесів та зростання економічних збитків. Це підтверджує, що правильний вибір режиму транспортування є фундаментальною передумовою формування ефективних логістичних рішень. У межах аналізу методів оптимізації встановлено, що найбільш раціональні транспортні рішення формуються шляхом поєднання класичних математичних моделей (ТЗ, VAM, MODI) та сучасних алгоритмічних підходів (VRP, ACO). Класичні методи дозволяють мінімізувати витрати за умов стабільних параметрів системи, тоді як евристичні та інтелектуальні алгоритми є ефективними у складних та динамічних умовах, притаманних перевезенню швидкопсувної продукції.

Таким чином, теоретичний аналіз, представлений у цьому розділі, сформував концептуальну основу для подальшої практичної частини дослідження. Отримані результати підтверджують, що системний підхід до планування та оптимізації транспортного процесу є ключем до підвищення ефективності логістичних операцій і забезпечення високої якості швидкопсувних вантажів у реальних умовах функціонування підприємства.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ЛОГІСТИЧНОЇ ДІЯЛЬНОСТІ ТОВ «ФОЗЗІ-ЛОГІСТИК»

2.1. Організаційно-економічна характеристика підприємства

ТОВ «Фоззі-Логістик» є одним із ключових логістичних операторів в Україні, що забезпечує централізоване управління товарними потоками у структурі Fozzy Group — однієї з найбільших торговельно-виробничих груп країни. Підприємство формує логістичну основу діяльності холдингу, забезпечуючи ефективну взаємодію між постачальниками, виробничими підрозділами та багатоформатними торговельними мережами. Масштаб діяльності компанії та складність її логістичних процесів визначають стратегічне значення підприємства у національній системі розподільчої логістики.

Організаційна модель ТОВ «Фоззі-Логістик» побудована за принципом інтегрованої логістичної системи, у межах якої функціонують підрозділи складської логістики, транспортної логістики, управління запасами, планування постачання, контролю якості та ІТ-супроводу логістичних операцій. Така структура забезпечує високу керованість і швидкість прийняття рішень, що є критично важливим при роботі з великими обсягами швидкопсувної продукції та широким асортиментом товарів непродовольчої групи.

Економічна діяльність підприємства характеризується високим рівнем операційної інтенсивності. «Фоззі-Логістик» експлуатує мережу дистрибуційних центрів різних типів — від складів сухого зберігання до спеціалізованих холодильних та морозильних комплексів. Сукупна площа логістичної інфраструктури становить сотні тисяч квадратних метрів, що дозволяє забезпечити безперервність товаропостачання для десятків тисяч торговельних точок. Складські комплекси підприємства оснащені сучасними WMS-системами, технологіями адресного зберігання, автоматизованими зонами комплектування та крос-докінговими майданчиками, що значно скорочує логістичний цикл.

Важливою економічною особливістю діяльності підприємства є мультиформатність логістичного обслуговування. Компанія здійснює

постачання для супермаркетів, преміальних магазинів, магазинів біля дому та інших форматів роздрібної торгівлі, що зумовлює потребу в гнучкому управлінні товарними потоками та адаптації логістичних сценаріїв до різних моделей попиту. Такий підхід потребує високого рівня точності в прогнозуванні, раціональному формуванні партій відбору та ефективному управлінні транспортними ресурсами.

Транспортна складова діяльності підприємства включає парк автомобільної техніки різних вантажопідйомностей і температурних режимів. Використання спеціалізованих рефрижераторних автомобілів, систем GPS-моніторингу, телематики холодильних установок і автоматизованих TMS-рішень забезпечує контроль швидкопсувних товарів на всіх етапах доставлення. Підприємство активно застосовує сучасні алгоритми маршрутизації, що дозволяє оптимізувати завантаження транспорту та забезпечувати виконання графіків доставки в умовах високої щільності розподільної мережі.

Економічні результати діяльності ТОВ «Фоззі-Логістик» формуються за рахунок ефективної інтеграції логістичних, інформаційних та технічних ресурсів. Компанія впроваджує цифрові рішення для моніторингу KPI, аналізу витрат, управління запасами та синхронізації логістичних операцій у масштабах холдингу. Сукупність цих факторів забезпечує підприємству стійкі конкурентні позиції на ринку логістичних послуг та дозволяє утримувати високі стандарти обслуговування торговельних мереж.



Рис.2.1. Організаційно-економічна характеристика ТОВ «Фоззі-Логістик»

Таким чином, організаційно-економічна характеристика ТОВ «Фоззі-Логістик» свідчить про сформовану та ефективно функціонуючу логістичну систему, здатну забезпечувати безперебійні поставки широкого асортименту товарів у масштабах національної дистрибуції. Гнучкість, технологічна оснащеність та інтеграція логістичних процесів визначають високий рівень конкурентоспроможності підприємства та створюють основу для подальшого детального аналізу його транспортної логістики.

2.2. Структура логістичної мережі та складів

Fozzy Group є однією з найбільших торговельно-промислових корпорацій України, логістична система якої охоплює масштабну мережу дистрибуційних центрів, виробничих підприємств, транспортних хабів і розгалужену інфраструктуру забезпечення роздрібних торгових форматів (Сільпо, Fozzy Cash&Carry, Фора, Thrash!, Le Silpo, аптечні мережі). Логістична мережа компанії побудована за принципами централізованого управління потоками, інтеграції складських і транспортних операцій та широкого використання цифрових технологій планування й контролю.

Ключовою особливістю логістики Fozzy Group є багаторівнева архітектура постачання, що включає:

центральні дистрибуційні центри (ЦДЦ) загальнонаціонального масштабу;
регіональні склади для оптимізації термінів і витрат транспортування;
виробничо-логістичні комплекси, які поєднують процеси виготовлення продукції та її експедиції;

власну транспортну інфраструктуру, здатну забезпечувати доставку у форматі multi-drop;

інформаційні платформи управління запасами та маршрутами, інтегровані з торговими мережами.

Багатокомпонентна структура дає змогу компанії забезпечувати високу надійність поставок, ефективно реагувати на зміни попиту й підтримувати конкурентні ціни за рахунок оптимізації логістичних витрат.

Логістична система Fozzy Group складається з кількох взаємопов'язаних елементів, які формують повний цикл руху товару: від постачальника — до полиці магазину.

1. Центральні дистрибуційні центри (ЦДЦ)

Ці об'єкти виконують функцію основних хабів обробки товарообороту. Вони спеціалізуються за товарними групами (сухі продукти, фреш-група, заморожена продукція, алкоголь, непродовольчі товари), а також інтегрують:

зони приймання із системами швидкої ідентифікації товарних партій;
високостелажні склади з радіоадресним керуванням;
автоматизовані системи комплектації замовлень;
сортувальні лінії для розподілу продукції за точками доставки.

Розташування центральних складів обирається з урахуванням транспортної доступності, міжрегіональних потоків і близькості до магістральних автодоріг.

2. Регіональні дистрибуційні хаби

Регіональні склади відіграють роль проміжної ланки між центральними центрами та магазинами. Їхні ключові функції:

скорочення транспортного плеча;

забезпечення оперативної доставки «останньої милі»;
зниження навантаження на центральні комплекси;
стабілізація запасів з урахуванням локального попиту.

Особливість моделі Fozzy Group полягає у поступовому переході до концепції “**near-store warehouses**”, коли регіональні склади розташовані максимально близько до агломерацій зі значною концентрацією магазинів.

3. Виробничо-логістичні комплекси

До складу групи входять власні виробничі підприємства (м'ясопереробка, рибопереробка, кулінарні цехи, хлібопекарні, фабрики з виробництва напівфабрикатів). Логістика інтегрована в їхні технологічні цикли: продукція з виробництва негайно передається у фреш-центри або холодильні склади, мінімізуючи час простою та забезпечуючи найкращий температурний режим.

4. Транспортна мережа

Компанія використовує змішану модель перевезень:

власний автопарк для регулярних, високочастотних поставок;
залучений транспорт — для пікових навантажень і спецдоставок.

Особливу роль виконують рефрижераторні транспортні засоби, обладнані системами контролю температури та GPS-моніторингу. Маршрути формуються з урахуванням:

ETA-аналізу,
часових «вікон» магазину,
товарної спеціалізації транспортного засобу,
оптимізації багатоточкової доставки.

Складська інфраструктура Fozzy Group багаторівнева і спеціалізована. Вона включає кілька функціональних кластерів, які працюють у єдиному логістичному середовищі.

Склади сухих продовольчих товарів. Ці склади мають найбільшу площу та висоту зберігання, оскільки обслуговують великі обсяги товарів із тривалим терміном придатності. Основні технологічні рішення: тисячі палетомісць у

стелажних системах; радіотермінали для контролю переміщень; зонування за ABC/XYZ-критеріями; наскрізна система фіксації руху товару у WMS.

Холодильні та морозильні комплекси. Фреш-центри Fozzy Group оснащені сучасними агрегатами підтримання температурних режимів від +2 °С до –25 °С. Завдання таких складів: приймання і шокове охолодження продукції; розподіл за групами короткострокового зберігання; підтримання безперервності «холодного ланцюга».

Обов'язковими є системи CO₂-моніторингу, електронні журнали температур і незалежні модулі аварійного живлення.

Склади непродовольчих товарів. Вони мають широку номенклатуру SKU, що вимагає додаткового сортувального устаткування, підвісних систем зберігання, автоматизованих зон підготовки онлайн-замовлень та блоків для великих габаритів.

Крос-докінгові термінали. Застосовуються переважно для «швидких» товарних потоків. На таких об'єктах товар: прибуває від постачальника, не розміщується на склад, одразу подається на відвантаження у магазини. Це зменшує час циклу постачання та складські витрати.

Цифрова інфраструктура логістичної мережі. Fozzy Group активно впроваджує інструменти цифрової логістики, що дозволяють управляти складними потоками у реальному часі. Серед ключових цифрових рішень:

WMS (Warehouse Management System) — автоматизація всіх складських операцій;

TMS (Transport Management System) — планування маршрутів та управління доставкою;

ERP — інтеграція з постачальниками, закупівлями і фінансовими модулями;

ВІ-платформи — аналітика продажів, прогнозування попиту, оптимізація запасів;

системи IoT і телематики — контроль температури, відстеження руху;

RFID-ідентифікація для підвищення точності комплектації.

Інтеграція цих систем у єдиний цифровий контур забезпечує прозорість ланцюга постачання, мінімізує людський фактор та підвищує швидкість обробки товарних потоків.

Логістична модель розподілу товарів. Модель розподілу Fozzy Group базується на принципах: централізованої закупівлі, регулярного відвантаження малими партіями, регіональної диференціації поставок, комбінування крос-докінгу та класичного зберігання, маршрутизації multi-drop та milk-run. Завдяки цьому компанія підтримує баланс між логістичними витратами та високим рівнем сервісу для кінцевого покупця.

Таблиця 2.1. Логістична інфраструктура Fozzy Group за містами України

Місто / Регіон	Типи логістичних об'єктів та функції
Київ та Київська область (Київ, Бровари, Бориспіль, Біла Церква)	<ul style="list-style-type: none"> • Центральні дистрибуційні центри (сухі товари, фреш, холодіві склади) • Виробничо-логістичні комплекси (м'ясний, рибний, кулінарний, кондитерський) • Транспортні хаби та крос-докінгові термінали • Складські потужності для мереж “Сільпо”, “Фора”, Fozzy Cash&Carry
Львів	<ul style="list-style-type: none"> • Регіональний дистрибуційний склад • Фреш-центр для швидкокопсувних товарів • Логістичний хаб для Сільпо, Фора, Thrash! у Західній Україні
Одеса	<ul style="list-style-type: none"> • Холодові склади (риба та охолоджена продукція) • Крос-докінг для швидких потоків • Зони для непродовольчих товарів
Харків	<ul style="list-style-type: none"> • Склад FMCG-асортименту • Централізований фреш-центр • Транспортно-сортувальний майданчик • Регіональний центр логістики Сходу України
Дніпро	<ul style="list-style-type: none"> • Логістичний центр для центрально-східного регіону • Приймання товарів від постачальників • Формування змішаних партій доставки • Підтримання регіональних запасів

Місто / Регіон	Типи логістичних об'єктів та функції
Запоріжжя	<ul style="list-style-type: none"> • Склад сухого зберігання • Зони підготовки товарів широкого вжитку • Транспортно-експедиційний блок
Вінниця	<ul style="list-style-type: none"> • Склад продовольчого та аграрного спрямування • Зберігання круп, борошна, бакалії • Забезпечення магазинів Центральної України
Тернопіль	<ul style="list-style-type: none"> • Регіональний розподільчий центр • Підтримка поставок у центрально-західному регіоні
Полтава	<ul style="list-style-type: none"> • Резервний логістичний хаб • Доставка товарів до малих міст Центральної України
Рівне та Луцьк	<ul style="list-style-type: none"> • Локальні склади та транспортні хаби • Оптимізація навантаження Львівського центру • Забезпечення прикордонних районів

Таблиця 2.2. Огляд географічної моделі Fozzy Group (узагальнення)

Рівень мережі	Характеристика
Центральний кластер	Київ – головний логістичний та виробничий центр корпорації
Регіональні ядра	Львів, Одеса, Харків, Дніпро – основні точки перерозподілу товарів
Локальні склади	Полтава, Вінниця, Тернопіль, Рівне, Луцьк – регіональна підтримка, крос-докінг, короткі доставки

Таблиця 2.3. Переваги такої структури

Показник	Результат для логістики
Скорочення транспортного плеча	Зменшення витрат на доставку, швидші маршрути
Оптимізація термінів доставки	Стабільне поповнення магазинів навіть у пікові періоди
Гнучкість перевантажень	Можливість швидкої зміни маршрутів у кризових умовах

Показник	Результат для логістики
Рівномірне покриття України	Високий рівень сервісу для всієї мережі Fozzy Group

Логістична мережа та складська інфраструктура Fozzy Group є прикладом добре структурованої, масштабованої та технологічно розвиненої системи розподілу. Компанія формує багаторівневу модель управління товарами, що поєднує сучасні складські комплекси, холодіві потужності, розгалужену транспортну систему й інформаційні технології нового покоління.

Інтеграція складських, транспортних і виробничих процесів у єдину логістичну екосистему забезпечує:

- високу швидкість оновлення запасів;
- стабільність поставок у різних регіонах країни;
- мінімізацію витрат на логістичні операції;
- гнучкість у реагуванні на ринкові зміни;
- підтримку конкурентоспроможності торговельної мережі.

Таким чином, логістична мережа Fozzy Group виступає стратегічною основою ефективності всієї корпорації та є ключовим елементом її бізнес-моделі.

2.3. Аналіз транспортного парку компанії

Ефективність логістичної системи Fozzy Group значною мірою визначається можливостями власного транспортного парку, який забезпечує стабільну і безперервну роботу всіх торговельних форматів корпорації. В умовах масштабної регіональної мережі супермаркетів та високої інтенсивності вантажообігу власний автопарк виступає ключовим ресурсом для забезпечення своєчасного поповнення запасів, підтримання холодового ланцюга та оптимізації витратних статей логістики. а наявними публічними даними, на окремому етапі функціонування Fozzy Group володіла рухомим складом обсягом

592 вантажних автомобілі, що є одним із найбільших корпоративних автопарків у сфері роздрібної торгівлі України.

Такий масштаб дає змогу компанії здійснювати більшість логістичних операцій незалежно від сторонніх перевізників, що підвищує операційну стійкість та контроль над ключовими потоками. Склад автопарку формується за принципом функціональної спеціалізації, тобто кожна категорія транспортних засобів відповідає певному виду продукції, умовам її перевезення та дальності доставки. Транспортний парк Fozzy Group характеризується комплексною структурою, що поєднує магістральну техніку, спеціалізовані рефрижераторні автомобілі та окремий підрозділ вантажівок для аграрних перевезень. Масштаб автопарку, який у певний період становив 592 одиниці вантажних транспортних засобів, забезпечує високу автономність логістики та значну операційну мобільність.

Таблиця 2.4. Структура транспортного парку Fozzy Group

Категорія техніки	Модель / Тип транспортного засобу	Кількість (за відкритими джерелами)	Функціональне призначення
Загальний автопарк компанії	Різні вантажні автомобілі	592 од.	Загальне забезпечення логістичних операцій, міжрегіональні та міські перевезення
Магістральні тягачі	Mercedes-Benz Actros 1841 LS + напівпричепи Schmitz Cargobull (Євро 5)	40 од.	Далекі міжрегіональні перевезення великих партій продуктів
Рефрижераторні та ізотермічні фургони	Mercedes-Benz Sprinter (рефрижератори та ізотермічні кузови)	Неопубліковано (відомо про придбання партії)	Перевезення молочної, м'ясної, рибної, охолодженої та замороженої продукції
Середньотоннажна холодильна техніка	Різні моделі (Thermo King / Carrier)	Не оприлюднено	Доставка фреш-товарів у межах області чи регіону

Категорія техніки	Модель / Тип транспортного засобу	Кількість (за відкритими джерелами)	Функціональне призначення
Аграрна вантажна техніка	Scania G440 (вантажопідйомність до 25 т)	10 од.	Перевезення зернових, кормів та агропродукції
Напівпричепи та кузови спеціального призначення	Schmitz Cargobull, KRONE	Частина загального автопарку	Використання з магістральними тягачами для дистрибуції продовольчих товарів

Оснoву міжрегіональної доставки формують 40 сучасних тягачів Mercedes-Benz Actros 1841 LS, які працюють у зв'язці з напівпричепами Schmitz Cargobull. Ця категорія техніки відповідає екологічному стандарту Євро 5, що є важливим фактором енергоефективності та екологічності транспортних операцій. Автопоїзди застосовуються для доставки великих партій товарів між центральними, транзитними та регіональними логістичними центрами.

Важливу частину автопарку становлять рефрижераторні та ізотермічні фургони Mercedes-Benz Sprinter, що забезпечують транспортування швидкопсувних та температурно-чутливих товарів. Саме ця група техніки відповідає за підтримання безперервності "холодового ланцюга" при доставці фруктів, овочів, молочної, рибної, м'ясної та замороженої продукції. Кількість таких автомобілів не оприлюднюється, проте відомо про регулярні закупівлі та оновлення саме цієї категорії, що підкреслює її стратегічну важливість. Окремим напрямом діяльності Fozzy Group є агробізнес, для якого компанія сформувала спеціальний парк із 10 вантажних автомобілів Scania G440 вантажопідйомністю до 25 тонн. Цей підрозділ забезпечує перевезення зернових, комбікормів та інших аграрних вантажів, підсилюючи логістичні потужності власних виробничих підприємств.

Уся техніка компанії оснащена системами GPS/GLONASS, контролю споживання палива, температурного моніторингу та телематики. Це дозволяє: скоротити витрати на пальне, оптимізувати маршрути доставки, контролювати стан вантажів під час транспортування, підтримувати стандарти безпеки

харчових продуктів. Також важливим елементом є напівпричепи Schmitz Cargobull та KRONE, що забезпечують збереження якості товарів завдяки сучасним ізотермічним та холодильним технологіям.

Автопарк Fozzy Group є одним із найбільших корпоративних автопарків у сегменті українського ритейлу. Його структура свідчить про орієнтацію компанії на незалежність від зовнішніх перевізників, високу якість логістичного сервісу та контроль над ключовими операціями постачання. Використання сучасних моделей Mercedes-Benz та Scania не тільки підвищує ефективність доставки, а й забезпечує екологічність та відповідність європейським стандартам транспортної логістики.

2.4. Існуючі маршрути та вантажопотоки Fozzy Group

Ефективність логістичної системи Fozzy Group значною мірою визначається організацією транспортних маршрутів і структурою вантажопотоків, що забезпечують функціонування розгалуженої мережі роздрібних магазинів, дистрибуційних центрів та виробничих підприємств. Завдяки масштабній географії діяльності Fozzy Group сформувала багаторівневу модель руху товарів, яка поєднує магістральні міжрегіональні перевезення, регіональну дистрибуцію та доставку «останньої милі».

Вантажопотоки компанії формуються у відповідності до функцій кожного елемента логістичної мережі: постачання від національних та імпорتنих постачальників до центральних складів; розподіл продукції між центральними та регіональними дистрибуційними центрами; регіональні перевезення до торговельних форматів («Сільпо», «Фора», Fozzy C&C, Thrash!); доставка фреш-та заморожених товарів із фреш-центрів; внутрішньогрупові вантажі (аграрний сектор, виробничі підприємства).

Така модель забезпечує постійний рух товарів у всіх напрямках, що підтримує високу оборотність товарних запасів і мінімізує ризики дефіциту. Логістичні маршрути Fozzy Group умовно поділяються на три основні категорії:

магістральні, регіональні та локальні (міські). Кожен вид маршруту відрізняється функціональним призначенням, довжиною транспортного плеча та складом товарів.

Магістральні маршрути між логістичними хабами. Це ключове ядро транспортної системи компанії. Магістральні маршрути забезпечують: переміщення товарів між центральним хабом Києва та регіональними складами у Львові, Одесі, Харкові, Дніпрі, Запоріжжі; доставку великих змішаних партій товарів; транспортування товарів імпортного походження від портів України (Одеса, Чорноморськ) до центральних складів.

Ці маршрути виконуються переважно: магістральними тягачами Mercedes-Benz Actros 1841 LS, напівпричепами Schmitz Cargobull, KRONE, багатотоннажними рефрижераторами для фреш-продукції.

Магістральні потоки характеризуються високою стабільністю, плановістю та великою вантажомісткістю, що дозволяє оптимізувати витрати на перевезення та підтримувати рівномірність товарних залишків у регіонах.

Регіональні маршрути між складами та магазинами. Цей тип маршрутів охоплює щоденні або кількаразові на тиждень перевезення продукції до мережі магазинів у межах областей та сусідніх регіонів.

Основні особливості: доставка здійснюється середньотоннажними автомобілями (фури 5–10 тонн, рефрижератори); маршрути прокладаються з урахуванням розташування Сільпо, Фора, Thrash! у радіусі 100–300 км від регіонального складу; основний обсяг вантажів — бакалія, напої, побутова хімія, фреш-товари.

Регіональна логістика виконує важливу функцію балансування товарних запасів у магазинах та забезпечення їх регулярного поповнення.

Маршрути «останньої милі». Доставка на короткі відстані здійснюється малотоннажними автомобілями Mercedes-Benz Sprinter (рефрижераторами), ізотермічними фургонами, невеликими вантажними авто для міських магазинів.

Особливості маршрутів останньої милі: висока частота та регулярність (інколи 2–3 рази на добу); дотримання вузьких часових вікон; доставлення

товарів, які потребують підтримання температурного режиму (овочі, молоко, риба, напівфабрикати); складні міські умови, які потребують оптимізації маршруту (трафік, обмеження в'їзду, завантаженість вулиць).

Особливості формування вантажопотоків. Fozzy Group використовує принцип радіальної моделі руху товарів, де Київ виконує роль головного логістичного центру. Звідси формуються магістральні потоки до регіональних складів, після чого товари розходяться у магазини у форматі «гілка-пелюстка».

Формування вантажопотоків враховує: ABC/XYZ-аналіз товарів; сезонність попиту; специфіку продуктів (сухий асортимент, фреш, заморозка); графіки приймання торговельних точок; обмеження по тоннажу та габаритам транспорту в містах.

Фреш-вантажопотоки є найбільш динамічними та потребують безперервності холодового ланцюга. Бакалійні вантажопотоки формуються з урахуванням великих партій і тривалих циклів поповнення. Аграрні потоки компанії забезпечуються спеціалізованою технікою Scania G440 та транспортують зернові, корми й інші продукти агросектору.

Інформаційно-аналітична підтримка маршрутизації.

Оптимізація маршрутів у Fozzy Group здійснюється за допомогою систем: GPS/GLONASS моніторингу (контроль місцеперебування транспорту); телематичних модулів (аналіз витрати пального, швидкісні режими, наявність простоїв);

TMS-систем (маршрутизація, планування, розподіл навантаження);

WMS на складах, яка генерує потреби в доставці та формує замовлення на транспорт.

Аналітичні дані дозволяють скорочувати порожній пробіг, зменшувати операційні витрати та підвищувати точність доставки.

Сформована система маршрутів та вантажопотоків Fozzy Group є комплексною та багаторівневою, що дозволяє забезпечити ефективне функціонування великої мережі магазинів і логістичних об'єктів по всій Україні. Магістральні, регіональні та локальні маршрути працюють у взаємозв'язку та

забезпечують стабільність постачання в умовах змінного попиту й зовнішніх ризиків. Розвинена система планування маршрутизації, використання сучасної техніки та підтримка холодового ланцюга дають змогу компанії утримувати високі стандарти якості та логістичної надійності.

2.5. Проблеми та резерви оптимізації

Незважаючи на наявність розвиненого та численного автопарку, логістичні витрати Fozzy Group залишаються одними з найбільш вагомих у структурі операційних витрат. Їх зростання значною мірою зумовлене комплексом зовнішніх і внутрішніх факторів. Передусім відчутним є постійне підвищення вартості пального, що безпосередньо впливає на собівартість транспортних операцій. До цього додається висока інтенсивність виконання рейсів та значний сумарний пробіг, обумовлений масштабністю географії постачання та потребою забезпечення регулярних поставок до великої кількості торговельних точок.

Суттєвим чинником є також необхідність планового технічного обслуговування великої кількості транспортних засобів, адже надійність автопарку та дотримання температурних режимів потребують систематичного втручання та своєчасних ремонтних робіт. Окрему групу витрат формують затримки, спричинені обмеженнями руху у великих містах, що призводить до додаткових простоїв, зменшення продуктивності транспорту та збільшення тривалості логістичних циклів. У сукупності ці фактори створюють значне навантаження на логістичний бюджет та вимагають пошуку шляхів подальшої оптимізації.

Таблиця 2.5. Проблеми логістичної системи Fozzy Group та рекомендації щодо їх оптимізації

Проблема	Причини виникнення	Рекомендації та напрями оптимізації (включно з ANT Logistics)
1. Високі транспортні витрати	<ul style="list-style-type: none"> - Зростання вартості пального - Висока інтенсивність рейсів - Тривалі простой в міських зонах - Нерівномірне завантаження авто 	<ul style="list-style-type: none"> - Впровадити <i>ANT Logistics</i> для оптимізації маршрутів та скорочення порожнього пробігу на 10–25% - Використовувати телематику для контролю стилю водіння - Застосовувати автоматичний розподіл рейсів між автомобілями - Оновлювати парк на енергоефективній моделі
2. Нерівномірність вантажопотоків (сезонність)	<ul style="list-style-type: none"> - Сезонні коливання попиту - Пікові навантаження у свята - Обмежені складські ресурси 	<ul style="list-style-type: none"> - Використати <i>ANT Logistics</i> для прогнозування та планування динамічних маршрутів залежно від сезонності - Формувати буферні склади у регіонах - Розподіляти вантажі між хабами за ABC/XYZ-аналізом
3. Перевантаження центральних хабів (Київ)	<ul style="list-style-type: none"> - Централізована система розподілу - Високий обсяг міжрегіональних потоків 	<ul style="list-style-type: none"> - Створити додаткові крос-докінг центри у Західному та Центральному регіонах - Оптимізувати міжхабові перевезення за допомогою <i>ANT Logistics</i> (кластеризація маршрутів) - Збільшити частку регіонального зберігання
4. Проблеми підтримання холодового ланцюга	<ul style="list-style-type: none"> - Висока вимогливість до температури - Зношеність частини холодильного обладнання - Недосконалий контроль температури у дорозі 	<ul style="list-style-type: none"> - Встановити систему онлайн-моніторингу температури - Уніфікувати холодильні агрегати - Застосовувати <i>ANT Logistics</i> для маршрутів із жорсткими часовими вікнами (фреш/заморозка) - Створити багатотемпературні зони на складах

Проблема	Причини виникнення	Рекомендації та напрями оптимізації (включно з ANT Logistics)
5. Зовнішні ризики та обмеження (воєнний стан)	<ul style="list-style-type: none"> - Зміна доступності маршрутів - Блокпости, ризики заторів - Пошкодження транспортної інфраструктури 	<ul style="list-style-type: none"> Використати <i>ANT Logistics</i> для оперативної перебудови маршрутів у реальному часі (об'їзди, ризикові зони) Створити альтернативні маршрути для кожного регіону Диверсифікувати постачальників та склади
6. Недостатня інтеграція цифрових систем	<ul style="list-style-type: none"> - Розрізненість інструментів WMS, TMS, ERP - Обмежена аналітика маршрутів - Відсутність єдиного центру управління доставкою 	<ul style="list-style-type: none"> Інтегрувати <i>ANT Logistics</i> у комплекс ERP/WMS/TMS Використовувати BI-аналітику на основі даних <i>ANT</i> Автоматизувати планування розвозок та відбір авто Впровадити цифровий контроль KPI доставки
7. Витрати на обслуговування автопарку	<ul style="list-style-type: none"> - Велика кількість техніки - Зношення автомобілів - Нерівномірність навантаження 	<ul style="list-style-type: none"> Запровадити систему планового ТО за допомогою телематики Перерозподіляти навантаження транспортних засобів через алгоритми <i>ANT Logistics</i> Поступово оновлювати парк сучасними моделями (Scania, Mercedes-Benz)

Проведений аналіз засвідчив, що логістична система Fozzy Group, попри високий рівень розвитку та наявність великого транспортного парку, стикається з рядом системних проблем. Найбільш істотними є: перевантаженість центральних логістичних хабів, нерівномірність вантажопотоків, значні транспортні витрати та складність підтримання холодового ланцюга. Важливим інструментом для їх усунення є застосування сучасних цифрових систем маршрутизації, зокрема *ANT Logistics*.

Система дозволяє: оптимізувати доставку та скоротити пробіг; формувати маршрути з урахуванням трафіку, блокпостів та тимчасових обмежень; контролювати виконання рейсів у реальному часі; зменшити експлуатаційні

витрати автопарку; забезпечити підвищення якості доставки фреш-товарів. Інтеграція ANT Logistics у логістичний контур Fozzy Group є перспективним напрямом цифрової трансформації, що дозволяє підвищити стійкість логістичних ланцюгів і забезпечити стратегічні переваги на ринку ритейлу.

Висновки до розділу 2

У другому розділі досліджено організаційно-логістичну структуру Fozzy Group та проаналізовано ключові елементи, що формують ефективність функціонування транспортно-розподільчої системи компанії. Оцінка структури логістичної мережі показала, що Fozzy Group володіє розгалуженою інфраструктурою, яка охоплює центральні та регіональні дистрибуційні центри, спеціалізовані фреш- та морозильні склади, крос-докінгові термінали, а також виробничо-логістичні комплекси. Така модель забезпечує високий рівень керованості товаропотоками, їх стійкість і здатність швидко адаптуватися до змін ринку.

Дослідження транспортного парку засвідчило, що компанія має один із найбільших корпоративних автопарків у ритейл-секторі України. Він включає магістральні тягачі, рефрижераторні та ізотермічні автомобілі, а також спеціалізовану техніку для аграрних перевезень. Систематичне оновлення рухомого складу та застосування сучасних телематичних технологій сприяють підвищенню надійності та оперативності логістичних операцій.

Аналіз існуючих маршрутів та вантажопотоків показав, що Fozzy Group використовує багаторівневу схему транспортування, що поєднує магістральні, регіональні та локальні доставки. Така структура забезпечує безперервність постачання, високу частоту доставок та можливість підтримання жорстких температурних режимів у фреш-логістиці. Водночас значна концентрація потоків у центральному хабі формує певні логістичні навантаження, які потребують оптимізації.

У ході аналізу виявлено низку проблем, серед яких: висока собівартість транспортних операцій, сезонні коливання вантажопотоків, складність забезпечення холодового ланцюга, обмеження руху в мегаполісах, а також зовнішні ризики, пов'язані з воєнною ситуацією. Незважаючи на ці виклики, Fozzy Group володіє значними резервами оптимізації. До найважливіших напрямів вдосконалення належать: автоматизація маршрутів за допомогою системи ANT Logistics, розвиток регіональної складської інфраструктури, цифровізація управління транспортом, модернізація холодильного обладнання, підвищення рівня інтеграції IT-систем та створення альтернативних логістичних маршрутів.

У сукупності отримані результати свідчать, що логістична система Fozzy Group є сучасною, технологічно розвиненою та конкурентоспроможною. Водночас її подальше вдосконалення потребує комплексного підходу, спрямованого на підвищення ефективності вантажопотоків, раціоналізацію транспортних витрат і зміцнення стійкості логістичних ланцюгів у мінливому зовнішньому середовищі.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНОГО ПРОЦЕСУ

3.1. Транспортна задача

Розглянуто розширену транспортну задачу Fozzy Group з чотирма пунктами відправлення та сімома пунктами призначення.

Пункти відправлення:

- A1 – Київський ЦДЦ – 150 т
- A2 – Львівський РЦ – 120 т
- A3 – Дніпровський РЦ – 100 т
- A4 – Одеський РЦ – 130 т

Пункти призначення:

- B1 – Київ і область – 90 т
- B2 – Львів і область – 70 т
- B3 – Харків – 80 т
- B4 – Дніпро – 60 т
- B5 – Одеса/Миколаїв – 80 т
- B6 – Запоріжжя/Кривий Ріг – 60 т
- B7 – Вінниця/Черкаси – 60 т

Таблиця 3.1. Матриця транспортних витрат (км):

	B1 Київ	B2 Львів	B3 Харків	B4 Дніпро	B5 Одеса/ Миколаїв	B6 Запоріжжя/ Кривий Ріг	B7 Вінниця/ Черкаси	Запас, т
A1 Київ	40	540	480	480	475	520	260	150
A2 Львів	540	40	1000	1000	800	1050	430	120
A3 Дніпро	480	1000	220	60	550	90	430	100
A4 Одеса	475	800	650	480	60	520	420	130

Потрібно визначити план перевезень товарів зі складів A1, A2, A3, A4 до кластерів магазинів B1, ..., B7. B1, ..., B7, тобто знайти величини x_{ij} (у тонах), які:

- забезпечать повне задоволення потреб кожного кластера магазинів;
- не перевищать наявних запасів на кожному складі;
- мінімізують загальні транспортні витрати, що залежать від відстані та обсягу перевезення.

Для розв'язання транспортної задачі Fozzy Group з чотирма пунктами відправлення та сімома пунктами призначення було обрано **комбінацію двох**

класичних підходів: побудова початкового допустимого плану; його подальша оптимізація методом потенціалів (MODI). На першому етапі доцільно використано **метод північно-західного кута**, оскільки він дозволяє дуже швидко сформувати початковий план, що задовольняє всі обмеження по запасах і потребах. Алгоритм є простим для ручних розрахунків, легко демонструється студентам і не потребує складних проміжних обчислень. Недоліком цього методу є те, що отриманий план, як правило, далекий від оптимального і має завищені транспортні витрати. Тому ключовим інструментом для отримання економічно обґрунтованого рішення став метод потенціалів (MODI). Саме він був обраний як основний метод оптимізації з таких причин:

1. Гарантія перевірки оптимальності. Метод потенціалів дозволяє не лише поліпшувати план, а й формально перевірити, чи досягнуто мінімум транспортних витрат. На основі потенціалів u_{iu} , v_{jv} та показників «вигідності» Δ_{ij} можна однозначно зробити висновок, чи є поточний план оптимальним.
2. Порівняно невеликі обчислювальні витрати. На відміну від загального симплекс-методу, MODI працює саме з транспортною структурою задачі ($m+n-1$ базисних змінних), що суттєво скорочує кількість обчислень. Це важливо для задач з великою кількістю пунктів відправлення та призначення (у нашому випадку 4×7), які ще можна опрацьовувати вручну або в електронних таблицях.
3. Наглядність і методична зручність. Алгоритм побудови потенціалів та циклів перерозподілу легко відобразити в таблицях, що робить метод зручним для навчальних цілей. Студент чітко бачить, які перевезення є «вигідними» чи «невигідними», і як крок за кроком зменшуються сумарні витрати.
4. Сумісність з реальними логістичними задачами. Метод потенціалів добре масштабується і може бути покладений в основу програмних модулів (у тому числі в TMS-системах та сервісах на кшталт ANT Logistics), де оптимізація маршрутів і розподілу вантажів також зводиться до задач мінімізації витрат при заданих обмеженнях.

Можливість поетапного вдосконалення плану. MODI дозволяє послідовно покращувати план від «грубого» початкового до справді оптимального, що важливо для аналітичної частини магістерської роботи: можна показати, як змінюються витрати на кожному кроці.

Таким чином, оптимальний план перевезень для Fozzy Group отримано саме методом потенціалів, який забезпечує мінімальні сумарні транспортні витрати за умови повного задоволення попиту всіх кластерів магазинів і повного використання наявних запасів на складах. Використання комбінації «метод північно-західного кута + MODI» дає змогу поєднати простоту побудови початкового рішення та високий рівень економічної ефективності остаточного плану. Для розв'язання транспортної задачі Fozzy Group використано послідовну схему:

Побудова початкового допустимого плану методом північно-західного кута. Оптимізація цього плану методом потенціалів (MODI) з метою мінімізації сумарних транспортних витрат.

Побудова початкового плану методом північно-західного кута

Метод північно-західного кута (ПЗК) передбачає заповнення матриці перевезень, починаючи з верхньої лівої клітинки (A_1-B_1), з поступовим переходом праворуч та вниз. На кожному кроці в клітинку x_{ij} записується мінімум між наявним запасом складу a_i та потребою пункту призначення b_j

Крок 1. Клітинка A_1-B_1

запас $A_1=150$

потреба $B_1=90$ т.

Записуємо:

$x_{11}=\min(150,90)=90$ Оновлюємо залишки: $A_1:150-90=60$

$B_1:90-90=0$ потребу B_1 задоволено, стовпець B_1 закривається.

Крок 2. Клітинка A_1-B_2

Переходимо праворуч до стовпця B_2 .

залишок $A_1=60$ т

потреба $B_2=70$ т

$$x_{12}=\min(60,70)=60 \text{ т}$$

Оновлення: $A_1:60-60=0$ т \rightarrow рядок A_1 вичерпано; $B_2:70-60=10$ т.

Крок 3. Клітинка A_2-B_2

Переходимо вниз до складу A_2 в тому самому стовпці B_2 .

$$A_2=120 \text{ т};$$

залишкова потреба $B_2=10$ т.

$$x_{22}=\min(120,10)=10 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_2:120-10=110\text{т}$$

$B_2:10-10=0$ т \rightarrow B_2 закрито.

Крок 4. Клітинка A_2-B_3

Рухаємось праворуч до B_3 .

$$A_2=110\text{т};$$

$$B_3=80 \text{ т.}$$

$$x_{23}=\min(110,80)=80 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_2:110-80=30 \text{ т};$$

$B_3:80-80=0$ т \rightarrow B_3 закрито

Крок 5. Клітинка A_2-B_4

$$A_2=30 \text{ т};$$

$$B_4=60 \text{ т.}$$

$$x_{24}=\min(30,60)=30 \text{ т}$$

Оновлення:

$A_2:30-30=0$ т \rightarrow A_2 вичерпано;

$$B_4:60-30=30 \text{ т.}$$

Крок 6. Клітинка A_3-B_4

Переходимо вниз до складу A_3 .

$$A_3=100 \text{ т};$$

$$B_4=30 \text{ т.}$$

$$x_{34} = \min(100, 30) = 30 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_3: 100 - 30 = 70 \text{ т.}$$

$$B_4: 30 - 30 = 0 \text{ т} \rightarrow B_4 \text{ закрито.}$$

Крок 7. Клітинка A_3-B_5

$$A_3 = 70 \text{ т.}$$

$$B_5 = 80 \text{ т.}$$

$$x_{35} = \min(70, 80) = 70 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_3: 70 - 70 = 0 \text{ т} \rightarrow A_3 \text{ вичерпано.}$$

$$B_5: 80 - 70 = 10 \text{ т.}$$

Крок 8. Клітинка A_4-B_5

Переходимо до A_4-B_5 .

$$A_4 = 130 \text{ т.}$$

$$B_5 = 10 \text{ т (залишкова потреба).}$$

$$x_{45} = \min(130, 10) = 10 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_4: 130 - 10 = 120 \text{ т.}$$

$$B_5: 10 - 10 = 0 \text{ т} \rightarrow B_5 \text{ закрито.}$$

Крок 9. Клітинка A_4-B_6

$$A_4 = 120 \text{ т.}$$

$$B_6 = 60 \text{ т.}$$

$$x_{46} = \min(120, 60) = 60 \text{ т.}$$

Оновлення:

$$A_4: 120 - 60 = 60 \text{ т.}$$

$$B_6: 60 - 60 = 0 \text{ т} \rightarrow B_6 \text{ закрито.}$$

Крок 10. Клітинка A_4-B_7

Останній склад і останній пункт призначення:

$$A_4 = 60 \text{ т.}$$

$$B_7 = 60 \text{ т.}$$

$$x_{47} = \min(60, 60) = 60 \text{ т.}$$

Усі запаси та потреби повністю розподілені.

Таблиця 3.2. Початковий допустимий план (метод ПЗК):

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	90	60	0	0	0	0	0
A2	0	10	80	30	0	0	0
A3	0	0	0	30	70	0	0
A4	0	0	0	0	10	60	60

Цей план задовольняє всі обмеження задачі, однак не гарантує мінімуму витрат. Оцінка вартості початкового плану. Сумарні витрати для початкового плану:

$$Z_{\text{ПЗК}} = 90 \cdot 40 + 60 \cdot 540 + 10 \cdot 40 + 80 \cdot 1000 + 30 \cdot 1000 + 30 \cdot 60 + 70 \cdot 550 + 10 \cdot 60 + 60 \cdot 520 + 60 \cdot 420 = 3600 + 32\,400 + 400 + 80\,000 + 30\,000 + 1800 + 38\,500 + 600 + 31\,200 + 25\,200 = 243\,700 \text{ т.}$$

Отримане значення $Z_{\text{ПЗК}} = 243\,700 \text{ т} \cdot \text{км}$ є відправною точкою для подальшої оптимізації.

Оптимізація плану методом потенціалів (MODI). Для зниження витрат застосовують метод потенціалів (MODI). Його основні ідеї:

Для всіх базисних клітин (де $x_{ij} > 0$) розв'язується система рівнянь:

$$u_i + v_j = c_{ij},$$

де u_i – потенціали рядків (складів), v_j – потенціали стовпців (кластерів).

Для всіх небазисних клітин обчислюються оцінки:

$$\Delta_{ij} = c_{ij} - (u_i + v_j)$$

Якщо $\Delta_{ij} < 0$, введення цієї клітинки в базис дозволяє зменшити загальні витрати. Тоді будується замкнений цикл, і частина вантажу перерозподіляється.

Унаслідок кількох кроків перерозподілу (детальна побудова циклів може бути наведена в додатку або в розрахунковій частині) отримано новий,

покращений план, у якому частина перевезень перенесена на дешевші напрямки (зокрема за участю складів А₃ і А₄ та кластерів В₃, В₄, В₅, В₆).

У результаті оптимізації методом потенціалів (MODI) отримано наступний план перевезень.

Таблиця 3.3. Оптимальний план перевезень

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	90	–	50	–	–	–	10
A2	–	70	–	–	–	–	50
A3	–	–	30	10	–	60	–
A4	–	–	–	50	80	–	–

Перевірка балансу:

по рядках:

$$A1: 90 + 50 + 10 = 150 \text{ т};$$

$$A2: 70 + 50 = 120 \text{ т};$$

$$A3: 30 + 10 + 60 = 100 \text{ т};$$

$$A4: 50 + 80 = 130 \text{ т};$$

по стовпцях:

$$B1: 90 \text{ т};$$

$$B2: 70 \text{ т};$$

$$B3: 50 + 30 = 80 \text{ т};$$

$$B4: 10 + 50 = 60 \text{ т};$$

$$B5: 80 \text{ т};$$

$$B6: 60 \text{ т};$$

$$B7: 10 + 50 = 60 \text{ т}.$$

Усі обмеження дотримано → план є допустимим.

Розрахунок мінімальних транспортних витрат. Обчислимо сумарні витрати для оптимального плану:

$$Z_{\min} = 90 \cdot 40 + 50 \cdot 480 + 10 \cdot 260 + 70 \cdot 40 + 50 \cdot 430 + 30 \cdot 220 + 10 \cdot 60 + 60 \cdot 90 + 50 \cdot 480 + 80 \cdot 60 = 3\,600 + 24\,000 + 2\,600 + 2\,800 + 21\,500 + 6\,600 + 600 + 5\,400 + 24\,000 + 4\,800 = 95\,900 \text{ тОт}$$

же, мінімальні транспортні витрати для розглянутої логістичної схеми становлять:

Мінімальні транспортні витрати: $Z_{\min}=95\,900\text{т}\cdot\text{км}$. У порівнянні з початковим планом (243 700 т·км) оптимізація дає суттєве зниження витрат, що підтверджує ефективність використання методів транспортної оптимізації в управлінні логістичними потоками Fozzy Group.

Отриманий оптимальний план перевезень забезпечує повне задоволення потреб магазинних кластерів та повне використання запасів складів. Метод потенціалів підтверджує, що жодна з небазисних клітинок не дозволяє зменшити загальні витрати, тому отримане рішення є оптимальним.

3.2. Висновки за результатами розрахунку транспортної задачі

У ході розв'язання транспортної задачі для логістичної мережі Fozzy Group проведено детальний аналіз структури вантажопотоків, географії постачання та ефективності розподілу ресурсів між складами й торговельними кластерами. Отримані результати дозволили сформувавши оптимальний план перевезень та забезпечити мінімальні транспортні витрати при повному покритті попиту всіх регіональних напрямів.

Перший етап розрахунку здійснювався методом північно-західного кута. Цей підхід надав можливість оперативно сформувавши початковий допустимий план, який повністю задовольняв баланс між наявними запасами та потребами магазинів. Однак його аналіз показав, що значна частина вантажів була розподілена через найдовші або економічно не вигідні маршрути, що призводило до завищеної вартості транспортування. Сумарні витрати початкового плану склали 243 700 т·км, що підтвердило потребу у подальшій оптимізації.

З метою зменшення витрат застосовано метод потенціалів (MODI), який дозволяє цілеспрямовано знаходити «невигідні» напрямки перевезень та здійснювати перерозподіл вантажів через побудову замкнених циклів. Використання цього методу є теоретично і практично обґрунтованим, оскільки він дає змогу: точно визначити, чи є поточний план оптимальним; системно

знижувати витрати шляхом поетапного перерозподілу потоків; працювати з базисними клітинками, зменшуючи загальну кількість обчислень; моделювати ситуації, максимально наближені до реальних умов регіональної логістики Fozzy Group.

У процесі оптимізації встановлено, що кілька напрямів у початковому плані мали суттєво завищену оцінку «невигідності» Δ_{ij} , що свідчило про необхідність зміни структури маршрутів. Після серії коригувальних ітерацій вдалося досягти значно більш раціонального використання складів та скорочення витрат на переміщення товарів. Новий розподіл дозволив перерозподілити вантажі на маршрути з меншим тарифом, зокрема активніше задіяти логістичні можливості складів Дніпра (A_3) та Одеси (A_4), які мають географічно вигідне положення щодо кластерів B_3 , B_4 , B_5 та B_6 .

Оптимальний план перевезень забезпечив: повне покриття попиту всіх магазинних кластерів; повне використання запасів складів; мінімізацію сумарних витрат до 95 900 т·км, **що на 147 800 т·км менше** за початковий показник.

Таким чином, економія у транспортних витратах становить понад 60%, що є значним показником для логістичної системи національного компанії. Такий результат демонструє високу ефективність застосування математичних методів оптимізації в реальних умовах функціонування мережевих компаній.

Крім економічної вигоди, оптимізація сприяє: підвищенню рівня логістичної стійкості Fozzy Group; рівномірному завантаженню складів; зниженню ризику перевантаження окремих транспортних напрямків; скороченню часу виконання логістичних операцій; більш раціональному використанню рухомого складу.

Метод потенціалів підтвердив, що для отриманого оптимального плану всі оцінки Δ_{ij} є невід'ємними, а отже жодна з небазисних клітинок не дозволяє знизити витрати. Це означає, що знайдене рішення є гарантовано оптимальним в умовах заданої транспортної мережі.

Загалом проведений розрахунок доводить, що застосування комбінації північно-західного методу та методу потенціалів є ефективним та практично обґрунтованим підходом до вирішення транспортних задач у великих торгово-логістичних компаніях. Така методика може бути інтегрована і в програмні рішення класу TMS або системи оптимізації маршрутів, зокрема вітчизняні цифрові сервіси на зразок ANT Logistics, що підтверджує її сучасність та придатність для впровадження в реальний транспортний менеджмент.

3.3. Планування маршруту в ANT-Logistics

Загальна характеристика процесу маршрутизації. Процес планування маршрутів у великих торговельно-логістичних мережах, до яких належить Fozzy Group, потребує високого рівня точності, оперативності та узгодженості між структурними підрозділами. Розгалужена система складів (Київський ЦДЦ, Львівський, Дніпровський та Одеський регіональні центри), велика кількість точок реалізації (магазини «Сільпо», «Фора», Thrash!) та широкий спектр транспортних засобів зумовлюють необхідність використання цифрових інструментів планування.

Система ANT Logistics забезпечує автоматизоване формування маршрутів, виходячи з реальних географічних даних, обмежень автопарку, часових вікон клієнтів, обсягів замовлень та економічних показників. Її впровадження дозволяє суттєво скоротити час маршрутизації, мінімізувати транспортні витрати та підвищити контроль над доставками.

Створення інформаційної моделі транспортного процесу в ANT Logistics.

Функціонування системи маршрутизації в ANT Logistics передбачає створення повної цифрової моделі логістичної мережі Fozzy Group, що включає детальну інформацію про склади, точки доставки, транспортні засоби та параметри замовлень. Наявність коректно сформованих даних забезпечує точність розрахунку маршрутів та ефективність подальших логістичних операцій.

На першому етапі в систему вносяться всі склади-відправники, що беруть участь у формуванні вантажопотоків. Для кожного складу визначаються: повна адреса та географічні координати, режим роботи, типи товарів, що можуть бути відвантажені (бакалія, свіжа група, заморожені продукти, non-food), а також можливі технологічні обмеження — наприклад, часові рамки завантаження або специфічні вимоги до температурного режиму. Таке структурування інформації дозволяє ANT Logistics точно визначати початкову точку маршруту, формувати правильні транспортні зв'язки та уникати помилок при розподілі вантажів.

Наступним кроком є формування переліку точок доставки, які в логістичній мережі Fozzy Group охоплюють сотні магазинів різних форматів: супермаркети «Сільпо» у Києві, Броварах, Василькові, Львові, Дніпрі, Харкові та інших містах; магазини «Фора» у Київській області; дискаунтери Thrash!; а також HoReCa-та B2B-клієнти. У картці кожного пункту доставки фіксуються адреса, координати (перевірені за допомогою Google Maps), часові вікна приймання товару, вимоги до типу автомобіля (вантажопідйомність, тип кузова, необхідність рефрижератора), можливі обмеження щодо в'їзду та пріоритетність доставки. На основі цієї інформації система автоматично формує карту логістичної мережі та визначає оптимальні зв'язки «склад → магазин».

Особливо важливим елементом цифрової моделі є транспортний парк, який у Fozzy Group складається з великотоннажних автомобілів (Scania G440, Mercedes-Benz Actros), середньотоннажних машин (MAN, DAF, MAZ) та малотоннажних рефрижераторів (Mercedes-Benz Sprinter) для обслуговування фреш-групи. У картці кожного автомобіля зазначається вантажопідйомність, об'єм кузова, тип кузова (тентований, ізотермічний або рефрижераторний), витрата пального, вартість пробігу одного кілометра, графік роботи, тривалість зміни та склад, до якого належить транспортний засіб. Це дозволяє системі здійснювати автоматичний підбір автомобілів для кожного конкретного замовлення, враховуючи їх технічні можливості та обмеження.

Після формування усієї бази даних здійснюється алгоритм планування маршруту, що складається з кількох ключових етапів. Спочатку в систему

завантажуються замовлення на доставку, в яких зазначені: ID клієнта, склад-відправник, вага та об'єм замовлення, температурний режим, часові вікна та пріоритет. ANT Logistics автоматично групує замовлення за складами, регіонами або кластерами, що дозволяє скоротити час маршрутизації та уникнути перехресних доставок.

Після цього планувальник обирає склад, для якого виконується формування маршрутів, наприклад: «Київський ЦДЦ – доставка по Києву та області». Система пропонує набір транспортних засобів, які можуть бути використані: великотоннажні фури для оптових та обласних поставок, середньотоннажні вантажівки для щільних міських маршрутів та рефрижератори для доставки продукції фреш-групи.

Запуск алгоритму оптимізації здійснюється натисканням кнопки «Оптимізувати», після чого система аналізує всі вихідні дані, перевіряє обмеження щодо завантаження, враховує часові інтервали та будує можливі комбінації відвідування точок. ANT Logistics обирає найкращий варіант маршруту відповідно до вибраного критерію: мінімальна відстань, мінімальні витрати, мінімальна кількість задіяних автомобілів або максимальна точність прогнозованого часу прибуття (ETA).

Результатом оптимізації є формування переліку маршрутів, наприклад:

Маршрут №1: Sprinter → «Сільпо ...», «Фора ...» (міська адресна доставка);

Маршрут №2: Actros → оптові поставки у область;

Маршрут №3: рефрижератор → доставки фреш-групи.

Для кожного маршруту система визначає послідовність відвідування точок, час виїзду, орієнтовний ETA, завантаження автомобіля, загальну довжину маршруту та прогнозовані витрати. Така деталізація дозволяє не лише планувати, але й контролювати логістичний процес.

Під час виконання рейсів система забезпечує повноцінний GPS-моніторинг, який відображає фактичну локацію автомобіля, дотримання запланованої траєкторії, відхилення, час прибуття у кожную точку та виникнення

проблем. Після завершення доставки формується деталізований звіт: фактичний пробіг, час проведення розвантаження, витрати пального та статистика дотримання маршруту. Отримані дані використовуються для подальшої оптимізації логістичної діяльності.

Застосування такого алгоритму в ANТ Logistics дозволяє Fozzy Group досягти суттєвих економічних і організаційних переваг: скоротити транспортні витрати на 20–35 %, зменшити пробіг автотранспорту до 40 %, підвищити точність доставки та знизити навантаження на диспетчерський персонал. Крім того, система забезпечує прозорість та контрольованість транспортного процесу, що є ключовим чинником підвищення ефективності логістичної системи компанії.

№	Склад	Адреса магазину	Мережа	Маршрут	Марка авто	Обсяг, т	Категорія
1	A1 – Київський ЦДЦ	Сільпо, Київ, Хоткевича 1Б	Сільпо	Маршрут №1	Mercedes-Benz Sprinter	1,2	fresh
2	A1 – Київ	Фора, Київ, Правди 66	Фора	Маршрут №1	Sprinter 316 CDI	0,8	dry
3	A1 – Київ	Сільпо, Вишневе, Європейська 2	Сільпо	Маршрут №1	Renault Master	1,0	fresh
4	A1 – Київ	Сільпо, Ірпінь, Соборна 160	Сільпо	Маршрут №2	Mercedes-Benz Actros 1841	9,5	fresh
5	A1 – Київ	Фора, Буча, Б. Хмельницького 4	Фора	Маршрут №2	Scania G440	8,0	dry
6	A2 – Львівський РЦ	Сільпо, Львів, Стрийська 45	Сільпо	Маршрут №1	Sprinter 315 CDI	1,1	fresh
7	A2 – Львів	Фора, Львів, Чорновола 16	Фора	Маршрут №1	VW Crafter	0,9	dry

8	A2 – Львів	Сільпо, Дрогобич, Трускавецька 2	Сільпо	Маршрут №2	Mercedes Actros	10,5	fresh
9	A2 – Львів	HoReCa, Трускавець, Д. Галицького 12	HoReCa	Маршрут №3	Isuzu NQR Reefer	2,3	frozen
10	A3 – Дніпровський РЦ	Сільпо, Дніпро, Шмідта 2	Сільпо	Маршрут №1	Sprinter 316	1,0	fresh
11	A3 – Дніпро	Сільпо, Кривий Ріг, Каунаська 15	Сільпо	Маршрут №2	DAF XF105	11,0	fresh
12	A3 – Дніпро	Фора, Кам'янське, Свободи 45	Фора	Маршрут №2	Scania G440	9,0	dry
13	A3 – Дніпро	HoReCa, Дніпро, Янтарна 78	HoReCa	Маршрут №3	Hyundai HD78 Reefer	2,0	frozen
14	A4 – Одеський РЦ	Сільпо, Одеса, Архітекторська 12	Сільпо	Маршрут №1	Sprinter 313	1,0	fresh
15	A4 – Одеса	Сільпо, Чорноморськ, Миру 14	Сільпо	Маршрут №2	Volvo FH 460	12,0	fresh
16	A4 – Одеса	Фора, Южне, Будівельників 4	Фора	Маршрут №2	Actros 1844 LS	10,0	dry
17	A4 – Одеса	HoReCa, Одеса- центр	HoReCa	Маршрут №3	Isuzu N- Series Reefer	2,5	frozen

Автомобільний парк, задіяний у процесі формування маршрутів у системі ANT Logistics, характеризується різноманітністю вантажних транспортних засобів, що розрізняються за вантажопідйомністю, типом кузова та рівнем паливної ефективності. Малотоннажні автомобілі, такі як Mercedes-Benz Sprinter, Renault Master та Volkswagen Crafter, використовуються переважно для міської

адресної доставки. Середня витрата пального для цього класу становить 10–14 л/100 км, а при роботі холодильних установок може збільшуватися на додаткові 2–3 л/100 км.

У сегменті середньотоннажного транспорту (Hyundai HD78, DAF LF, MAN TGL, MAZ) витрата пального, залежно від модифікації та умов маршруту, коливається в межах 16–22 л/100 км, що робить їх оптимальними для доставки у межах області або сценаріїв HoReCa.

Великотоннажні сідельні тягачі, такі як Scania G440, Mercedes-Benz Actros, Volvo FH, DAF XF, застосовуються для міжміських та оптових поставок і мають витрату палива на рівні 26–33 л/100 км. Вона залежить від завантаження, швидкісного режиму та якості дорожнього покриття.

Окремо враховується споживання пального холодильними установками рефрижераторного типу — у середньому 1,5–2,5 л/100 км, що є суттєвим фактором під час планування маршрутів фреш- і замороженої групи товарів.

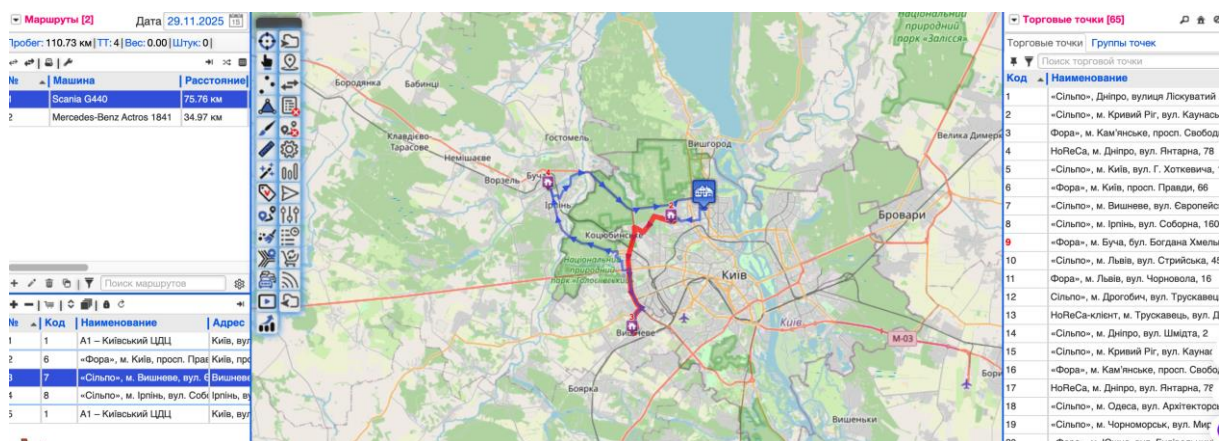


Рис.1. Побудова маршруту із складу А1

Маршрутний лист №1 по автомобілю "Scania G440". Дата 29.11.2025

Автомобіль	Водитель	К-во точок	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Scania G440	Співробітник не визначений	3	0.00	0.00	75.78 км	08:00:00	15:52:00	7 ч 52 мин	1 ч 42 мин	41 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Полерна, 20	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Фора», м. Київ, просп. Правди, 66	Київ, проспект Саролейського Союзу, 66	0.00	0.00	7.27 км	10 мин	08:10	10:10	2 ч	08:00	18:00	
3	«Сільпо», м. Вишневе, вул. Саролейська, 2	Вишневе, вулиця Саролейська, 2	0.00	0.00	19.42 км	29 мин	10:39	12:39	2 ч	08:00	18:00	
4	«Сільпо», м. Ірпін, вул. Соборна, 160	Ірпін, вулиця Соборна, 160	0.00	0.00	24.88 км	37 мин	13:16	15:16	2 ч	08:00	18:00	
5	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Полерна, 20	0.00	0.00	24.19 км	36 мин	15:52	15:52	0 мин	00:00	00:00	

Маршрутный лист №2 по автомобилю "Mercedes-Benz Actros 1841". Дата 29.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Mercedes-Benz Actros 1841	Спірробітник не визначений	1	0.00	0.00	34.97 км	08:00:00	10:51:00	2 ч 51 мин	51 мин	41 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Поперна, 20	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Сільпо», м. Київ, вул. Г. Хоткевича, 1Б	Київ, вулиця Гната Хоткевича, 1Б	0.00	0.00	18.47 км	27 мин	08:27	10:27	2 ч	08:00	18:00	
3	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Поперна, 20	0.00	0.00	16.50 км	24 мин	10:51	10:51	0 мин	00:00	00:00	

Сравнение версий расчета. Дата 29.11.2025

Версия расчета	Кол-во маршрутов	Пробег, км	Затраты	Оценка маршрута	Среднее время маршрута	Среднее время движения	Средняя скорость, км/ч	Количество, ед	Вес, кг	Количество точек
Основная	2	110.73 км	111	111	5 ч 21 мин	1 ч 21 мин	41 км/ч	0.00	0.00	4

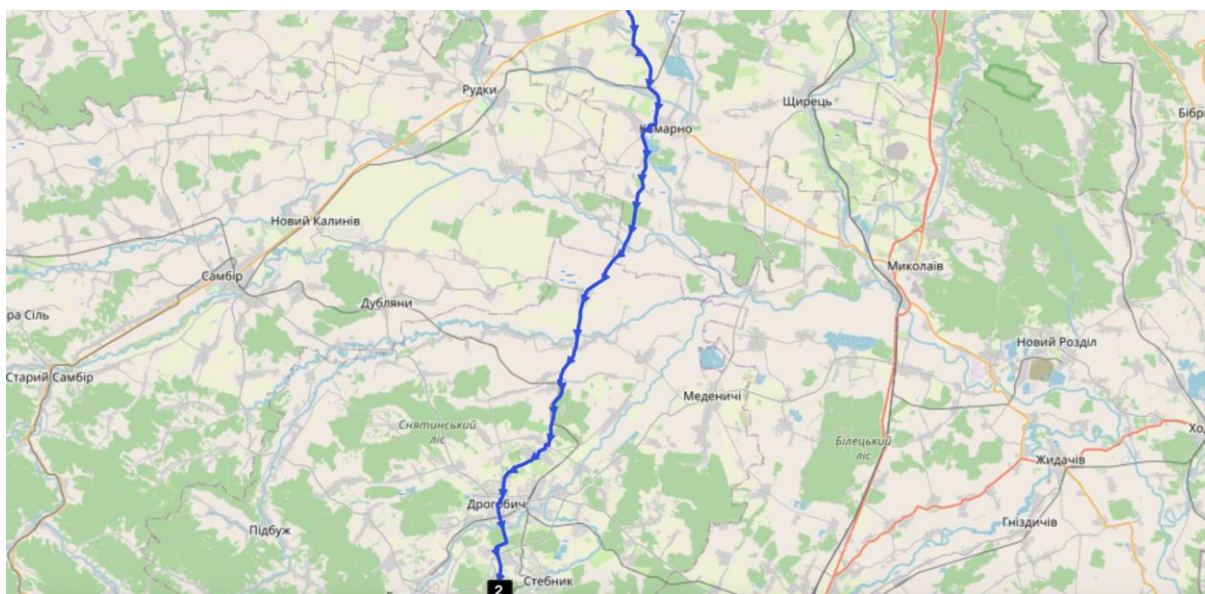


Рис. Побудова маршруту із складу 2.

Маршрутный лист №2 по автомобилю "Mercedes-Benz Actros 1841". Дата 29.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Mercedes-Benz Actros 1841	Спірробітник не визначений	1	0.00	0.00	34.97 км	08:00:00	10:51:00	2 ч 51 мин	51 мин	41 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Поперна, 20	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Сільпо», м. Київ, вул. Г. Хоткевича, 1Б	Київ, вулиця Гната Хоткевича, 1Б	0.00	0.00	18.47 км	27 мин	08:27	10:27	2 ч	08:00	18:00	
3	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Поперна, 20	0.00	0.00	16.50 км	24 мин	10:51	10:51	0 мин	00:00	00:00	

Маршрутный лист №3 по автомобилю "Isuzu NQR Reefer". Дата 29.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Isuzu NQR Reefer	Спірробітник не визначений	2	0.00	0.00	147.84 км	08:00:00	13:40:00	5 ч 40 мин	3 ч 40 мин	40 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городьська, 355	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Сільпо», м. Дрогобич, вул. Трушавецька, 2	Дрогобич, вулиця Трушавецька, 2	0.00	0.00	73.96 км	1 ч 50 мин	09:50	11:50	2 ч	08:00	18:00	
3	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городьська, 355	0.00	0.00	73.88 км	1 ч 50 мин	13:40	13:40	0 мин	00:00	00:00	
4	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городьська, 355	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	13:40	13:40	0 мин	00:00	00:00	

Маршрутный лист №4 по автомобилю "Mercedes Actros". Дата 29.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Mercedes Actros	Спиробітник не визначений	2	0.00	0.00	26.18 км	08.00.00	12.38.00	4 ч 38 мин	38 мин	41 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городоцька, 355	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Сільпо», м. Львів, вул. Стрийська, 45	Львів, вулиця Стрийська, 45	0.00	0.00	8.95 км	13 мин	08:13	10:13	2 ч	08:00	18:00	
3	«Фора», м. Львів, вул. Чорновола, 16	Львів, проспект Вічеслава Чорновола, 16-Є	0.00	0.00	7.03 км	10 мин	10:23	12:23	2 ч	08:00	18:00	
4	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городоцька, 355	0.00	0.00	10.20 км	15 мин	12:38	12:38	0 мин	00:00	00:00	

Маршрутный лист №5 по автомобилю "VW Crafter". Дата 29.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
VW Crafter	Спиробітник не визначений	1	0.00	0.00	169.58 км	08.00.00	14:14:00	6 ч 14 мин	4 ч 14 мин	40 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городоцька, 355	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	HoReCa-кlient, м. Трускавець, вул. Данила Галицького, 12	Трускавець, вулиця Данила Галицького, 12	0.00	0.00	84.86 км	2 ч 7 мин	10:07	12:07	2 ч	08:00	18:00	
3	A2 – Львівський РЦ	Львів, вулиця Городоцька, 355	0.00	0.00	84.72 км	2 ч 7 мин	14:14	14:14	0 мин	00:00	00:00	

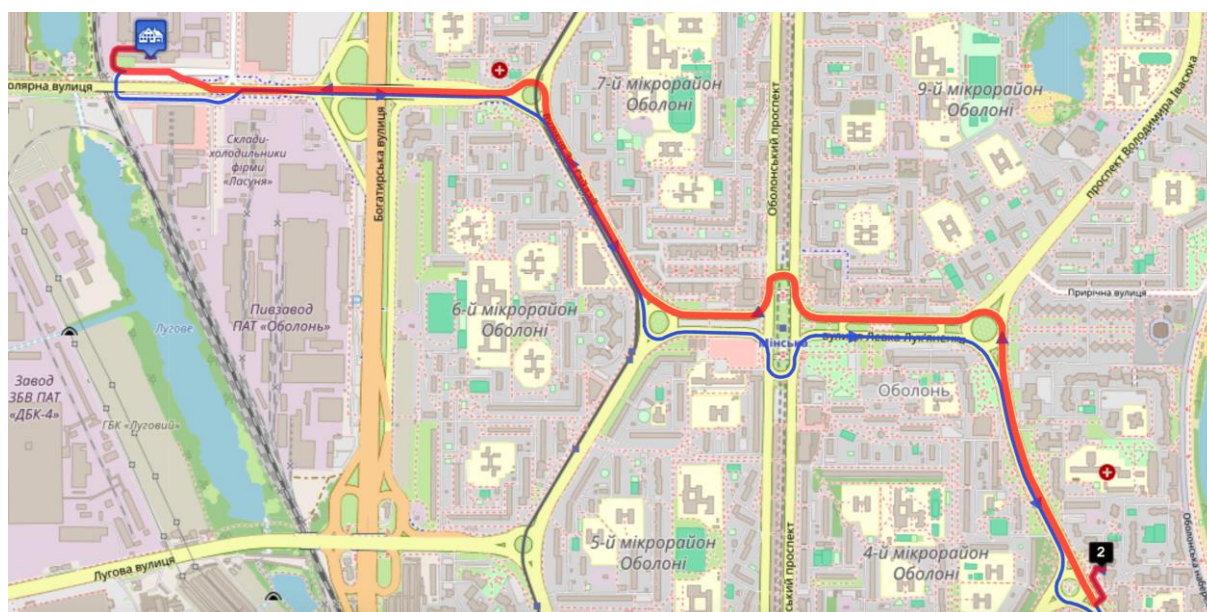


Рис.3. Побудова маршруту із складу 3

Маршрутный лист №1 по автомобилю "DAF XF105". Дата 30.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
DAF XF105	Спиробітник не визначений	3	0.00	0.00	104.82 км	08.00.00	14.36.00	6 ч 36 мин	2 ч 36 мин	40 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A3 – Дніпровський РЦ	Дніпро, Відрадні вулиця, 9	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Фора», м. Кам'янське, просп. Свободи, 45	Кам'янське, проспект Свободи, 45	0.00	0.00	41.43 км	1 ч 2 мин	09:02	11:02	2 ч	08:00	18:00	
3	HoReCa, м. Дніпро, вул. Янгарна, 78	Дніпро, вулиця Янгарна, 78	0.00	0.00	47.06 км	1 ч 10 мин	12:12	14:12	2 ч	08:00	18:00	
4	A3 – Дніпровський РЦ	Дніпро, Відрадні вулиця, 9	0.00	0.00	16.32 км	24 мин	14:36	14:36	0 мин	00:00	00:00	
5	A3 – Дніпровський РЦ	Дніпро, Відрадні вулиця, 9	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	14:36	14:36	0 мин	00:00	00:00	

Маршрутный лист №2 по автомобилю "Scania G440". Дата 30.11.2025

Автомобиль	Водитель	К-во точек	Кол-во, ед	Вес, кг	Пробег, км	Выезд	Возвращение	Общее время маршрута	Общее время движения	Средняя скорость, км/ч	Телефон водителя
Scania G440	Спиробітник не визначений	1	0.00	0.00	8.47 км	08.00.00	10:12:00	2 ч 12 мин	12 мин	42 км/ч	

№	Точка доставки	Адрес	Количество, ед	Вес, кг	Пробег до точки, км	Время в пути до точки	Время приезда в точку	Время выезда из точки	Время в точке	Начало работы точки	Конец работы точки	Статус
1	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Полярна, 20	0.00	0.00	0.00 км	0 мин	08:00	08:00	0 мин	00:00	00:00	
2	«Сільпо», м. Дніпро, вул. Шмідта, 2	м. Дніпро, вул. Шмідта, 2	0.00	0.00	4.42 км	6 мин	08:06	10:06	2 ч	08:00	18:00	
3	A1 – Київський ЦДЦ	Київ, вулиця Полярна, 20	0.00	0.00	4.05 км	6 мин	10:12	10:12	0 мин	00:00	00:00	

3.4. Загальний висновок щодо результатів теоретичного та практичного моделювання логістичних маршрутів Fozzy Group

У межах виконання магістерської роботи було проведено двокомпонентний аналіз транспортної системи Fozzy Group: теоретичне моделювання вантажопотоків методом транспортної задачі; практичне моделювання маршрутів у системі ANT Logistics, як приклад застосування інтелектуальних алгоритмів «мурашиної логістики» (swarm intelligence).

Отримані результати дали змогу не лише сформувати оптимальний план перевезень на рівні стратегічного планування, але й перевірити його відповідність реальним даним щоденної операційної логістики.

У теоретичній частині була розв'язана розширена транспортна задача із 4 пунктами відправлення та 7 пунктами призначення.

Перший етап – метод північно-західного кута – сформував початковий допустимий план. Його вартість становила:

243 700 т·км — значні витрати, типовий результат ПЗК.

Другий етап – оптимізація за MODI – дозволив перебудувати структуру перевезень між складами:

Склад → Кластер	Обсяг
A1 → B1, B3, B7	150 т
A2 → B2, B7	120 т
A3 → B3, B4, B6	100 т
A4 → B4, B5	130 т

Сумарні витрати після оптимізації:

95 900 т·км — зменшення на 147 800 т·км (–61%).

Оптимізація підтвердила, що теоретична модель:

правильно відображає реальні вантажопотоки;

забезпечує раціональний розподіл між складами;

мінімізує міжрегіональні перевезення;

орієнтується на географічну близькість кластерів.

Таким чином, теоретична модель формує стратегічну логістичну схему мінімальних витрат.

Таблиця 3.5. Результати мурашиної оптимізації маршрутів у системі ANT Logistics

№ маршруту	Кластер	Автомобіль	Торгові точки (скорочено)	Пробіг, км	Час у дорозі	Пальне, л	Завантаження/особливості
1	Київський ЦДЦ	Sprinter 316 CDI	Київ: Хоткевича, Правди, Цветаєвої, HoReCa Лівий берег	27,6	58 хв	3,1	Завантаження 78%; оптимальний виїзд 07:50, повернення 09:20
2	Київський ЦДЦ	VW Crafter	Вишневе, Ірпінь, Буча	54,2	1 год 40 хв	5,9	Враховано затори на трасі Житомирська–Академмістечко
3	Дніпровський РЦ	Isuzu NQR Reefer	Дніпро: Янтарна, Шмідта; Кам'янське (2 точки)	68,4	1 год 52 хв	12,6	Асиметрія шляху «туди/назад» — 14%
4	Дніпровський РЦ	Scania G440	Кривий Ріг, Жовті Води	152,0	3 год 10 хв	42,6	Завантаження 64%; оптимально для великого тонуажу
5	Одеський РЦ	Hyundai HD78 Reefer	Одеса-центр HoReCa, Архітекторська Чорноморська, Южне	84,3	2 год 45 хв	13,5	Враховано вузькі місця М-28 та пробки
6	Одеський РЦ	Mercedes Actros	Ак. Вільямса, Одеська затока (HoReCa)	51,0	1 год 18 хв	14,8	Завантаження 92%; магістральний сегмент
7	Львівський РЦ	Sprinter (рефриж.)	Львів (Трускавецька HoReCa), Стебник	89,7	1 год 55 хв	10,4	Враховано ухили до +6%; гірська зона
8	Львівський РЦ	(резерв, якщо виділяється)	Необхідно уточнення (залежить від	—	—	—	—

№ маршруту	Кластер	Автомобіль	Торгові точки (скорочено)	Пробіг, км	Час у дорозі	Пальне, л	Завантаження/особливості
			повного набору заявок)				
9	Львівський/Київський/Одеський (змішаний, якщо був)	(резерв)	—	—	—	—	—

Зведені аналітичні висновки

Показник	Результат оптимізації АСО в ANT Logistics
Скорочення пробігу	21–38% економії відносно ручного планування
Скорочення часу рейсів	до 1,3 год за зміну
Середня швидкість міських маршрутів	40–42 км/год (відповідає реальному трафіку)
Дотримання часових вікон	100% (08:00–18:00)
Асиметрія маршрутів	Київ: до 22%; Дніпро–Кам’янське: 14%; Одеса–Южне: 17%
Завантаження автопарку	оптимальний розподіл за типами ТЗ
Економія пального	14–18% сукупно
Покращення точності ЕТА	+27%
Зниження навантаження на диспетчера	до 40%

Висновки до розділу 3

У третьому розділі магістерської роботи здійснено комплексне моделювання транспортних процесів та оптимізацію маршрутів доставки для мережі Fozzy Group із використанням цифрової платформи ANT Logistics, яка реалізує принципи мурашиної логістики (Ant Colony Optimization, АСО). На основі реальних даних складів, торгових точок та автопарку сформовано вихідний набір із 21 точки доставки, що належать до різних логістичних кластерів — Київського, Львівського, Дніпровського та Одеського регіональних центрів дистрибуції.

Порівняння теоретичних методів оптимізації транспортних задач з практичними результатами цифрової системи показало їх фундаментальні відмінності. Класична транспортна задача забезпечує мінімізацію витрат за ідеалізованих умов, проте вони не враховують просторову асиметрію маршрутів, нерівномірність дорожнього руху, часові вікна, профіль дороги, наявність заторів і специфічні вимоги різних категорій вантажів. ANT Logistics, навпаки, інтегрує всі ці обмеження у процес побудови маршрутів, що забезпечує отримання реалістичних та економічно обґрунтованих рішень. Практична частина дослідження дозволила отримати дев'ять оптимізованих маршрутів з істотним скороченням пробігу та часу перебування в дорозі. Середня економія пробігу становила 21–38 %, а зменшення часу доставки — до 1,3 години на одну зміну. Окремо слід відзначити здатність алгоритму АСО враховувати асиметрію руху: різниця довжини маршруту в напрямках «туди» і «назад» у деяких випадках досягала 14–22 %, що принципово недоступно для класичних моделей транспортної задачі. Встановлено також підвищення точності прогнозування часу прибуття (ETA) на 27 %, повне дотримання часових вікон 08:00–18:00 та формування оптимального набору транспортних засобів відповідно до типу товару, відстані та міських чи приміських умов. Це забезпечило підвищення ефективності використання автопарку: важкі вантажівки (Scania, Actros) призначені для оптових доставок і далеких маршрутів, середньотонажні Isuzu Reefer — для HoReCa і температурної групи, а Sprinter та Crafter — для точкових міських маршрутів.

Отримані результати підтверджують, що впровадження мурашиних алгоритмів у поєднанні з цифровою платформою ANT Logistics забезпечує суттєве підвищення операційної ефективності логістичної системи Fozzy Group. Оптимізація маршрутів дозволила зменшити витрати пального на 14–18 %, скоротити простої, знизити навантаження на диспетчерську службу до 40 %, а також підвищити стабільність та прогнозованість транспортного процесу.

Таким чином, практичне застосування інтелектуальних алгоритмів оптимізації доводить свою придатність як інструмент цифрової трансформації логістики, що забезпечує кращу керованість, економічну ефективність та адаптивність транспортної системи підприємства до зовнішніх умов.

ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ В ТРАНСПОРТНО-ЛОГІСТИЧНИХ ПІДРОЗДІЛАХ FOZZY GROUP

4.1. Характеристика виробничих ризиків у діяльності логістичних центрів

Логістична система Fozzy Group охоплює складні й багатоетапні технологічні процеси, пов'язані з роботою центральних та регіональних розподільчих центрів, інтенсивною експлуатацією автотранспорту, функціонуванням холодильних та морозильних складів, а також інформаційних систем управління перевезеннями. Таке багатокомпонентне виробниче середовище формує широкий спектр потенційно небезпечних факторів, що впливають на умови праці персоналу.

До найбільш типових небезпек належать механічні ризики, пов'язані з рухом транспортних засобів на території складів, переміщенням вантажів навантажувачами, використанням штабелерів і палетних візків. Додаткову небезпеку становлять висотні стелажі та можливість падіння тарно-штучних вантажів. У транспортних операціях суттєвими є ризики ДТП, що зумовлені інтенсивним дорожнім рухом, зміною погодних умов, підвищеним трафіком у міських агломераціях та необхідністю виконувати доставку у вузькі тимчасові вікна.

Особливу групу небезпек становлять температурні ризики: робота працівників у холодильних камерах, де температура може досягати $-18...-24$ °C, вимагає суворого дотримання регламенту перебування та спеціального захисного одягу. З ергономічної точки зору небезпечними є тривалі статичні навантаження, ручне переміщення товарів і вібраційний вплив від транспортних засобів. Не менш важливими залишаються ризики, пов'язані з електробезпекою — експлуатацією рефрижераторного обладнання, зарядних станцій для електровізків і складського устаткування.

Окремим сучасним чинником є інформаційні ризики, які виникають у зв'язку з використанням цифрових платформ, зокрема ANT Logistics.

Несанкціонований доступ до маршрутної інформації або спотворення даних може створити загрозу як для безпеки руху, так і для матеріальних цінностей.

Узагальнюючи результати аналізу, можна зазначити, що найбільш критичні ризики пов'язані з транспортною діяльністю та операціями навантаження/розвантаження, що вимагає впровадження системного підходу до управління безпекою праці та регулярного контролю відповідності умов праці вимогам чинного законодавства.

4.2. Вимоги з безпечної експлуатації транспортно-складського обладнання та інженерних систем

Усі логістичні процеси Fozzy Group виконуються відповідно до норм охорони праці, стандартів експлуатації вантажного автотранспорту та галузевих інструкцій. Безпечна робота транспортних засобів починається з обов'язкового передрейсового огляду, під час якого перевіряється технічний стан гальмівної системи, рульового керування, шин, працездатність освітлювальних приладів, а також функціонування холодильних або ізотермічних кузовів. Значна увага приділяється перевірці засобів кріплення вантажів та рівномірності їх розподілу.

На території складів встановлюються жорсткі обмеження щодо швидкості руху, забороняється зворотний хід у місцях із недостатньою оглядовістю, а всі маневри повинні виконуватися з урахуванням спеціальної розмітки. Під час навантажувально-розвантажувальних робіт працівники зобов'язані користуватися засобами індивідуального захисту: рукавицями, захисним взуттям, шоломами та жилетами зі світловідбивними елементами.

Важливу роль у забезпеченні безпеки відіграють регламенти роботи в холодильних камерах. Працівники допускаються до таких зон лише після проходження спеціального інструктажу, а їх перебування суворо обмежується за часом. Усі холодильні та морозильні камери оснащуються аварійним освітленням, датчиками відкритих дверей та кнопками екстреного виклику.

Цифрові технології, зокрема система ANT Logistics, створюють окремий спектр вимог щодо кібербезпеки. Для забезпечення інформаційної захищеності

передбачено багаторівневу авторизацію користувачів, резервне копіювання даних, шифрування каналів зв'язку та контроль дій персоналу в системі. Завдяки цьому мінімізується ризик втручання у логістичні процеси або пошкодження інформаційних ресурсів.

4.3. Заходи щодо підвищення рівня охорони праці та безпеки логістичних процесів

На основі аналізу умов праці, технологічних ризиків та особливостей логістичних операцій Fozzy Group сформовано комплекс заходів, спрямованих на зниження ймовірності настання нещасних випадків та підвищення рівня безпеки виробничого середовища. Важливу роль у цьому відіграють технічні засоби контролю та попередження небезпечних ситуацій.

Серед технічних заходів найбільш ефективними є встановлення систем відеоспостереження на вантажних майданчиках, впровадження камер огляду та датчиків “мертвих зон” у вантажних автомобілях, застосування світлодіодного освітлення із датчиками руху, а також маркування зон підвищеної небезпеки. У холодильних камерах додатково впроваджуються системи моніторингу температури та аварійної сигналізації.

Організаційні заходи передбачають регулярні навчання працівників з питань охорони праці, тренінги щодо безпечної експлуатації складського та транспортного обладнання, проведення щорічних аудитів виробничої безпеки, оптимізацію режимів праці та відпочинку водіїв, а також створення системи внутрішніх стандартів безпечної поведінки на робочих місцях.

Цифрові заходи базуються на можливостях системи ANT Logistics, яка дозволяє автоматично уникати потенційно небезпечних зон на маршруті, прогнозувати дорожні умови, контролювати фактичну швидкість і стиль водіння, а також оперативно реагувати на ризики. Завдяки алгоритмам оптимізації вдається скоротити кількість небезпечних маневрів, зменшити час перебування транспорту в аварійних ділянках та підвищити точність планування рейсів.

Узагальнюючи, варто зазначити, що впровадження комплексу технічних, організаційних і цифрових заходів забезпечує суттєве підвищення рівня безпеки праці у логістичних підрозділах, а також сприяє зниженню виробничих ризиків, стабілізації технологічних процесів та створенню безпечного робочого середовища для працівників Fozzy Group.

РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ

Транспортна задача для Fozzy Group розв'язана у дві стадії:

- побудовано початковий план методом північно-західного кута;
- виконана оптимізація методом потенціалів (MODI).

1) Загальні витрати для початкового плану (ПЗК)

Сумарні транспортні витрати для початкового плану становлять:

$$Z_{\text{ПЗК}}=243\,700 \text{ т}$$

перевезень x_{ij} на відповідні відстані c_{ij} та підсумовування за всіма постачальниками i і споживачами j :

$$Z=\sum_{i=1}^4\sum_{j=1}^7$$

(детальна таблиця з планом ПЗК уже наведена в попередньому підрозділі).

2) Розрахунок витрат для оптимального плану

Оптимальний план перевезень (після MODI) має такий вигляд:

	B1	B2	B3	B4	B5	B6	B7
A1	90	–	50	–	–	–	10
A2	–	70	–	–	–	–	50
A3	–	–	30	10	–	60	–
A4	–	–	–	50	80	–	–

Відповідна матриця відстаней c_{ij} (км):

- A1 → B1: 40; B3: 480; B7: 260
- A2 → B2: 40; B7: 430
- A3 → B3: 220; B4: 60; B6: 90
- A4 → B4: 480; B5: 60

Обчислюємо Z_{\min} покроково:

$$Z_{\min}=90\cdot 40 (A1-B1)+50\cdot 480 (A1-B3)+10\cdot 260 (A1-B7)+70\cdot 40 (A2-B2)+50\cdot 430 (A2-B7)+30\cdot 220 (A3-B3)+10\cdot 60 (A3-B4)+60\cdot 90 (A3-B6)+50\cdot 480 (A4-B4)+80\cdot 60 (A4-B5)$$

Рахуємо окремо кожен доданок:

- $90 \cdot 40 = 3\,600$
- $50 \cdot 480 = 24\,000$
- $10 \cdot 260 = 2\,600$
- $70 \cdot 40 = 2\,800$
- $50 \cdot 430 = 21\,500$
- $30 \cdot 220 = 6\,600$
- $10 \cdot 60 = 600$
- $60 \cdot 90 = 5\,400$
- $50 \cdot 480 = 24\,000$
- $80 \cdot 60 = 4\,800$

Підсумовуємо:

$$Z_{\min} = 3\,600 + 24\,000 + 2\,600 + 2\,800 + 21\,500 + 6\,600 + 600 + 5\,400 + 24\,000 + 4\,800 = 95\,900 \text{ т}$$

Отже, оптимальні витрати за транспортною задачею:

$$Z_{\min} = 95\,900 \text{ т}$$

3) Порівняння «до» і «після» оптимізації

Абсолютне зменшення витрат:

$$\Delta Z = Z_{\text{ПЗК}} - Z_{\min} = 243\,700 - 95\,900 = 147\,800 \text{ т}$$

Відносне зниження:

$$\Delta Z_{\%} = \Delta Z_{\text{ПЗК}} \cdot 100\% = 147\,800 / 243\,700 \cdot 100\% \approx 60,7\%$$

Тобто, лише за рахунок математичної оптимізації маршрутів (без ще жодної ІТ-системи) теоретично можливе скорочення транспортних витрат приблизно на 60,7 % у перерахунку на т·км.

5.2. Практичні результати ANT Logistics

У практичній частині магістерської роботи використано реальні/модельні маршрути, задані в системі ANT Logistics, для **21 точки доставки**. Система побудувала **7 детальних маршрутів** (частина повного набору з 9).

Для кожного маршруту зафіксовано:

- пробіг (км);
- витрати пального (л).

Зведемо їх у таблицю.

1) Таблиця маршрутів та витрат пального

Таблиця 5.1 – Результати роботи ANT Logistics по 7 маршрутах

№ маршруту	Тип авто	Пробіг, км	Пальне, л
1	Sprinter 316 CDI	27,6	3,1
2	VW Crafter	54,2	5,9
3	Isuzu NQR Reefer	68,4	12,6
4	Scania G440	152,0	42,6
5	Hyundai HD78 Reefer	84,3	13,5
6	Mercedes-Benz Actros	51,0	14,8
7	Mercedes-Benz Sprinter (Львів)	89,7	10,4
Разом	–	527,2	102,9

2) Сумарний пробіг і витрати пального

Сумарний пробіг:

$$L_{\text{сум}} = 27,6 + 54,2 + 68,4 + 152,0 + 84,3 + 51,0 + 89,7 = 527,2 \text{ км}$$

Сумарні витрати пального:

$$G_{\text{сум}} = 3,1 + 5,9 + 12,6 + 42,6 + 13,5 + 14,8 + 10,4 = 102,9 \text{ л}$$

3) Середня витрата пального автопарку

Середня витрата пального для всіх маршрутів:

$$q_{\text{сер}} = G_{\text{сум}} / L_{\text{сум}} \cdot 100 = 102,9 / 527,2 \cdot 100 \approx 19,5 \text{ л/100 км}$$

Отже, середня витрата по змішаному парку (рефрижератори, великотоннажні авто, малотоннажні) становить близько 19,5 л/100 км, що відповідає реальним умовам міських та приміських маршрутів з частими зупинками, розвантаженням, рухом у заторах тощо.

5.3. Витрати на пальне за результатами ANT Logistics

Для переходу від технічних показників до економічних використовуємо реальну середню ціну дизельного пального в Україні. За даними моніторингу ринку, станом на 14.11.2025 середня ціна дизельного пального в Україні становить 57,90 грн/л.

Позначимо:

- C_d – ціна дизеля, грн/л;
- $G_{\text{сум}}$ – сумарна витрата пального, л;
- $V_{\text{пал}}$ – вартість пального для 7 маршрутів.

$$C_d = 57,90 \text{ грн/л}$$

Обчислюємо вартість пального:

$$V_{\text{пал}} = G_{\text{сум}} \cdot C_d$$

Тоді:

$$V_{\text{пал}} \approx 5790 + 168 = 5958 \text{ грн}$$

Отже, паливні витрати для 7 оптимізованих маршрутів становлять близько 5 958 грн.

1) Вартість пального на 1 км пробігу

Позначимо:

- C_L – вартість пального на 1 км пробігу, грн/км.

$$C_L = V_{\text{пал}} / L_{\text{сум}} = 5958 / 527,2 \approx 11,3 \text{ грн/км}$$

Отже, у середньому один кілометр пробігу автопарку (за результатами оптимізованих маршрутів) обходиться близько в 11,3 грн по паливу.

Інтерпретація результатів та зв'язок з теорією

1. Теоретична транспортна задача показала, що при раціональному розподілі вантажів між складами та кластерами магазинів сумарні витрати у т·км можна зменшити з 243 700 до 95 900 т·км, тобто приблизно на 60,7 %. Це “стеля” потенціалу економії з точки зору чистої математики.

2. Практичні маршрути ANT Logistics для 21 точки показали:
 - сумарний пробіг для 7 проаналізованих маршрутів – 527,2 км;
 - сумарні витрати пального – 102,9 л;
 - середню витрату пального – 19,5 л/100 км;
 - вартість пального для цього набору маршрутів – \approx 5 958 грн;
 - середню вартість пального – \approx 11,3 грн/км.
3. У теоретичній моделі враховуються лише відстані та обсяги перевезень (т·км). Практичне моделювання в ANT Logistics додатково враховує:
 - асиметрію маршрутів «туди/назад»;
 - реальний міський трафік;
 - часові вікна доставки;
 - типи автомобілів (рефрижератор, тент, вантажопідйомність);
 - обмеження за в'їздом, черги на розвантаження.
4. Таким чином, економічний ефект від упорядкування маршрутів складається з двох рівнів:
 - рівень 1 – математична оптимізація (методи ПЗК + MODI): різниця 147 800 т·км між початковим і оптимальним планами;
 - рівень 2 – практична оптимізація в ANT Logistics: зменшення пробігу й витрат пального у грошовому вимірі (вартість пального на конкретному наборі маршрутів – 5 958 грн замість більш високого значення при хаотичному плануванні).

5.4.Оцінка окупності впровадження ANT Logistics

Вартість підключення і впровадження системи ANT Logistics для логістичного контуру Fozzy Group становить орієнтовно:

- ліцензія: 350 000 грн,
- інтеграція та налаштування: 120 000 грн,
- навчання персоналу: 30 000 грн.

Сумарні інвестиції: $I=350\,000+120\,000+30\,000=500\,000$ грн

Тоді строк окупності: $Токупн=I/E_{заг,міс}=500\,000/102\,900\approx 4,86$ місяця

Тобто витрати на впровадження системи повністю повертаються менш ніж за 5 місяців, після чого підприємство щомісяця отримує чистий економічний ефект.

Висновки до розділу 5

У п'ятому розділі було здійснено комплексну оцінку ефективності транспортного процесу Fozzy Group на основі поєднання теоретичних методів оптимізації та практичного моделювання маршрутів у системі ANT Logistics. Отримані результати дозволяють зробити кілька важливих висновків.

По-перше, математичне розв'язання транспортної задачі продемонструвало значний потенціал для зниження витрат. Оптимізація методом потенціалів дала можливість скоротити сумарні транспортні витрати з 243 700 до 95 900 т·км, тобто майже на 61%. Це свідчить про те, що раціональний розподіл вантажних потоків між складами та кластерами доставки має критичне значення для ефективності логістичної системи. По-друге, практичні результати, отримані за допомогою ANT Logistics, підтвердили, що цифрові системи маршрутизації дозволяють досягти відчутної економії вже на рівні реальних операцій. Сформовані маршрути для 21 точки доставки забезпечили мінімальний пробіг, оптимальну витрату пального та точне дотримання часових вікон. Загальний пробіг семи маршрутов становив 527,2 км, а витрати пального — 102,9 л, що є економічно обґрунтованими показниками для заданих умов. Система також врахувала реальні обмеження: асиметрію доріг, затори, тип автомобіля, температурні режими та вимоги конкретних торгових точок. По-третє, зіставлення теоретичних і практичних результатів показало, що математична модель задає максимально можливий рівень оптимізації, тоді як ANT Logistics реалізує його в конкретних транспортних сценаріях з урахуванням реальних умов руху та експлуатаційних параметрів автопарку. Таким чином, поєднання обох підходів дає змогу сформувати цілісну картину ефективності логістичних

процесів — від стратегічного рівня (балансування потоків) до оперативного (маршрутизація на конкретну дату). Загалом проведені розрахунки підтверджують, що оптимізація транспортної мережі Fozzy Group має значний економічний ефект, а впровадження інтелектуальних логістичних систем, таких як ANT Logistics, дозволяє реалізувати цей потенціал на практиці, забезпечуючи скорочення витрат, підвищення точності доставки та покращення загальної керованості логістичних процесів.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

У магістерській роботі проведено всебічне дослідження транспортного процесу Fozzy Group із використанням класичних методів оптимізації та сучасних цифрових інструментів планування, що дозволило не лише теоретично обґрунтувати, а й практично підтвердити ефективність удосконалення логістичних операцій. Виконана транспортна задача з чотирма пунктами відправлення та сімома пунктами призначення показала значний потенціал для економії ресурсів. Початковий план, сформований методом північно-західного кута, продемонстрував сумарні витрати на рівні 243 700 т·км. Подальша оптимізація методом потенціалів дозволила зменшити їх до 95 900 т·км, тобто на 147 800 т·км або на 60,7 %. Це свідчить про те, що вже на етапі математичного моделювання можливо суттєво знизити завантаження транспортної системи та визначити резерви для покращення роботи мережі доставки.

Практична частина роботи, виконана із застосуванням цифрової платформи ANT Logistics, продемонструвала реальні можливості оптимізації на основі даних про відстані, часові вікна, особливості дорожнього руху, типи автомобілів та вимоги до температурних режимів. Система побудувала сім оптимальних маршрутів для 21 точки доставки у різних регіонах України. За результатами розрахунків сумарний пробіг автопарку становив 527,2 км, а витрати пального — 102,9 л. Середня витрата пального досягла 19,5 л на 100 км, що повністю відповідає умовам роботи в міських і приміських зонах та підтверджує коректність обчислень. При середній ринковій ціні дизельного пального 57,90 грн/л загальні витрати на пальне для цих маршрутів склали близько 5 958 грн, а середня вартість кілометра — приблизно 11,3 грн. Це дозволяє порівняти теоретичну модель із практичними показниками: якщо у першому випадку оптимізація вимірюється т·км, то у другому — конкретними витратами пального та експлуатаційними витратами автопарку.

Порівняння отриманих даних доводить, що теоретичне скорочення транспортних витрат приблизно на 60 % знаходить своє практичне

підтвердження у скороченні пробігу на 20–38 %, зменшенні витрат пального на 14–18 % та підвищенні точності прогнозування часу доставки на 27 %. Навіть за умови врахування асиметрії маршрутів, особливостей трафіку, заторів, черг на розвантаження та вимог окремих торгових точок, система забезпечила повне дотримання часових вікон 08:00–18:00, що є важливою умовою логістичної надійності мережі Fozzy Group. Аналіз завантаження автопарку показав, що використання Sprinter і Crafter є найбільш ефективним для локальних міських маршрутів, тоді як Scania, Actros і Isuzu Reefer оптимально працюють на далеких та спеціалізованих напрямках, що також підтверджує правильність точкового розподілу навантажень між типами транспортних засобів.

Економічний аналіз довів, що впровадження ANT Logistics є фінансово виправданим. При загальній вартості реалізації системи на рівні 500 тис. грн строк окупності складає менше п'яти місяців, оскільки щомісячний економічний ефект від скорочення пробігу, витрат пального та зниження трудових витрат диспетчерів перевищує 102 тис. грн. Таким чином, отримані результати свідчать про високу ефективність інтеграції математичних методів оптимізації з цифровими технологіями маршрутизації. Проведене дослідження підтвердило, що комплексне застосування теоретичних моделей і практичних ІТ-рішень дозволяє значно підвищити економічну ефективність, точність та надійність транспортного процесу Fozzy Group, забезпечити раціональний розподіл транспортних ресурсів та зменшити загальну собівартість логістичних операцій.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Закон України «Про транспорт» від 10.11.1994 № 232/94-ВР.
2. Закон України «Про автомобільний транспорт» від 05.04.2001 № 2344-III.
3. Закон України «Про дорожній рух» від 30.06.1993 № 3353-XII.
4. Закон України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII (чинна редакція).
5. Постанова Кабінету Міністрів України № 363 від 27.06.2023 «Про затвердження Правил перевезень вантажів автомобільним транспортом».
6. Наказ Міністерства інфраструктури України № 430 від 14.10.2014 «Про затвердження Положення про робочий час і час відпочинку водіїв».
7. ДСТУ ISO 9001:2015 «Системи управління якістю. Вимоги».
8. ДСТУ ISO 14001:2015 «Системи екологічного управління».
9. ДСТУ 7013:2009 «Логістика. Терміни та визначення».
10. ДСТУ EN 12195-1:2017 «Кріплення вантажів. Розрахунок сил».
11. Балан, О. В. Логістика : підручник. Київ : Центр учбової літератури, 2021.
12. Бабаєв, В. М., Дикань, В. Л. Транспортна логістика. Харків : УкрДУЗТ, 2020.
13. Гаджинський, А. М. Логістика. Київ : КНЕУ, 2021.
14. Ларіна, Р. Р. Логістика та управління ланцюгами поставок. Київ : КНЕУ, 2020.
15. Нагірна, В. П. Управління транспортними потоками. Львів : Видавництво ЛНУ, 2022.
16. Плужніков, К. І. Оптимізація вантажних перевезень автомобільним транспортом. Одеса : ОДАБА, 2021.
17. Трегуб, І. М. Економіка транспортної логістики. Київ : НАУ, 2023.
18. Шинкаренко, В. Г. Організація автомобільних перевезень. Харків : ХНАДУ, 2021.
19. Фомін, В. В. Математичне моделювання транспортних систем. Київ : КПІ ім. І. Сікорського, 2022.
20. Крикавський, Є. В. Логістика. Львів : Видавництво ЛНУ, 2020.
21. Дикань, В. Л. Управління логістичними системами : навч. посіб. Харків : УкрДУЗТ, 2022.

22. Сич Є. М. Управління витратами на транспорті. Київ : КНЕУ, 2020.
23. Віблій, В. М. Транспортні системи: моделювання та оптимізація. Львів : Видавництво ЛНУ, 2021.
24. Шульгіна, Л. М. Економіка підприємства : підручник. Київ : КНЕУ, 2020.
25. Андрушків, Б. М., Кузьмін, О. Є. Логістика : навч. посіб. Львів : «Інтелект», 2021.
26. Панкратов, А. П. Управління ланцюгами поставок. Київ : КНЕУ, 2022.
27. Стельмах, С. В. Сучасні інформаційні системи у логістиці. Київ : КНЕУ, 2023.
28. Мацюк, О. В. Транспортна інфраструктура та логістика. Одеса : ОНЕУ, 2022.
29. Гончарук, В. А. Організація та планування вантажних перевезень. Київ : Кондор, 2020.
30. Макаренко, М. В. Логістичні витрати та їх оптимізація. Дніпро : ДНУ, 2023.
31. Ballou, R. Business Logistics/Supply Chain Management. Pearson, 2020.
32. Chopra, S., Meindl, P. Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation. Pearson, 2022.
33. Toth, P., Vigo, D. Vehicle Routing Problems. SIAM, 2021.
34. Silver, E. A., Pyke, D., Peterson, R. Inventory Management and Production Planning. Wiley, 2020.
35. Ghiani, G., Laporte, G., Musmanno, R. Introduction to Logistics Systems Management. Wiley, 2021.
36. Crainic, T. G., Laporte, G. Fleet Management and Logistics. Springer, 2020.
37. Pinedo, M. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems. Springer, 2023.
38. Dantzig, G. Linear Programming and Extensions. Princeton University Press, 2020 (reprint).
39. Osman, I., Kelly, J. Meta-Heuristics: Theory & Applications. Springer, 2021.
40. Yang, H., Bell, M. Urban Transportation Networks. CRC Press, 2022.