

Міністерство освіти і науки України  
Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет Комп'ютерних наук  
(повна назва)  
Кафедра Інформаційно управляючих систем  
(повна назва)

**АТЕСТАЦІЙНА РОБОТА**  
**Пояснювальна записка**

рівень вищої освіти другий (магістерський)  
(рівень вищої освіти)

Дослідження методів оптимізації транспортних перевезень  
(тема)

Виконав: студент 2 курсу, групи \_\_\_\_\_  
ІУСТМ-18-1  
Кошевий Д.О.  
(прізвище, ініціали)

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

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

Освітня програма Інформаційні управляючі системи та технології  
(повна назва освітньої програми)

Керівник проф. Левикін В.М.  
(посада, прізвище, ініціали)

Допускається до захисту

Зав. кафедри ІУС

\_\_\_\_\_  
(підпис)

Петров К.Е.  
(прізвище, ініціали)

2019 р.

Харківський національний університет радіоелектроніки

Факультет \_\_\_\_\_ Комп'ютерних наук \_\_\_\_\_  
(повна назва)  
Кафедра \_\_\_\_\_ Інформаційно управляючих систем \_\_\_\_\_  
(повна назва)  
Рівень вищої освіти \_\_\_\_\_ другий (магістерський) \_\_\_\_\_  
Спеціальність \_\_\_\_\_ 122 – Комп'ютерні науки \_\_\_\_\_  
(код і повна назва)  
Тип програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)  
Освітня програма \_\_\_\_\_ Інформаційні управляючі системи та технології \_\_\_\_\_  
(повна назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри \_\_\_\_\_  
(підпис)  
« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2019 р.

**ЗАВДАННЯ**  
НА АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Студенту \_\_\_\_\_ Кошовому Денису Олеговичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Дослідження методів оптимізації транспортних перевезень затверджена наказом університету від \_\_\_\_\_ 31 жовтня 2019 р.
2. Термін подання студентом роботи до екзаменаційної комісії 17 грудня 2019
3. Вихідні дані до роботи \_\_\_\_\_ Науково-технічні публікації та інтернет джерела з тематики атестаційної роботи
4. Перелік питань, що потрібно опрацювати в роботі Вступ; Аналіз існуючих методів оптимізації транспортних перевезень та постановка задачі дослідження; Обґрунтування мети вдосконалення математичної моделі транспортної задачі та формування вимог до неї; Розробка вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі; Розробка алгоритму реалізації вдосконаленої моделі транспортної задачі; Дослідження вдосконаленої моделі транспортної задачі; Аналіз вірогідності вдосконаленої моделі транспортної задачі; Практичне використання вдосконаленої моделі транспортної задачі; Висновки

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів роботи	Терміни виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз літератури та Інтернет-джерел	05.11.2019 – 07.11.2019	
2	Постановка задачі	08.11.2019	
3	Обробка матеріалу	08.11.2019 – 11.11.2019	
4	Аналіз існуючих методів оптимізації транспортних перевезень та постановка задачі дослідження	12.11.2019 – 16.11.2019	
5	Розробка вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі	16.11.2019 – 21.11.2019	
6	Дослідження вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі	21.11.2019 – 25.11.2019	
7	Практичне використання вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі	25.11.2019 – 27.11.2019	
8	Написання пояснювальної записки	27.11.2019 – 02.12.2019	
9	Підготовка презентації	02.12.2019 – 06.12.2019	
10	Перевірка на плагіат	09.12.2019	
11	Попередній захист	16.12.2019	
12	Захист	17.12.2019	

Дата видачі завдання 4 листопада 2019 р.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ проф. Левикін В.М.  
(підпис) (посада, прізвище, ініціали)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до атестаційної роботи містить: 81 сторінку, 19 рисунків, 12 таблиць, 18 джерел.

ТРАНСПОРТНІ ПЕРЕВЕЗЕННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ ПЕРЕВЕЗЕНЬ,  
ЛОГІСТИКА, ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА, МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ,  
МАРШРУТ, ІНФОРМАЦІЙНА СИСТЕМА, БАЗА ДАНИХ

Метою даної роботи є дослідження методів оптимізації транспортних перевезень та вдосконалення математичної моделі класичної транспортної задачі, завдяки якій розробка опорного плану перевезень має бути більш ефективною за рахунок введення нових обмежень на завантаженість і якість покриття доріг. Вдосконалення моделі обумовлено необхідністю дуже часто перебудовувати маршрут від пунктів відправлення до пунктів призначення за умов погіршення погодних умов напередодні виконання перевезення тощо.

В ході виконання даної роботи було проаналізовано модель класичної транспортної задачі, було проведено дослідження найбільш популярних методів оптимізації перевезень, доведено актуальність даного дослідження та було обґрунтовано мету вдосконалення математичної моделі транспортної задачі, сформовані критерії ефективності відповідно до поставленої задачі.

Вдосконалена математична модель транспортної задачі була проаналізована та досліджена на основі експериментальних розрахунків.

В роботі також розглянуто практичне застосування вдосконаленої моделі, що доводить її ефективність та актуальність дослідження.

## **ABSTRACT**

Explanatory note to the certification work contains: 81 pages, 18 images, 12 tables, 18 sources.

TRANSPORTATION, OPTIMIZATION OF TRANSPORTATION, LOGISTICS, TRANSPORTATION PROBLEM, MATHEMATICAL MODEL, ROADMAP, INFORMATION SYSTEM, DATABASE

The purpose of this work is to investigate methods of optimization of transport traffic and to improve the mathematical model of the classical transport problem, by which the development of a basic plan of transportation should be more effective due to the introduction of new restrictions on congestion and quality of road coverage. Improvement of the model is due to the need very often to rebuild the route from the point of departure to the destination, in case of worsening weather conditions before transportation and so on.

In the course of this work, the model of the classical transport problem was analyzed, the most popular methods of transportation optimization were investigated, the relevance of this study was proved, and the purpose of improving the mathematical model of the transport problem was substantiated, the efficiency criteria were formed in accordance with the task.

An advanced mathematical model of the transport problem has been analyzed and investigated on the basis of experimental calculations.

The paper also examines the practical application of an improved model, which proves its effectiveness and relevance of research.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	8
ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	11
1.1 Опис актуальності дослідження методів оптимізації транспортних перевезень.....	11
1.2 Аналіз існуючих методів оптимізації транспортних перевезень.....	12
1.2.1 Модель транспортної задачі.....	13
1.2.2 Аналіз методу північно-західного кута .....	15
1.2.3 Аналіз методу мінімальної вартості .....	19
1.2.4 Аналіз методу потенціалів.....	22
1.3 Обґрунтування мети та формування вимог до вдосконалення математичної моделі транспортної задачі.....	23
1.3.1 Мета вдосконалення математичної моделі.....	24
1.3.2 Вимоги до математичної моделі.....	24
1.4 Формування критеріїв оптимальності до вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі.....	25
1.5 Постановка задачі дослідження.....	26
2 РОЗРОБКА ВДОСКОНАЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ.....	28
2.1 Розробка вдосконаленої математичної моделі.....	28
2.2 Розробка алгоритму реалізації вдосконаленої моделі перевезень.....	32
2.3 Розробка логічної моделі бази даних рішення задачі побудови плану перевезень.....	36
3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ.....	37

3.1	Методика проведення досліджень вдосконаленої моделі.....	37
3.2	Аналіз вірогідності реалізації вдосконаленої моделі.....	38
3.3	Аналіз ефективності вдосконаленої моделі з використанням критеріїв ефективності.....	38
3.4	Аналіз області використання вдосконаленої моделі.....	45
4	ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ.....	47
4.1	Програмне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень.....	47
4.1.1	Системне програмне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень.....	48
4.1.2	Опис розробленої програми.....	49
4.2	Технічне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень.....	53
4.3	Аналіз практичного використання вдосконаленої моделі транспортної задачі.....	55
	ВИСНОВКИ .....	57
	ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	58
	Додаток А «Графічний матеріал до магістерської роботи».....	60

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ**

АТП – автотранспортне підприємство;

БД – база даних;

СУБД – система управління базами даних;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ІС – інформаційна система;

ПЗ – програмне забезпечення;

IDE – інтегроване середовище розробки (Integrated Development Environment);

Java – мова програмування Java;

JDBC – Java Data Base Connectivity;

JVM – віртуальна машина Java (Java Virtual Machine).

## ВСТУП

Транспорт є однією з ключових галузей будь-якої держави, найважливішим фактором ефективного розвитку економіки. Становлення ринкових економічних відносин посилює цю роль транспорту, так як при його особистій участі формуються регіональні товарні ринки.

У структурі суспільного виробництва транспорт належить до сфери виробництва матеріальних послуг. Транспорт як складова частина більш великої системи, тобто логістичного ланцюга, привів до необхідності розглядати його в різних аспектах. З точки зору вивчення ефективності роботи окремих видів транспорту інтерес представляють перевезення вантажів між пунктами відправлення та призначення на кожному з них. Однак з позиції організації перевезень доцільно аналізувати весь процес перевезення в цілому “від дверей” відправника вантажу “до дверей” вантажоодержувача. Якщо ж враховувати інтереси клієнтури, то тут необхідно брати до уваги не тільки перевезення на магістральних видах транспорту, а й обробку, зберігання, упаковку і розпаковування, подачу матеріалів до верстатів в цеху і всі пов'язані з цим процеси інформації, що супроводжують матеріальний потік. Такий підхід сприяє оптимальному вибору транспортних послуг, бо якість перевезень, як правило, в більшій мірі відбивається на загальних витратах, ніж собівартість перевезень.

Особливе місце серед різних видів транспорту займає автомобільний. Він більш мобільний за своєю природою і менш залежить від зовнішніх факторів. У більшості країн автомобільний транспорт займає провідне місце за обсягами перевезень вантажів і пасажирів. Цей вид перевезень надзвичайно гнучкий щодо маршрутів і графіків руху. Вантажівки в змозі перевозити товар “від дверей до дверей”, позбавляючи відправника від необхідності зайвих перевезень. Вантажівки забезпечують більш високу оперативність послуг, що надаються.

Логістика – це бізнес-концепція, що базується на залученні окремих взаємопов'язаних елементів в загальний процес з метою запобігання нераціонального витрачання ресурсів компанії. Одним з напрямків організації транспортної логістики є оптимізація не тільки витрат по залученню автотранспортних засобів на підприємстві, але також і оптимізації самих перевезень. А так як до 50% всіх витрат на логістику пов'язано саме з транспортними витратами, то, відповідно, від ефективності вирішення даних питань буде залежати прибуток компанії, її становище на ринку, імідж, конкурентоспроможність і т. д.

Оптимізація транспортних перевезень – це використання методів і технологій, що дозволяють розрахувати маршрути за витратами, пов'язаними з перевезеннями.

Об'єктом дослідження в рамках магістерської атестаційної роботи є процес оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови маршрутів перевезень чи їх корегуванні.

Предметом дослідження являються методи оптимізації транспортних перевезень, які використовуються в процесі побудови маршрутів перевезення, та знаходяться в математичних апаратах інформаційних систем.

Метою роботи є дослідження існуючих методів оптимізації транспортних перевезень і вдосконалення математичної моделі транспортної задачі, яка має бути більш ефективною при використанні разом з існуючими методами оптимізації, шляхом введення нових обмежень на якість покриття доріг та інтенсивності транспортного потоку на цих дорогах.

Магістерська атестаційна робота виконана згідно з вимогами стандарту ДСТУ 3008-2016 [1] та методичними вказівками 2019 року щодо розробки та оформлення магістерської атестаційної роботи за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки та освітньою програмою «Інформаційні управляючі системи та технології [2].

# 1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ МЕТОДІВ ОПТИМІЗАЦІЇ ТРАНСПОРТНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ ТА ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

## 1.1 Опис актуальності дослідження методів оптимізації транспортних перевезень

Актуальність теми полягає у тому, що на сьогоднішній день транспортні перевезення є найбільш перспективним напрямком в діяльності будь-якого підприємства і є невід'ємною частиною економічного розвитку країни. Для сучасного бізнесу важливо налагодити всі процеси, від вибору постачальників до доставки товару клієнту. При цьому одна з найважливіших і витратних областей – це логістика транспортних перевезень. Її компетенція поширюється від доставки матеріалів на виробництво до розвезення готового товару кінцевим покупцям [3].

Логістика – наука про оптимальне управління матеріальними та іншими супутніми потоками в будь-якій сфері людської діяльності. Логістика, в даний час, одна з найбільш затребуваних наук і управлінських практик. І не тільки в економіці, але і в інших областях (політиці, містобудуванні, інженерії, екології та ін.). Логістика займається питаннями оптимізації роботи систем, основу яких складають потоки. Це можуть бути як потоки в звичному нам розумінні слова (нафто-, газопроводи інші комунікації), так і транспортні потоки, потоки ресурсів на виробництві, інформаційні потоки в мережах [4].

Грамотно організована система перевезень дозволяє скоротити витрати на утримання автопарку, а також мінімізувати ризики затримок і псування вантажу. Саме для цього необхідно постійно оптимізувати систему транспортної логістики, тим самим зменшувати витрати без втрати якості перевезення [4].

Транспортна задача – це алгоритм рішення лінійних рівнянь або рішення іншими способами з метою знайти оптимальний план перевезень. Змінними в

рішенні таких задач є пункти – від точки постачальника до точки споживача (клієнта). Головною метою вирішення таких завдань є зниження витрат і максимальна оптимізація транспортної діяльності підприємства [5].

Наприклад, якщо компанія з перевезень може своєчасно бути поінформована про пробки на дорозі, їй так легше буде скорегувати маршрут своїх машин заздалегідь або ж шляхом. Інформованість, економія, розрахунок руху по маршруту і інші технології оптимізації дозволяють доставити вантаж клієнта швидко, вчасно і з максимальною збереженням вантажу.

Оптимізація автотранспортних перевезень – це використання методів і технологій, що дозволяють максимально точно розрахувати час керування маршрутами та витратами, пов'язаними з перевезеннями [5].

Поняття оптимізації вантажних перевезень полягає у постійному, регулярному удосконаленні системи перевезення (доставки, завантаження/розвантаження) вантажів клієнтів [6].

Беручи до уваги методи оптимізації перевезень вантажів або пасажирів, забезпечуючи безпеку вантажу, а також точно розраховуючи час відбуття, прибуття, завантаження-розвантаження і простою, цілком можна зробити роботу транспортних ліній якісними [6].

Це впливає на різноманітні фактори, такі як час виконання, ефективність виконання вантажних перевезень, а також на найголовніше – витрати та прибуток автотранспортного підприємства. З оптимізацією перевезень підприємство завжди буде впевнено рухатися в бік зростання і максимально якісного обслуговування в сфері надання послуг логістики.

## 1.2 Аналіз існуючих методів оптимізації транспортних перевезень

У сучасному логістичному менеджменті розроблена методологічна база, що дозволяє знизити витрати на транспортування вантажів і пасажирів.

Рішення в рамках даних методів приймаються на основі математичного моделювання. Це можуть бути алгоритми для комп'ютерних розрахунків або евристичні моделі.

Транспортна задача – це математична задача лінійного програмування спеціального вигляду про пошук оптимального розподілу однорідних об'єктів з мінімізацією витрат на переміщення [7].

Рішення транспортної задачі починається з пошуку допустимого початкового рішення (опорний план перевезень), щоб всі запаси постачальників були розподілені по споживачах. Допустиме початкове рішення не обов'язково виявляється оптимальним, а метод його знаходження може бути як простим (метод північно-західного кута або аналоги) або більш складним і наближеним до оптимального рішення (мінімальних тарифів, метод Фогеля) [8].

В рамках цього дослідження будуть розглянуті та проаналізовані математична модель класичної транспортної та наступні методи оптимізації транспортних перевезень (найбільш поширенні та актуальні): метод північно-західного кута, метод мінімальної вартості (мінімальних тарифів) та метод потенціалів для визначення оптимального плану перевезення.

### 1.2.1 Модель транспортної задачі

Транспортна задача – це специфічна задача лінійного програмування, застосовувана для визначення найекономічнішого плану перевезення однорідної продукції від постачальників до споживачів [9]. Математична модель транспортної задачі має такий вигляд:

$$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min \quad (1)$$

за обмежень:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i \quad (i = \overline{1, m}); \quad (2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j \quad (j = \overline{1, n}); \quad (3)$$

$$x_{ij} \geq 0 \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (4)$$

де  $x_{ij}$  – кількість продукції, що перевозиться від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го споживача;

$c_{ij}$  – вартість перевезення одиниці продукції від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го споживача;

$a_i$  – запаси продукції  $i$ -го постачальника;

$b_j$  – попит на продукцію  $j$ -го споживача.

Якщо в транспортній задачі загальна кількість продукції постачальників дорівнює загальному попиту всіх споживачів, тобто

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j, \quad (5)$$

то таку транспорту задачу називають збалансованою, або закритою. Якщо ж така умова не виконується, то транспортну задачу називають незбалансованою, або відкритою [9].

Планом транспортної задачі називають будь-який невід'ємний розв'язок системи обмежень (2) – (4) транспортної задачі, який позначають матрицею

$$x = (x_{ij}) \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}). \quad (6)$$

Оптимальним планом транспортної задачі називають матрицю:

$$X^* = (x_{ij}^*) \quad (i = \overline{1, m}; j = \overline{1, n}), \quad (7)$$

яка задовольняє умови задачі і для якої цільова функція (1) набуває найменшого значення.

Початкові дані транспортної задачі записуються у вигляді таблиці, яка наведена на рисунку 1.1.

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	...	$B_j$	...	$B_n$	
$A_1$	$C_{11}$	...	$C_{1j}$	...	$C_{1n}$	$a_1$
	$x_{11}$	...	$x_{1j}$	...	$x_{1n}$	
...	...	...	...	...	...	...
$A_i$	$C_{i1}$	...	$C_{ij}$	...	$C_{in}$	$a_i$
	$x_{i1}$	...	$x_{ij}$	...	$x_{in}$	
...	...	...	...	...	...	...
$A_m$	$C_{m1}$	...	$C_{mj}$	...	$C_{mn}$	$a_m$
	$x_{m1}$	...	$x_{mj}$	...	$x_{mn}$	
Потреби	$b_1$	...	$b_j$	...	$b_n$	

Рисунок 1.1 – Вигляд початкових даних транспортної задачі

### 1.2.2 Аналіз методу північно-західного кута

Ідея методу північно-західного кута полягає в тому, що заповнення таблиці перевезень транспортної задачі починається з лівого верхнього (північно-західного) кута, не враховуючи вартостей перевезень. У клітинку записують менше з двох чисел  $a_1$  та  $b_1$ . Далі переходять до наступної клітинки в цьому ж рядку або у стовпчику і заповнюють її і так далі. Закінчують заповнення даної таблиці у правій нижній клітинці. У такий спосіб значення поставок будуть розташовані по діагоналі таблиці [10].

Для того, щоб закріпити даний алгоритм більш детально розглянемо наступний приклад: на три бази  $A_1; A_2; A_3$  поступив товар в кількості 140; 180; 160. Цей вантаж треба перевезти в п'ять пунктів призначення  $B_1; B_2; B_3; B_4; B_5$  в кількостях 60; 70; 120; 130; 100.

Тарифи перевезення записані в таблиці, наведеній на рисунку 1.2.

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	
$A_1$	2	3	4	2	4	140
$A_2$	8	4	1	4	1	
$A_3$	9	7	3	7	2	160
Потреби	60	70	120	130	100	480

Рисунок 1.2 – Тарифи перевезення

Для того, щоб знайти план перевезення, спочатку, не враховуючи вартостей перевезення, задовільняємо потреби першого пункту призначення  $B_1$ , використовуючи запаси першого пункту відправлення  $A_1$ . У нашому прикладі потреби в товарі пункту  $B_1$  становлять  $b_1 = 60$ , а запаси відправника –  $a_1 = 140$ . Тобто із запасів першого пункту відправлення ми можемо повністю задовільнити потреби першого пункту призначення. Тому у клітинку  $A_1B_1$  записуємо менше із значень  $a_1, b$ , тобто 60 [10]. На рисунку 1.3 наведено результат першого кроку побудови плану перевезення (задовільнення потреб першого пункту призначення  $B_1$ ):

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	
$A_1$	2 60	3	4	2	4	140
$A_2$	8	4	1	4	1	180
$A_3$	9	7	3	7	2	160
Потреби	60	70	120	130	100	480

Рисунок 1.3 – Задовільнення потреб першого пункту призначення  $B_1$ 

Тепер переходимо до задоволення потреб другого пункту призначення –  $B_2$  (рисунок 1.4), потреби якого становлять  $b_2 = 70$ . Після задоволення потреб пункту  $A_1$ , залишок запасів першого пункту відправлення становить  $140 - 60 = 80$  (цього достатно, щоб задовільнити

потреби і другого пункту призначення). Тому записуємо в клітинку  $A_1B_2$  значення 70 і переходимо до задоволення потреб пункту  $B_3$ .

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	
$A_1$	2	3	4	2	4	140
	60	70				
$A_2$	8	4	1	4	1	180
$A_3$	9	7	3	7	2	160
Потреби	60	70	120	130	100	480

Рисунок 1.4 – Задовільнення потреб другого пункту призначення  $B_2$

Залишок запасів у першого пункту призначення, після задоволення потреб пунктів призначення  $B_1$  і  $B_2$ , становить  $140 - 60 - 70 = 10$ . Тому третьому споживачеві від першого відправника можемо перевезти лише 10 одиниць продукції (рисунок 1.5). Отже, в клітинку  $A_1B_3$  помістимо число 10.

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	
$A_1$	2	3	4	2	4	140
	60	70	10			
$A_2$	8	4	1	4	1	180
$A_3$	9	7	3	7	2	160
Потреби	60	70	120	130	100	480

Рисунок 1.5 – Задовільнення потреб третього пункту призначення  $B_3$

Після цього, оскільки запаси першого відправника повністю вичерпані, переходимо до використання запасів наступного постачальника  $A_2$ . Його запаси рівні  $a_2 = 180$ . А незадоволені потреби третього пункту призначення  $120 - 10 = 110$ . Тому в клітинку  $A_2B_3$  записуємо число 110, і третій споживач, у такий спосіб, також отримав необхідну кількість продукції.

Подальші кроки задоволення потреб пунктів призначення виглядають так само, тому остаточний результат буде наведений на рисунку 1.6.

Переходимо до задоволення потреб наступного споживача, а саме  $B_4$ . У результаті часткового використання запасів другого пункту відправлення його залишок продукції становить  $180 - 110 = 70$ . Отже від другого пункту відправлення до четвертого пункту призначення можна перевезти лише 70 одиниць продукції. Тому клітинка  $A_2B_4$  міститиме число 70, і цим запаси постачальника  $A_2$  будуть також повністю вичерпані [10].

Переходимо до використання запасів останнього пункту відправлення  $A_3$ . Залишок потреб четвертого пункту становить  $130 - 70 = 60$ . Для їх задоволення скористаємось запасами відправника  $A_3$ . У клітинку  $A_3B_4$  запишемо число 60 і потреби четвертого пункту також повністю задоволені [10].

Переходимо до останнього споживача  $B_5$  з потребами  $b_5 = 100$ , які повністю задовольняються за рахунок залишку третього відправника  $160 - 60 = 100$ , тобто у клітинку  $A_3B_5$  запишемо число 100. Таким чином ми отримали кінцеву таблицю, у заповнених клітинках якої містяться числа, які означають можливий план перевезення продукції з загальною вартістю  $F = 60 * 2 + 70 * 3 + 10 * 4 + 110 * 1 + 70 * 4 + 60 * 7 + 100 * 2 = 1380$  умовних одиниць. Результат побудови опорного плану перевезення за методом північно-західного кута наведений у рисунку 1.6.

Пункти відправлення	Пункти призначення					Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	$B_5$	
$A_1$	2	3	4	2	4	140
	60	70	10			
$A_2$	8	4	1	4	1	180
			110	70		
$A_3$	9	7	3	7	2	160
				60	100	
Потреби	60	70	120	130	100	480

Рисунок 1.6 – Опорний план перевезення

### 1.2.3 Аналіз методу мінімальної вартості

Ідея методу мінімального елемента полягає в тому, що на кожному кроці заповнюють клітинку таблиці, яка має найменшу вартість перевезення одиниці продукції. Такі дії повторюють до тих пір, поки не буде розподілено всю продукцію між пунктами відправлення і пунктами призначення [11].

Складемо розв'язок наступної задачі з допомогою цього методу. Приклад: На три бази  $A_1$ ;  $A_2$ ;  $A_3$  поступив товар в кількості 160; 140 і 170 одиниць відповідно. Цей вантаж потрібно перевезти в чотири пункти призначення  $B_1$ ;  $B_2$ ;  $B_3$ ;  $B_4$ , потреби яких становлять 120; 50; 190; 110 [11]. Тарифи перевезення записані в таблиці, яка представлена на рисунку 1.7.

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	7	8	1	2	160
$A_2$	4	5	9	8	140
$A_3$	9	2	3	6	170
Потреби	120	50	190	110	470

Рисунок 1.7 – Тарифи перевезення

Найменшу вартість має перевезення, яке здійснюється з  $A_1$  в  $B_3$ , ціна перевезення одиниці продукції якого становить 1-ну умовну одиницю. Заповнимо дану клітинку. Оскільки відправник  $A_1$  має в запасі 160 одиниць продукції, а пункт призначення  $B_3$  потребує – 190, то від першого відправника третьому споживачеві можна перевезти лише 160 одиниць продукції [11]. І таким чином запаси першого пункту відправлення повністю вичерпані (перший рядок викреслюємо з розгляду, рисунок 1.8).

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	7	8	1	2	160
			160		
$A_2$	4	5	9	8	140
$A_3$	9	2	3	6	170
Потреби	120	50	190	110	470

Рисунок 1.8 – Часткове задовільнення потреб пункту призначення  $B_3$ 

З клітинок, що залишилися вибираємо ту, в якій знаходиться маршрут з мінімальною вартістю перевезення. Таких клітинок у нас дві:  $A_3B_2$  і  $A_1B_4$ . Виходячи з того, що клітинка  $A_1B_4$  знаходиться в першому рядку, а його ми на попередньому кроці викреслили з розгляду, то будемо заповнювати клітинку  $A_3B_2$ . Обсяг запасів пункту відправлення рівні  $a_3 = 170$ , а потреби  $b_2 = 50$ , тому, за рахунок запасів третього відправника, потреби другого споживача задовільняються в повному обсязі (стовбець під номером два викреслюється з розгляду) і в клітинку  $A_3B_2$  записуємо число 50 [11]. В результаті отримуємо таблицю, яка наведена на рисунку 1.9.

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	7	8	1	2	160
			160		
$A_2$	4	5	9	8	140
$A_3$	9	2	3	6	170
		50			
Потреби	120	50	190	110	470

Рисунок 1.9 – Задовільнення потреб пункту призначення  $B_2$ 

Знову вибираємо клітинку (серед тих що залишилися незаповненими) з найменшою вартістю перевезень. Такою клітинкою буде  $A_3B_3$ . Виходячи з того, що запаси третього пункту відправлення становлять  $a_3 = 170 - 50 = 120$ , а потреби третього пункту призначення рівні  $b_3 = 190 - 160 = 30$ , то

ставимо в клітинку  $A_3B_3$  значення 30. І таким чином потреби 3-го пункту призначення задоволені, а стовбець в якому знаходиться даний пункт викреслюємо з розгляду (рисунок 1.10).

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	7	8	1	2	160
			160		
$A_2$	4	5	9	8	140
$A_3$	9	2	3	6	170
		50	30		
Потреби	120	50	190	110	470

Рисунок 1.10 – Задовільнення потреб пункту призначення  $B_3$

Продовжуючи даний процес до тих пір, поки усі запаси не будуть вичерпані, а потреби — задоволеними, ми отримаємо таблицю (рисунок 1.11), у заповнених клітинках якої містяться числа, які означають можливий план перевезення продукції із загальною вартістю  $F = 120 * 4 + 50 * 2 + 160 * 1 + 3 * 30 + 20 * 8 + 90 * 6 = 1530$ .

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси
	$B_1$	$B_2$	$B_3$	$B_4$	
$A_1$	7	8	1	2	160
			160		
$A_2$	4	5	9	8	140
	120			20	
$A_3$	9	2	3	6	170
		50	30	90	
Потреби	120	50	190	110	470

Рисунок 1.11 – Опорний план перевезення за методом мінімальної вартості

### 1.2.4 Аналіз методу потенціалів

Для знаходження оптимального плану транспортної задачі необхідно спочатку визначити опорний план перевезень з допомогою методу північно-західного кута чи методу мінімального елемента, які було розглянуто у попередніх підрозділах [12].

Теорема: Якщо  $X^*$  – деякий опорний план транспортної задачі, для якого виконуються наступні обмеження, а саме:

$$\beta_j + \alpha_i = C_{ij} \text{ для } x_{ij} > 0 \quad (8)$$

$$\beta_j + \alpha_i \leq C_{ij} \text{ для } x_{ij} = 0 \quad (9)$$

тоді даний опорний план є оптимальним.  $\alpha_i; \beta_j$  – називаються потенціалами пунктів відправлення та пунктів призначення.

Перевірку опорного плану на оптимальність здійснюють за допомогою методу потенціалів [12].

Алгоритм даного методу полягає в наступному:

- знаходимо потенціали пунктів відправлення ( $\alpha_i$ ) і пунктів призначення ( $\beta_j$ ). Для цього, для кожної зайнятої клітинки будуємо лінійне рівняння виду  $\beta_j + \alpha_i = C_{ij}$ . В результаті отримуємо систему лінійних рівнянь, розв'язавши яку знайдемо шукані потенціали. Зауваження: Зайнятих клітинок завжди є  $n+m-1$ . Значить ми отримаємо  $n+m-1$  рівняння з  $n+m$  невідомими. Щоб розв'язати дану систему покладаємо  $\alpha_1 = 0$ ;

- для усіх вільних клітинок знаходимо значення  $\alpha_{ij} = C_{ij} - \beta_j - \alpha_i$ . Якщо всі елементи  $\alpha_{ij}$  будуть додатніми, то побудований опорний план є оптимальним. Якщо ж серед значень  $\alpha_{ij}$  будуть від'ємні елементи, то це означає, що побудований опорний план не являється оптимальним і є можливість переходу до іншого опорного плану.

Алгоритм переходу до іншого опорного плану наступний:

- серед усіх від'ємних  $\alpha_{ij}$  знаходимо максимальне по модулю значення. Це означає, що дана клітинка повинна бути зайнятою;
- для клітинки в якій знаходиться максимальне по модулю значення будуємо цикл перерахунку;
- починаючи з клітинки, де знаходиться  $\alpha_{ij}$ , кожен вершину циклу позначаємо знаком плюс і мінус, чергуючи їх послідовно;
- серед значень клітинок позначених мінусом вибираємо мінімальне значення;
- до клітинок позначених знаком плюс додаємо це (мінімальне) значення, а від клітинок позначених знаком мінус – віднімаємо мінімальне значення.

Клітинка де знаходилось мінімальне значення стає вільною. В результаті отримуємо новий опорний план, який знову потрібно перевірити на оптимальність [12].

### 1.3 Обґрунтування мети та формування вимог до удосконалення математичної моделі транспортної задачі

Грамотно організована система перевезень дозволяє скоротити витрати на утримання автопарку, а також мінімізувати ризики затримок і псування вантажу. Саме для цього необхідно постійно оптимізувати систему транспортної логістики, тим самим зменшувати витрати без втрати якості перевезення.

Оптимізація транспорту необхідна при неконтрольованому зростанні витрат, а саме:

- витрат на навантаження і розвантаження;
- витрат на доставку в кінцеву точку і проміжні пункти;
- паливних витрат і витрат на експлуатацію ТЗ;

- оплати праці водіям, механікам і ін.

Таким чином, при зростанні цих показників при збереженні обсягу і швидкості перевезення необхідно проаналізувати поточну логістичну стратегію і визначити причини і можливі ризики збільшення витрат. Як правило, аналізу піддаються наступні етапи:

- спосіб переміщення вантажу і вибір транспортного засобу;
- маршрути перевезень;
- схема розташування складів компанії;
- вибір логістичних посередників (при необхідності).

### 1.3.1 Мета вдосконалення математичної моделі

У класичній транспортній задачі маршрут доставки вантажу оцінюється за пройденим транспортним засобом шляху, але при цьому не враховується безліч інших факторів, що впливають на час доставки.

Отже, метою даної роботи є вдосконалення математичної моделі транспортної задачі, що дозволяє оптимізувати організацію доставки вантажу з точки зору скорочення затрат на перевезення з урахуванням якості дороги, інтенсивності транспортного потоку і погодних умов.

### 1.3.2 Вимоги до математичної моделі

Спираючись на результати аналізу існуючих математичних методів та математичну модель класичної транспортної задачі, вимоги до удосконалення наступні:

- вдосконалення математичної моделі класичної транспортної задачі з урахуванням різноманітних факторів, такі як якість покриття та завантаженість доріг, які безпосередньо впливають на процес доставки вантажа до пунктів призначення, і таким чином скоротити витрати на вантажні перевезення;
- застосування вдосконаленої моделі та побудова маршрутів існуючими методами повинна давати результат, який має бути оптимальним з точки зору затрат на перевезення;
- вдосконалена модель повинна бути орієнтована на оперативне корегування маршрутів при необхідності;
- використання методу не повинно займати багато часу.

#### 1.4 Формування критеріїв оптимальності до вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі

Задля того, щоб мати можливість оцінити та дослідити результати дослідження, а саме застосування удосконаленої математичної моделі з використанням існуючих методів оптимізації вантажних перевезень, були сформовані наступні критерії ефективності, які зображені в таблиці 1.1.

Мінімум транспортної роботи в тонно-кілометрах та вартість вантажного перевезення є основними критеріями оптимальності в транспортній задачі. Окрім цього, бувають випадки, коли неможливо перебудувати маршрут більш оптимально, а навпаки – з додатковими витратами, тому що немає інших альтернатив. У цьому випадку, до перелічених вище критеріїв оптимальності слід додати також те, що перерахована вартість доставки на  $i$ -м шляху не повинна перевищувати 10 відсотків від початкової вартості.

Таблиця 1.1 – Критерії ефективності вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі

Критерій	Спосіб обчислення
Вартість вантажного перевезення (для скорегованого маршруту)	$C_{ij} \rightarrow \min$ <p style="text-align: center;">або</p> $C_{ij(\text{після корегування})} - C_{ij} \leq 10\%$ <p>де <math>i</math> – постачальник; <math>j</math> – споживач</p>
Мінімум транспортної роботи в тонно-кілометрах	$Z_{\text{після корегування}} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min$ <p style="text-align: center;">або</p> $Z_{\text{після корегування}} - Z \leq 10\%$ <p>де <math>x_{ij}</math> – кількість продукції, що перевозиться від <math>i</math>-го постачальника до <math>j</math>-го споживача; <math>c_{ij}</math> – вартість перевезення одиниці продукції від <math>i</math>-го постачальника до <math>j</math>-го споживача; <math>a_i</math> – запаси продукції <math>i</math>-го постачальника; <math>b_j</math> – попит на продукцію <math>j</math>-го споживача.</p>

### 1.5 Постановка задачі дослідження

Об'єктом дослідження в рамках магістерської атестаційної роботи є процес оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови маршрутів перевезень чи їх корегуванні.

Предметом дослідження являються методи оптимізації транспортних перевезень, які використовуються в процесі побудови маршрутів перевезення, та знаходяться в математичних апаратах інформаційних систем.

Метою даної роботи є дослідження методів побудови опорного плану перевезень та вдосконалення математичної моделі транспортної задачі, яка має бути більш ефективною при використанні разом з існуючими методами оптимізації, шляхом введення нових обмежень на якість покриття доріг та інтенсивності транспортного потоку на цих дорогах.

Для досягнення мети, необхідно досліджувати наступні питання:

- проаналізувати існуючі методи оптимізації транспортних перевезень;
- обґрунтувати мету вдосконалення математичної моделі транспортної задачі та сформулювати вимоги до неї;
- сформулювати критерії оптимальності до методів оптимізації перевезень;
- розробити вдосконалену модель транспортної задачі з урахуванням різноманітних факторів при побудові маршрутів перевезень;
- застосувати вдосконалену модель транспортної задачі разом з існуючими методами оптимізації перевезень на практиці задля відображення його переваг над класичною моделлю.

## 2 РОЗРОБКА ВДОСКОНАЛЕНОЇ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

У результаті досліджень існуючих методів оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови їх маршрутів, було отримано дані та опис роботи існуючих методів. Спираючись на результати, була розроблена вдосконалена математична модель транспортної задачі, яка буде проаналізована та детально описана в цьому розділі наукової атестаційної роботи.

### 2.1 Розробка вдосконаленої математичної моделі

На основі аналізу відомих моделей транспортування встановлено, що маршрут доставки вантажу в них оцінюється тільки за пройденим транспортним засобом шляху. При цьому не враховується безліч факторів, які впливають на час доставки вантажу, таких як вид транспортного засобу, інтенсивність транспортного потоку, пропускна здатність дороги, погодні та сезонні умови, час доби та ін. В зв'язку з цим створення математичної моделі, що враховує вплив зазначених чинників на час доставки вантажів, набуває особливої значущості.

Вдосконалення моделі орієнтовано на оперативне корегування маршрутів за урахуванням якості і пропускної здатності доріг. Тобто, пошук альтернативного шляху до місця призначення та перерахування вартості доставки вантажу.

Потребою для корегування можуть бути різні ситуації на дорогах – погіршення стану доріг із-за змінення погодних умов, масштабні аварійні ситуації, перекриття доріг на ремонтні роботи тощо.

Для того, щоб інформація про стан та пропускну здатність доріг була актуальною, доцільно оновлювати цю інформацію через визначений період часу з використання сторонніх систем, такі як GoogleMaps.

При створенні такої моделі недоцільно відмовлятися від відомих добре опрацьованих економіко-математичних методів. Необхідно тільки внести в них корективи, що дозволяють підвищити їх точність за рахунок введення додаткових параметрів [13].

Визначимо параметри математичної моделі. Вхідними є наступні параметри:

$$T = \{M, S, G, Q, C\}, \quad (10)$$

де  $M$  – сукупність маршрутів;

$S$  – довжина шляху;

$G$  – пропускна здатність шляху;

$Q$  – якість покриття шляху;

$C$  – вартість доставки від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го споживача.

В рамках нової моделі оптимізація перевезення полягає у тому, щоб знизити вартість доставки  $C$  (або не перевищити допустиму процентну різницю вартостей) на основі параметрів  $S, G, Q$  для альтернативного маршруту.

Вартість доставки за альтернативним маршрутом представлена у наступному вигляді:

$$C_{\text{доставки}} = (F * S * P) + R, \quad (11)$$

де  $F$  – середня витрата палива;

$S$  – відстань;

$P$  – вартість 1л палива;

$R$  – інші витрати.

Інші витрати  $R$  являють собою сукупність наступних показників – зарплата водія, амортизація транспортного засобу (витрати на ремонт,

обслуговування тощо), податки та прибуток. Ці показники в основному статичні і не будуть нести суттєвий вплив на перерахунок вартості доставки, на відміну від витрат палива, відстані маршруту та вартості 1л палива.

Середня витрата палива  $F$  залежать від максимально дозволеної швидкості транспортного засобу на  $i$ -му шляху  $V_{max}$ , яка в свою чергу залежить від пропускної здатності цього маршруту  $G$  та якості його покриття  $Q$ . Таким чином:

$$V_{max} = \begin{cases} V_k, & V_k \leq V_{pdr}; \\ V_{pdr}, & V_k > V_{pdr}, \end{cases} \quad (12)$$

де  $V_{pdr}$  – максимально допустима швидкість, яка визначається правилами дорожнього руху на даній ділянці дороги;

$V_k$  – максимальна швидкість, яку дозволяє розвинути  $k$ -е транспортний засіб.

Пропускна здатність  $G$   $i$ -го шляху характеризується коефіцієнтами, які розраховуються спеціальними експертами та представляються у вигляді таблиці (таблиця 2.1).

Таблиця 2.1 – Приклад коефіцієнтів пропускної здатності шляху

Сезон року	Коефіцієнт пропускної здатності ( $G_i$ ) на $i$ -му шляху			
	1	2	3	4
Літо	0,99	0,91	0,98	0,99
Осінь	0,75	0,6	0,83	0,87
Зима	0,6	0,4	0,55	0,78
Весна	0,99	1	0,79	0,93

Коефіцієнти якості покриття доріг  $Q$  також розраховується спеціальними експертами та оновлюються у визначений період часу зі застосуванням сторонніх систем, таких як GoogleMaps.

Отримати інформацію щодо стану доріг з GoogleMaps можливо абсолютно безкоштовно за наявності особистого акаунта. Інформація про стан дороги характеризується 4-ма станами (аварійний, незадовільний, задовільний, нормальний) та відповідним діапазоном коефіцієнтів:

$$Q_{\text{ділянки дороги}}^f = \begin{cases} \text{аварійний, якщо } 0 \leq Q < 0,25; \\ \text{незадовільний, якщо } 0,25 \leq Q < 0,5; \\ \text{задовільний, якщо } 0,5 \leq Q < 0,75; \\ \text{задовільний, якщо } 0,75 \leq Q < 1. \end{cases} \quad (13)$$

Таким чином, щоб отримати витрати палива, необхідно розрахувати середню швидкість  $V_{sr}$  транспортного засобу на усіх ділянках  $i$ -го маршруту з урахуванням максимальної швидкості та коефіцієнтів якості та пропускної здатності ділянок:

$$V_{sr} = \sum_{i=1}^n V_{max} * G * Q, \quad (14)$$

де  $V_{max}$  – максимально допустима швидкість на  $i$ -й ділянці шляху;

$G$  – коефіцієнт пропускної здатності на  $i$ -й ділянці шляху;

$Q$  – коефіцієнт якості покриття на  $i$ -й ділянці шляху.

Таким чином, маючи показник середньої швидкості проходження усіх ділянок доріг, середня витрата палива  $F$  отримуються з таблиці, де вказані витрати палива для транспортного засобу залежно від швидкості (таблиці 2.2).

Таблиця 2.2 – Приклад середньої витрати палива

Швидкість, км/год	Середня витрата палива транспортного засобу ( $F_i$ ), л/100 км		
	1	2	3
< 60	25	27	21
60 – 80	20	25	14
> 80	15	19	11

Отже, отримавши усі важливі показники такі як  $S, G, Q$  для альтернативного маршруту, необхідно розрахувати вартість доставки, застосувавши ці показники до формули (11) та порівняти результат з вартістю початкового маршруту згідно визначеним критеріями оптимальності.

## 2.2 Розробка алгоритму реалізації вдосконаленої моделі перевезень

Вдосконалена математична модель транспортної задачі, запропонована у рамках даної атестаційної роботи в цілому не суттєво змінює вже існуючий алгоритм побудови оптимальних перевезень, але додає ще декілька інших кроків, які пов'язані насамперед із корегуванням маршрутів перевезень з урахуванням факторів якості та пропускної здатності доріг. Отже, застосовуючи нову модель задачі, оптимізація буде мати наступні етапи:

- отримання даних щодо вартості доставки від  $i$ -го постачальника до  $j$ -го споживача;
- побудова опорного плану перевезень за одним із досліджених методів – північно-західного кута чи методом мінімальної вартості;
- оптимізація опорного плану методом потенціалів;
- отримання остаточного плану перевезень (шляховий лист);
- корегування маршрутів (за необхідністю). Цей етап також є частиною нової математичної моделі задачі. В цьому етапі виконується пошук альтернативних маршрутів та виконується розрахунок нової вартості доставки, попередньо отримавши актуальні дані щодо завантаженості та якості альтернативних доріг. Це корегування та перебудова маршруту потрібні тоді, коли вже у ході перевезення чи напередодні його здійснення по тим чи іншим причинам необхідно перебудувати маршрут через альтернативні шляхи із-за неможливості здійснити перевезення за поточним маршрутом. Причини можуть бути зовсім різні – перекрита дорога на ремонті роботи, масштабні

аварії, погіршення якості ділянок маршруту через погіршення погодних умов тощо. Отже, в разі перебудови маршруту, змінюється і шляховий лист перевезень відповідно.

Етап корегування маршруту у свою чергу має наступні етапи:

- отримання даних щодо якості та поточного стану завантаженості альтернативних маршрутів. Цей етап являється одним із найважливіших при застосуванні нової математичної моделі. В залежності від цих даних, далі будуть корегуватися вартості кожної доставки з урахуванням цих факторів;
- перерахунок вартості доставки вантажу з урахуванням вище вказаних факторів. Після того, як було виконано перерахунок вартості, слід порівняти ці результати з початковими згідно критеріям оптимальності, які було визначено у постановці завдання.

Алгоритм оптимізації маршрутів перевезень включає в себе п'ять етапів, які описані вище, та на основі яких було розроблено цей алгоритм зі застосуванням вдосконаленої моделі транспортної задачі. Базовий алгоритм представлено на рисунку 2.1.

Що стосується етапу “корегування маршруту”, то нижче також наведена його декомпозиція. Цей етап являється не обов'язковим (лише за необхідності перебудови маршруту у разі змінення ситуації на визначених маршрутах перевезень), але він повинен бути розглянутий більш детально, тому що він і використовує усі нові вхідні параметри математичної моделі транспортної задачі. Деталізація етапу “корегування маршруту” наведена на рисунку 2.2.

Як видно на рисунку 2.2, однією з особливостей та переваг нової математичної моделі являється те, що з використанням таких сервісів як GoogleMaps, можливо отримати актуальний стан щодо завантаженості доріг та використовувати це разом із інформацією щодо стану доріг і розрахувати вартість доставки більш точно. Шляховий лист оновлюється відповідно до перерахунків.

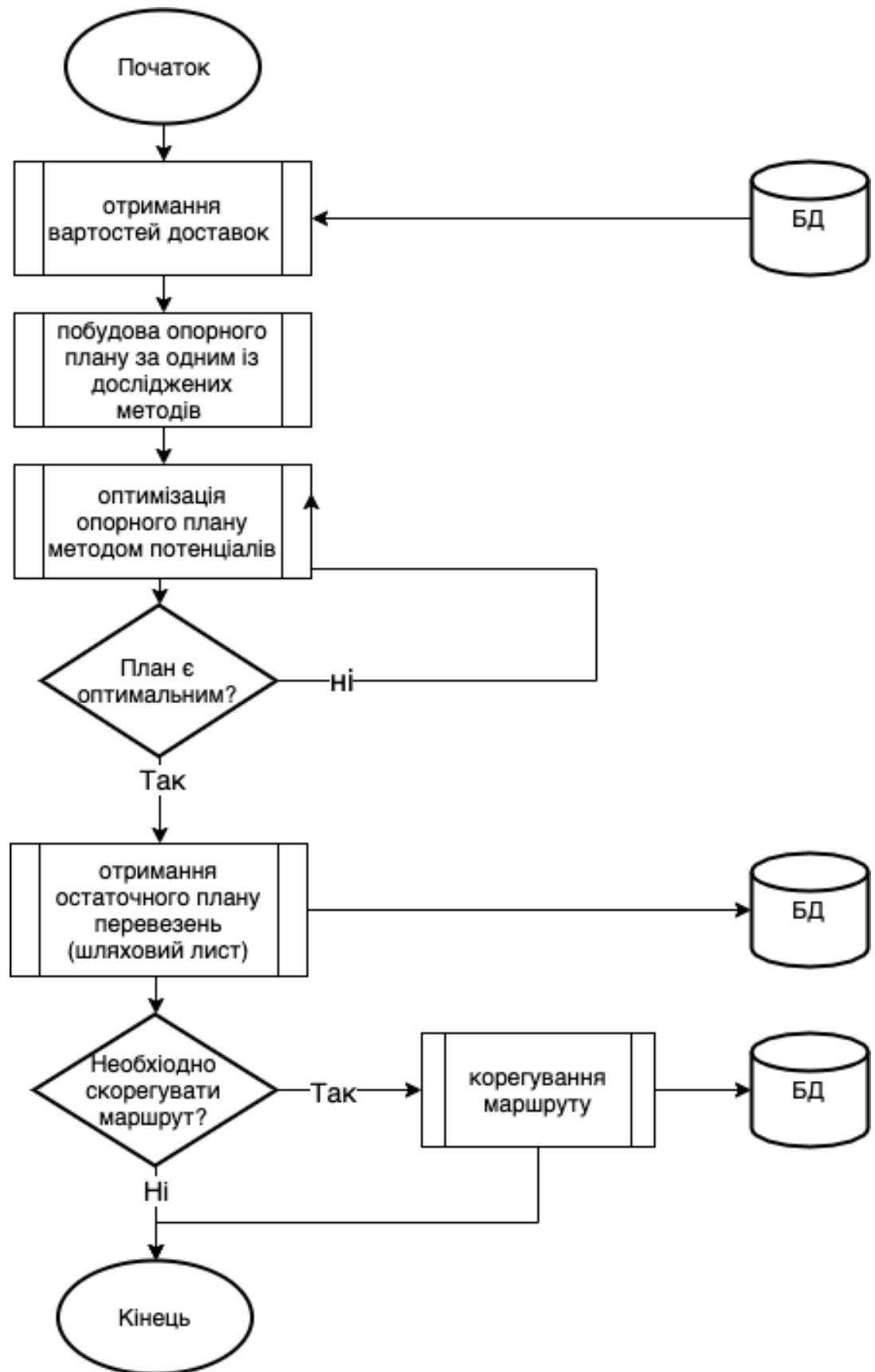


Рисунок 2.1 – Базовий алгоритм оптимізації транспортних перевезень

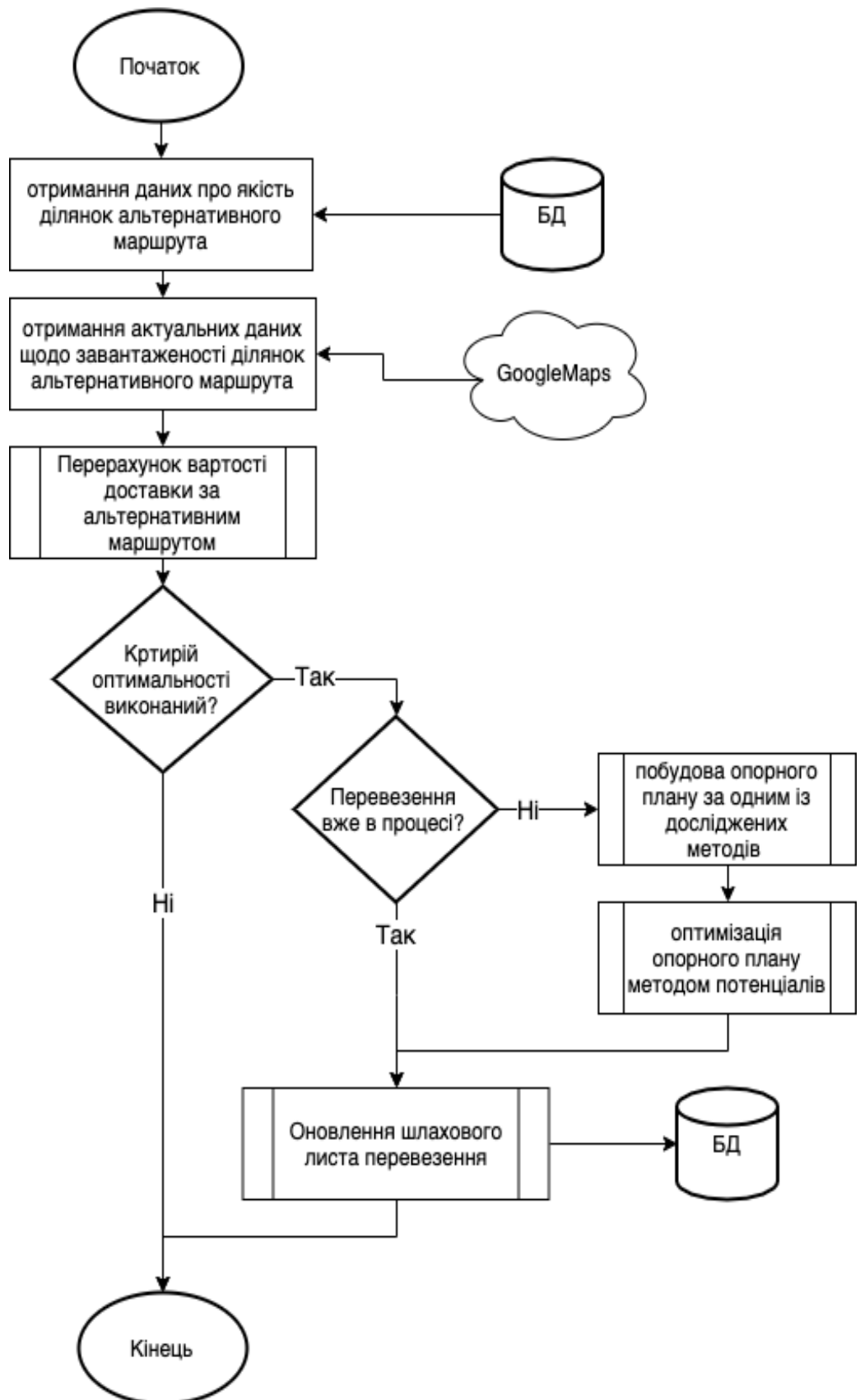


Рисунок 2.2 – Деталізація алгоритму корегування маршруту

## 2.3 Розробка логічної моделі бази даних рішення задачі побудови плану перевезень

Для реалізації вдосконаленої математичної моделі транспортної задачі в рамках інформаційної системи, необхідно провести модифікації вже існуючої інформаційного забезпечення ІС – її логічної структури (тобто бази даних), у якій можливо зберігати та оновлювати інформацію щодо поточного стану якості доріг та їх завантаженості (пропускної здатності) найбільш поширених маршрутів АТП. На рисунку 2.3 наведено приклад фрагменту логічної моделі бази даних для обліку інформації про якість та завантаженість доріг, а також витрат палива транспортних засобів на реляційній основі.

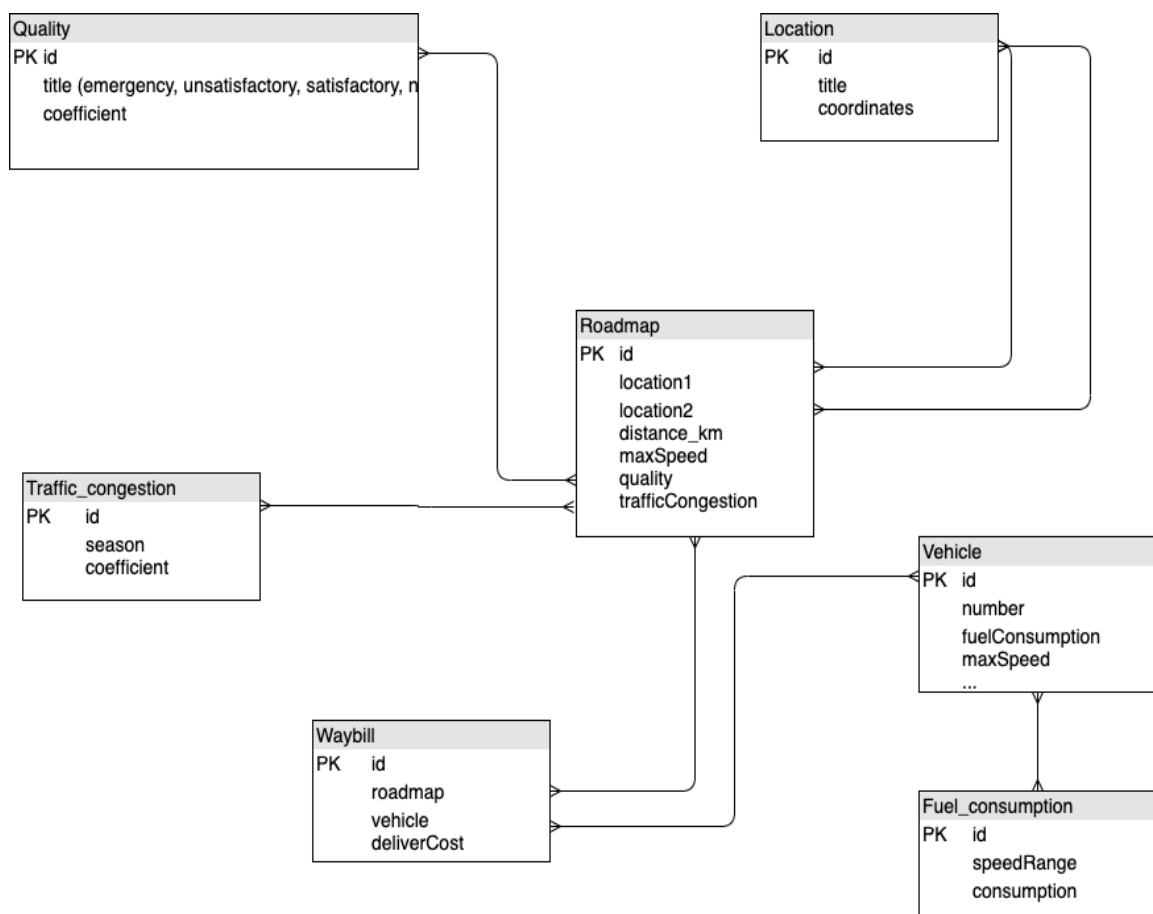


Рисунок 2.3 – Фрагмент логічної моделі бази даних для обліку інформації про якість та завантаженість доріг, а також витрат палива транспортних засобів

### 3 ДОСЛІДЖЕННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

У результаті досліджень існуючих методів оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови їх маршрутів, було отримано дані та опис роботи існуючих методів. Спираючись на результати, була розроблена вдосконалена математична модель транспортної задачі, яка буде детально досліджена в цьому розділі наукової атестаційної роботи.

#### 3.1 Методика проведення досліджень вдосконаленої моделі

Методика досліджень – це сукупність підходів, способів і прийомів проведення наукових досліджень. Вона відповідає на питання: як і яким чином проводити дослідження. Методика досліджень визначає: обладнання, прилади, кількість дослідів, план роботи, витрати часу і коштів. Завданням наукового дослідження є встановлення закономірності розвитку досліджуваного явища [14].

Методи дослідження можна розділити на:

- загальні (теоретичні, універсальні);
- приватні (емпіричні або практичні).

В даній атестаційній роботі для аналізу і дослідження результатів буде використовуватися теоретичний метод моделювання. При моделюванні об'єкт дослідження, існуючий в реальності, переноситься в штучно створену модель. Робиться це з метою більш успішного моделювання ситуацій і отримання підсумків, які важко було б досягти в дійсності.

Так як предметна область даної атестаційної роботи, а саме транспортні перевезення, достатньо складна сама по собі і дослідити результати шляхом,

наприклад, емпіричного методу буде вкрай важко та дуже фінансово-затратно, тому методика моделювання є непоганою альтернативою в цьому випадку.

Завдяки цьому методу дослідження результатів, можливо виконати оцінку отриманих рішень в рамках наукової роботи, а також провести аналіз їх ефективності спираючись на визначені критерії ефективності, наведені раніше в таблиці 1.1.

### 3.2 Аналіз вірогідності реалізації вдосконаленої моделі

Запропонована математична модель транспортної задачі була побудована спираючись на проведені наукові дослідження існуючих інформаційних систем, а також різноманітних математичних підходів вирішення задачі оптимізації транспортних перевезень.

Вірогідність результатів достатньо велика, так як дослідження проводилося за допомогою моделювання ситуацій, базуючись на реальних початкових даних, маючи для цього усі необхідні формули та алгоритми. Результати були отримані згідно виконанню етапів оптимізації транспортних перевезень. Ефективність нової математичної моделі повинна бути доведена сформульованими критеріями ефективності.

### 3.3 Аналіз ефективності вдосконаленої моделі з використанням критеріїв ефективності

Для проведення розрахунків та аналізу результатів ефективності, будуть використанні реальні дані щодо вартості та середніх витрат палива

тощо, які використовуються на автотранспортних підприємствах, які займаються перевезеннями по території країни.

Першим етапом оптимізації транспортних перевезень, які були визначені у попередньому розділі, є отримання усіх початкових даних щодо потреб споживачів та запасів складів (таблиця 3.1), дані щодо маршрутів, якими можливо доставити вантаж та вартість їх доставки та тариф, залежно від потреб споживачів (таблиця 3.2).

Таблиця 3.1 – Початкові дані щодо потреб споживачів та запасів складів.

	Споживач1	Споживач2	Споживач3	Запаси
Постачальник1				92
Постачальник2				25
Постачальник3				70
Потреби	63	87	37	

Наступним етапом, після того, як було отримано дані щодо маршрутів та підраховано вартість доставки та тарифів перевезення за одиницю товару відповідно, необхідно заповнити матрицю тарифів згідно таблиці 3.1 (результат наведений у таблиці 3.3) та побудувати опорний план згідно досліджених методів – північно-західного кута та методом мінімальної вартості.

Опорний план дуже часто не є оптимальним, тому наступним кроком потрібно покращити його згідно визначених критеріїв оптимальності, використовуючи метод потенціалів.

Остаточний результат, а саме оптимальний план перевезень наведений у таблиці 3.4.

Таблиця 3.2 – Дані маршрутів та тарифів перевезення, якими можливо доставити вантажі між кожним постачальником та споживачем.

Від постачальника	До споживача	Витрата палива (F), л/100 км	Відстань (S), км	Вартість палива (P), за 1л	Вартість доставки (C <sub>доставки</sub> )	Потреби	Тариф перевезення (C) за 1 одиницю товару
Постачальник1	Споживач1	20	500	32	3200	63	50,8
Постачальник1	Споживач2	28	450		4032	87	46,3
Постачальник1	Споживач3	18	700		4032	37	108,8
Постачальник2	Споживач1	23	200		1472	63	23,4
Постачальник2	Споживач2	30	150		1440	87	16,5
Постачальник2	Споживач3	29	210		1948,8	37	52,7
Постачальник3	Споживач1	19	305		1854,4	63	29,4
Постачальник3	Споживач2	25	401		3208	87	36,9
Постачальник3	Споживач3	27	333		2877,2	37	77,7

Таблиця 3.3 – Матриця тарифів

	Споживач1	Споживач2	Споживач3	Запаси
Постачальник1	50,8	46,3	108,8	92
Постачальник2	23,4	16,5	52,7	25
Постачальник3	29,4	36,9	77,7	70
Потреби	63	87	37	

Таблиця 3.4 – Оптимальний план перевезень

	Споживач1	Споживач2	Споживач3	Запаси
Постачальник1	50,8 [5]	46,3 [87]	108,8	92
Постачальник2	23,4	16,5	52,7 [25]	25
Постачальник3	29,4 [58]	36,9	77,7 [12]	70
Потреби	63	87	37	

Таким чином, мінімальні затрати становитимуть:  $Z = 50 * 8,5 + 46,3 * 87 + 52,7 * 25 + 29,4 * 58 + 77,7 * 12 = 8437,2$ .

Щодо останнього етапу, який відноситься безпосередньо до теми атестаційної роботи, то припустимо, що після того, як план перевезень був сформований, з'явилася інформація, що на одному із маршрутів трапилася масштабна аварія та ціла ділянка шляху перекрита на ремонтні роботи. А на іншій дорозі сильно погіршилися погодні умови, завдяки яким здійснення перевезення може бути дуже ризикованим та небезпечним.

Ці ділянки проходять по маршруту перевезення від першого постачальника (Постачальник1) до першого споживача (Споживач1) та від Постачальника3 до Споживача2.

Отже, основним завданням у цьому випадку є оперативний пошук альтернативних шляхів перевезення (етап корегування маршруту) та перерахунок кінцевих затрат на перевезення згідно визначеним критеріям оптимальності. Розрахунки щодо альтернативних маршрутів наведені у таблицях 3.5 та 3.6.

Таблиця 3.5 – Дані альтернативних маршрутів

Перевезення	Альтернативні ділянки маршруту	Відстань ( $S$ ), км	Максимальна швидкість ( $V_{\max}$ ), км/год	Коефіцієнт пропускної здатності ( $G$ )	Коефіцієнт якості покриття ( $Q$ )
Постачальник1-Споживач1	ділянка1	220	90	1	1
	ділянка2	330	87	0,9	0,92
Постачальник3-Споживач2	ділянка3	170	75	0,85	0,72
	ділянка4	260	70	0,9	0,7

Таблиця 3.6 – Перерахована вартість доставки та тариф перевезення для альтернативних маршрутів

Перевезення	Альтернативна відстань ( $S$ ), км	Середня швидкість ( $V_{sr}$ ), км/год	Витрата палива ( $F$ ), л/100 км	Вартість палива ( $P$ ), за 1л	Вартість доставки ( $C_{\text{доставки}}$ )	Потреби	Тариф перевезення ( $C$ ) за 1 одиницю товару
Постачальник1-Споживач1	550	81	15	32	2640	63	41,9
					3440	87	39,5
Постачальник3-Споживач2	430	45	25	32	3440	87	39,5
					3440	87	39,5

Припустимо, що процес перевезень ще не почався, та маючи нові перераховані тарифи перевезень для альтернативних маршрутів, у цьому випадку необхідно заново побудувати оптимальний план перевезень за існуючими методами за порівняти сумарні витрати за визначеними критеріями. Новий опорний план після корегування маршрутів та перерахунку тарифів перевезень відповідно наведений у таблиці 3.7.

Для випадку, коли необхідно скорегувати маршрут вже безпосередньо при виконанні перевезень (за будь-яких форс-мажорних обставинах), етапи будуть ті ж самі, за винятком того, що не потрібно будувати оптимальний план заново, а необхідно лише перерахувати вартість перевезень, враховуючи ці корегування.

Таблиця 3.7 – Оптимальний план перевезень після корегування маршрутів

	Споживач1	Споживач2	Споживач3	Запаси
Постачальник1	41,9 [5]	46,3 [87]	108,8	92
Постачальник2	23,4	16,5	52,7 [25]	25
Постачальник3	29,4 [58]	39,5	77,7 [12]	70
Потреби	63	87	37	

Таким чином, мінімальні затрати для скорегованого плану перевезень становитимуть:

$$Z_{\text{після корегування}} = 41,9 * 8,5 + 46,3 * 87 + 52,7 * 25 + 29,4 * 58 + 77,7 * 12 = 8192,7.$$

Отже, виконавши усі етапи від побудови початкового оптимального плану перевезень до етапу корегування де-яких маршрутів та побудови нового оптимально плану відповідно, можна провести аналіз результатів розробленого рішення згідно сформульованих критеріїв ефективності.

Порівняння результатів щодо вартості скорегованих перевезень та сумарних затрат на перевезення наведено у таблицях 3.8 та 3.9 відповідно.

Таблиця 3.8 – Результати обчислення критерія ефективності щодо вартості скорегованих перевезень для початкового та скорегованого планів перевезень відповідно

Критерій	Спосіб обчислення	Перевезення	Початковий тариф	Перерахований тариф	Відношення, %
Вартість вантажного перевезення для скорегованого маршруту	$C_{ij} \rightarrow \min$ або $C_{ij}(\text{після корегування}) - C_{ij} \leq 10\%$	Постачальник1 -Споживач1	50,8	41,9	- 18 %
		Постачальник3 -Споживач2	36,9	39,5	+ 7 %

Таблиця 3.9 – Результати обчислення критерія ефективності щодо сумарних затрат для початкового та скорегованого планів перевезень відповідно

Критерій	Спосіб обчислення	Початкова вартість	Перерахована вартість	Відношення, %
Мінімум транспортної роботи в тонно-кілометрах	$Z = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n C_{ij} * x_{ij} \rightarrow \min$ або $Z_{\text{після корегування}} - Z \leq 10\%$	8437,2	8192,7	- 3 %

На основі результатів обчислення критеріїв ефективності можна зробити висновок, що удосконалена модель є працездатна та результати відповідають усім критеріям ефективності.

Згідно результатів, наведених у таблиці 3.8 щодо вартості перевезення для скорегованих маршрутів, видно, що вартість перевезення (тариф) між Постачальником<sup>1</sup> та Споживачем<sup>1</sup> знизилася на 18%, завдяки тому що якість покриття альтернативних шляхів перевезення дуже висока, а завантаженість навпаки – невелика.

Водночас, тариф перевезення від Постачальник<sup>3</sup> до Споживача<sup>2</sup> збільшився на 7%, тому що в цьому випадку альтернативний шлях має набагато гірший стан доріг та достатньо щільний трафік відповідно.

Але, згідно результатів з таблиці 3.9, сумарні затрати на усі перевезення знизилися майже на 3%.

Так, дійсно, процент скорочення сумарних витрат не є великим (всього 3%), але це обумовлено тим, що початковий план перевезень будується на основі вже перевічених і найвигідніших маршрутів і для них не завжди є дуже гарні альтернативні варіанти (маршрути) доставки вантажу. Тому це дуже впливає на остаточний результат. Але слід також сказати те, що для крупних компаній-перевізників скорочення витрат навіть на 3% є дуже великим.

### 3.4 Аналіз області використання вдосконаленої моделі

Стосовно області використання результатів дослідження, доцільним буде сказати те, що вдосконалену математичну модель транспортної задачі цілком можливо використовувати у реальних інформаційних системах, орієнтованих не тільки на транспортні перевезення автотранспортних підприємств, а також у інших сферах. Використовуючи економіко-математичну модель транспортної задачі, можливо описувати безліч ситуацій,

вельми далеких від проблеми перевезень, зокрема, знаходити оптимальне розміщення замовлень на виробництво виробів з різною собівартістю та інші.

У даній магістерській роботі до математичної моделі транспортної задачі додалися де-кілька параметрів, які враховують завантаженість та стан доріг, і завдяки яким виконується корегування маршруту і перерахування вартості доставки відповідно, не торкаючись при цьому безпосередньо методів оптимізації перевезень. Тому, вдосконалену модель цілком можливо використовувати і у інших сферах, які можуть використовувати модель транспортної задачі як метод оптимізації, лише додав до існуючої моделі потрібні параметри.

Спираючись на опис алгоритму оптимізації перевезень, інтеграція удосконаленої математичної моделі транспортної задачі до вже існуючих інформаційних систем буде достатньо простою, тому що вона не передбачає собою суттєву зміну логіки роботи її компонентів, а лише додає новий шаг для корегування результатів, спираючись на актуальні дані.

## 4 ПРАКТИЧНЕ ВИКОРИСТАННЯ ВДОСКОНАЛЕНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ ЗАДАЧІ

Для демонстрації роботи оптимізації транспортних перевезень з використанням вдосконаленої моделі було розроблено програмне забезпечення. Воно не являє собою повноцінну інформаційну систему, а тільки фрагмент автоматизації поставленої у рамках даної атестаційної роботи задачі, яка наочно демонструє переваги вдосконаленої моделі на практиці.

### 4.1 Програмне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень

Програмне забезпечення – це набір інструкцій, даних або програм, що використовуються для роботи з комп'ютерами та виконання конкретних завдань. Навпаки апаратного забезпечення, яке описує фізичні аспекти комп'ютера, програмне забезпечення – це загальний термін, що використовується для позначення програм, скриптів та програм, які працюють на пристрої [15].

Програмне забезпечення часто поділяють на прикладне програмне забезпечення або завантажені користувачем програми, які задовольняють бажання чи потребу, та системне програмне забезпечення, яке включає операційні системи та будь-яку програму, яка підтримує прикладне програмне забезпечення.

Завдяки ПЗ створюється інтерфейс взаємодії, що дозволяє ефективно використовувати усі інші види забезпечення разом із технічними засобами. Чим якісніше та простіше створений цей інтерфейс, тим легше буде навчити їм користуватися і це буде сприяти підвищенню ефективності роботи персоналу.

#### 4.1.1. Системне програмне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень

Під час розробки ПЗ був зроблений вибір на користь кросплатформеності, хоча створення і тестування ПЗ виконувалося засобами операційної системи (ОС) Windows, яка є найбільш поширеною ОС для десктопів.

Кросплатформеність дозволяє використовувати функціональність ПЗ в рамках будь-якої програмної та апаратної платформи. Таким чином, вона має значну перевагу для розробника, який володіє перспективами для розвитку свого проекту. Можливість запускати програму на будь-якій ОС (Windows, Linux, Macintosh) та простота перетворення програми на мобільний додаток дозволяє розширити круг користувачів, а отже популярність та попит на розробку. Крім того, кросплатформеність забезпечує простоту переносимості ІС, що робить можливим використання розроблених рішень в різних проектах і розширює рамки обмежень на вимоги до впровадження такої ІС [16].

Реалізація ПЗ була виконана за допомогою мови програмування Java (Java), яка дозволяє виконувати свій код на будь-якій ОС за умови наявності відповідної віртуальної машини Java (JVM).

Java є об'єктно-орієнтованою мовою і поставляється з досить об'ємною бібліотекою класів. Бібліотеки класів Java значно спрощують розробку програм, надаючи програмісту потужні засоби вирішення поширених проблем. Завдяки цьому можна приділити більше уваги розв'язанню прикладних задач.

Основними можливостями Java є:

- автоматичне керування пам'яттю;
- розширені можливості обробки виняткових ситуацій;
- багатий набір засобів фільтрації введення-виведення;

- широкий набір стандартних колекцій: масив, список, стек і т. п. ;
- наявність простих засобів створення мережеских програм;
- наявність класів, що дозволяють виконувати HTTP-запити і обробляти відповіді;
- вбудовані в мову засоби створення багатопоточних програм;
- уніфікований доступ до БД;
- паралельне виконання програм.

Існує кілька типів програм, які можна створювати з використанням Java:

- аплети – це міні-програми, що виконуються в середовищі Java-сумісного браузера;
- GUI-програми (програми з графічним інтерфейсом користувача) – звичайні програми, які не вимагають для своєї роботи присутності браузера та мають графічний інтерфейс;
- web-додатки – клієнт-серверна програма, в якій клієнтом виступає браузер, а сервером – веб-сервер.

Як середовище розробки обрана IntelliJ IDEA. Дане середовище має необхідний набір інструментів для створення функціонального ПЗ, а також дозволяє виконати підключення до СУБД MySQL за допомогою спеціального драйвера.

#### 4.1.2 Опис розробленої програми

Розроблене ПЗ є демонстраційним додатком для оптимізації транспортних перевезень при побудові плану перевезень чи його корегуванні.

Робота програми розпочинається, як у більшості випадках для закритих інформаційних систем, з форми авторизації (рисунок 4.1).

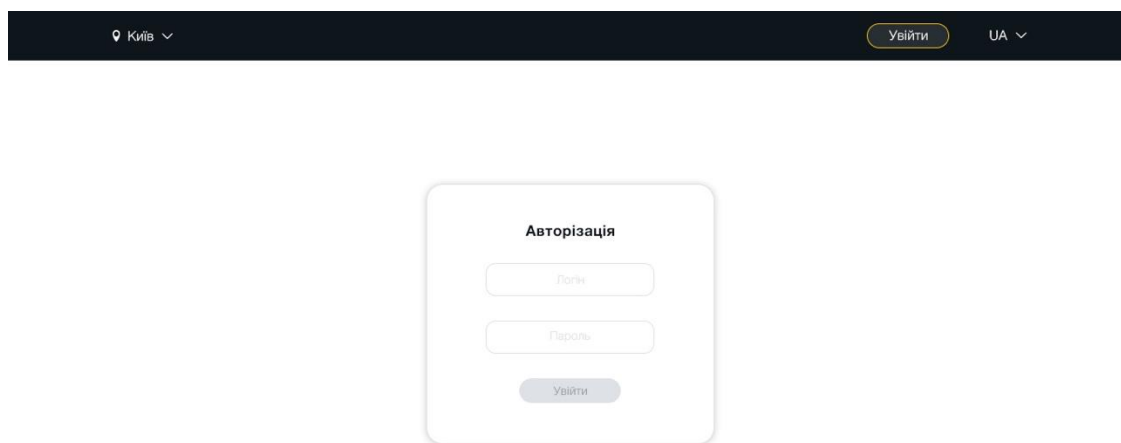


Рисунок 4.1 – Веб-інтерфейс авторизації

Після успішної авторизації користувачу програми (диспетчеру-логісту) пропонується на вибір наступні опції – побудувати план перевезень чи скорегувати вже створений план перевезень, якщо в цьому є така необхідність.

На рисунку 4.2 наведено форму для побудови нового плану перевезень у класичному для транспортної задачі вигляді – заповнення запасів постачальників, потреб споживачів та вартості перевезень відповідно (матриця тарифів).

Веб-інтерфейс результату побудови плану перевезень наведений на рисунку 4.3 і являє собою таблицю з детальною інформацією щодо вантажного перевезення, а також відображає актуальний стан маршруту за допомогою сервісу GoogleMaps.

Якщо на певному маршруті є певні проблеми (погіршення погодних умов, ремонт доріг тощо), диспетчеру одразу пропонується скорегувати маршрут, виконавши пошук альтернативного шляху.

Київ ▾ Побудувати план перевезень Скорегувати план перевезень Іван Іванов Вийти UA ▾

### Заповніть матрицю тарифів перевезень

	Споживач 1	Споживач 2	Споживач 3	Запаси
Постачальник 1	50,8	46,3	108,8	92
Постачальник 2	23,4	16,5	52,7	25
Постачальник 3	29,4	36,9	77,7	70
Потреби	63	87	37	

Побудувати план

Рисунок 4.2 – Веб-інтерфейс побудови плану перевезень

Київ ▾ Побудувати план перевезень Скорегувати план перевезень Іван Іванов Вийти UA ▾

Відправник	Одержувач	Кількість товару	Тариф перевезення	Відстань, км	Витрати палива, л/100км	Вартість перевезення	Стан маршруту
Постачальник 1	Споживач 1	5	50,8	550	20	254	Жахливі погодні умови
Постачальник 1	Споживач 2	87	46,3	450	28	4021,1	Задовільний
Постачальник 2	Споживач 3	25	52,7	210	29	1317,5	Задовільний
Постачальник 3	Споживач 1	58	29,4	305	19	1705,2	Ремонт доріг
Постачальник 3	Споживач 3	12	77,7	333	27	932,4	Задовільний

Сумарна вартість перевезень (Z) = 8437,2 у.о.

App Store Google Play

Рисунок 4.3 – Веб-інтерфейс побудованого плану перевезень

Веб-інтерфейс пошуку альтернативного шляху наведено на рисунку 4.4. Диспетчеру в автоматичному режимі пропонується альтернативний шлях, базуючись на інформації, отриманої з сервісу GoogleMaps щодо актуального стану та пропускної здатності доріг цього альтернативного шляху.

Спираючись на інформацію щодо стану та завантаженості доріг альтернативного маршруту, диспетчер одразу може спостерігати перераховані дані щодо вартості перевезення (тарифу) та у випадку, якщо нова вартість тарифу знизилася, чи вона не перевищує 10% від початкової вартості (згідно сформульованих критеріїв ефективності), то диспетчер може зберегти альтернативний маршрут.

📍 Київ ▾
Побудувати план перевезень
Скорегувати план перевезень
👤 Іван Іванов
Вийти
UA ▾

Сумарна вартість перевезень (Z) = 8437,2 у.о.

### Альтернативний маршрут

Постачальник 1 | Дорога 1 | Дорога 2 | Споживач 1

Дорога	Відстань, км	Швидкість, км/год	Коефіцієнт пропускної здатності	Коефіцієнт якості покриття
Дорога 1	220	90	0,89	1
Дорога 2	330	87	0,92	0,9

### Показники до корегування та після

Відстань До, км	Відстань Після, км	Витрати палива До, л/100км	Витрати палива Після, л/100км	Тариф До	Тариф Після	Відношення тарифів, %
500	550	20	15	50,8	41,9	-18%

Зберегти маршрут

Рисунок 4.4 – Веб-інтерфейс пошуку альтернативного шляху  
(корегування маршруту)

Після цього (корегування маршруту), диспетчер повертається до сторінки з оновленим планом перевезень, де у явному вигляді відображені усі

корегування щодо маршрутів, а також перераховані сумарні витрати відповідно (рисунок 4.5). Диспетчер має змогу зберегти оновлений план перевезень.

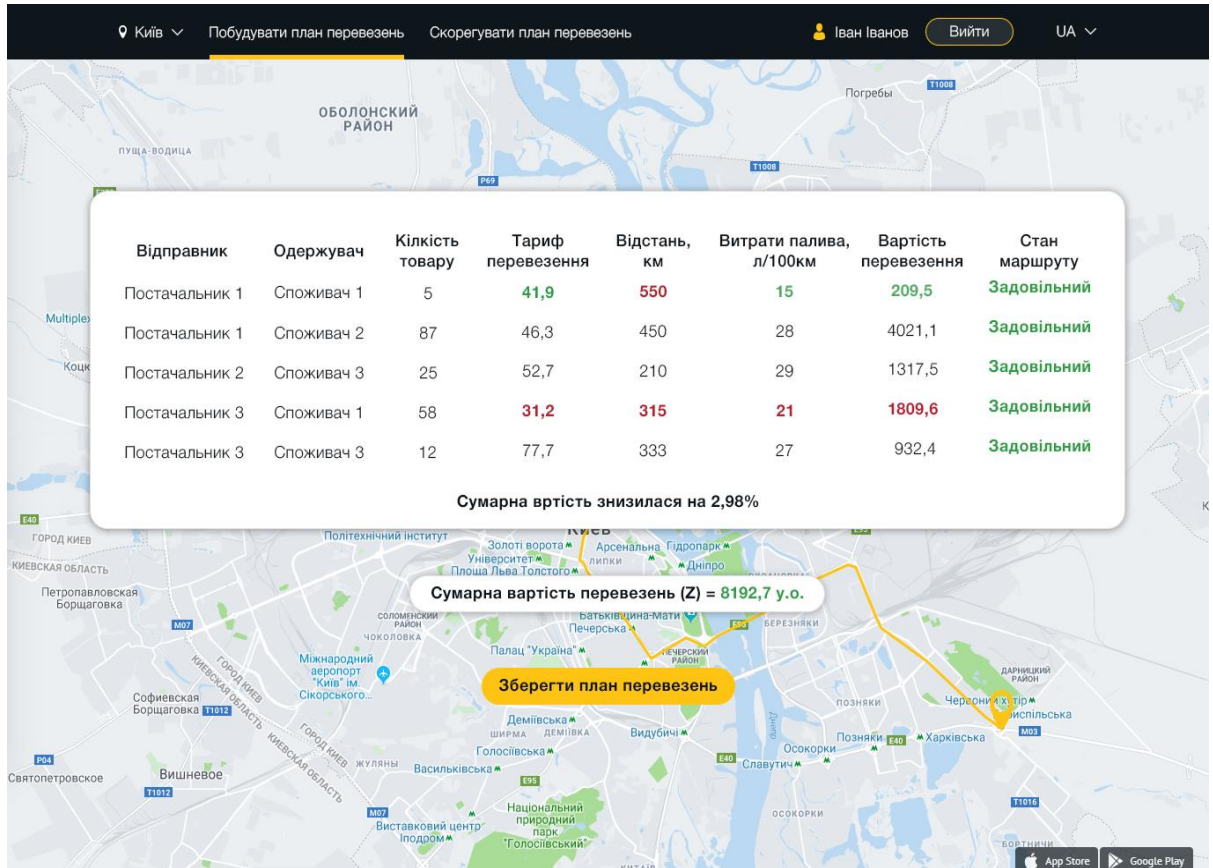


Рисунок 4.5 – Веб-інтерфейс оновленого плану перевезень після корегування певних маршрутів

#### 4.2 Технічне забезпечення реалізації задачі оптимізації транспортних перевезень

В рамках технічного забезпечення здійснюється вибір і оснащення комп'ютерних інформаційних систем необхідними технічними засобами. Правильний вибір комплексу технічних засобів (КТЗ) впливає на ефективність функціонування інформаційної системи.

Тому, в ході аналізу вимог до реалізації поставленої у рамках атестаційної роботи задачі, було визначено наступний комплекс технічних засобів:

- робоча станція (персональний комп'ютер з периферійними технічними засобами);
- стаціонарний телефон;
- сервер бази даних;
- сервер додатків;
- маршрутизатор;
- комутатор.

Так як диспетчер виконує не дуже складні задачі, такі як облік та контроль, то в якості робочої станції диспетчеру буде цілком достатньо використовувати не дуже дорогий комп'ютер.

Іншим, не менш важливим пристроєм для диспетчера є стаціонарний телефон. Диспетчер повинен завжди бути на зв'язку, зокрема, з водієм, тому що в дорозі трапляються різні ситуації, які треба вирішувати дуже швидко.

Сервер бази даних виконує обслуговування та управління базою даних та відповідає за цілісність та збереження даних, а також забезпечує операції введення-виведення при доступі клієнта до інформації. Цей сервер повинен бути достатньо продуктивним, щоб мати змогу обробляти велику кількість запитів до даних, що там зберігаються, а також для обробки вхідної інформації[17].

Сервер додатків – це програмна платформа, призначена для ефективного виконання процедур, на яких побудовані додатки, а саме – отримання від користувачів, накопичення, обробки та зберігання інформації в базі даних, виконання інформаційних запитів користувачів до бази даних, передачі даних, сформованих за результатами виконання запитів користувачів, в захищеному (зашифрованому) вигляді, перевірки доступу користувачів відповідно до їх прав тощо. Сервер додатків діє як набір

компонентів, доступних розробнику програмного забезпечення через API (інтерфейс прикладного програмування), визначені самою платформою[18].

Для поєднання усіх локальних мереж автотранспортного підприємства має бути побудована магістраль через маршрутизатор, а також встановлено комутатори для створення вузлів локальної мережі, які поєднують усі вище перелічені технічні засоби.

#### 4.3 Аналіз практичного використання вдосконаленої моделі транспортної задачі

Доведення отриманих результатів на практиці – один серед найважливіших етапів будь-якої наукової роботи. Для демонстрації роботи існуючих методів з використанням удосконаленої моделі транспортної задачі було розроблене демонстраційне ПЗ, яке дозволяє виконати усі етапи оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови їх маршрутів або оперативному корегуванні.

Перевагами реалізації даного програмного забезпечення є:

- простота використання. ПЗ має дуже простий і зрозумілий інтерфейс користувача;
- головний функціонал щодо корегування маршрутів перевезення повністю автоматизовано. Інформація щодо стану доріг на маршруті певного перевезення є завжди актуальною завдяки інтеграції з сервісом GoogleMaps. Спираючись на цю інформацію, диспетчеру пропонується скорегувати маршрут перевезення через альтернативні шляхи з мінімальними затратами. Окрім цього, диспетчер має змогу у ручному режимі скорегувати маршрут, альтернативні шляхи якого також надаються сервісом GoogleMaps, у випадку, коли диспетчер дізнається про те, що існують певні проблеми на де-яких

ділянках маршруту (різке погіршення погодних умов, масштабна аварія тощо) від водіїв чи інших довірених осіб;

- результати корегування плану перевезень порівнюються згідно визначеним критеріям ефективності;

- на відміну від існуючих систем для транспортної логістики, розроблене ПЗ є дуже простим – воно не потребує використання значних ресурсів та легко інтегрується до будь-якої іншої інформаційної системи з мінімальними затратами;

- результати, отримані за допомогою розробленого ПЗ, можуть бути перевірені та підтверджені ручним обчисленням.

Враховуючи те, що розроблене ПЗ є демонстраційним, та як правило, має де-які обмеження, то серед недоліків можна відмітити лише те, що вхідні дані щодо запасів та потреб постачальників и споживачів відповідно, потрібно вводити вручну і для великого замовлення, це може бути не зовсім ефективно з точки зору трудовитрат.

Як висновок можна сказати те, що розроблене ПЗ дозволяє вирішити поставлену у рамках даної атестаційної роботи завдання, а саме оптимізація транспортних перевезень при побудові/корегуванні плану перевезень. Остаточний план перевезень, зображений на рисунку 4.5, повністю співпадає з результатами, які було отримано при ручному обчисленні у розділі 3.

## ВИСНОВКИ

В ході виконання магістерської атестаційної роботи було проведено дослідження методів оптимізації транспортних перевезень.

Було обґрунтовано і доведено актуальність дослідження існуючих методів оптимізації транспортних перевезень, обґрунтовано мету щодо вдосконалення математичної моделі транспортної задачі, яка може бути використана із вже існуючими методами, а також було сформульовано постановку задачі та визначено критерії ефективності відповідно.

В результаті досліджень було розроблено вдосконалену математичну модель транспортної задачі, нові обмеження якої потрібні для вирішення задачі побудови плану перевезень чи для його оперативного корегування, враховуючи такі фактори, як актуальний стан якості дорожнього покриття маршрутів, а також пропускна здатність цих доріг. Було описано етапи оптимізації транспортних перевезень при побудові опорного плану перевезень, а також розроблено алгоритм реалізації вдосконаленої моделі із вже існуючими методами.

На основі вдосконаленої математичної моделі, було проведено наукові розрахунки та проаналізовано отримані результати відповідно до сформульованих критеріїв ефективності. Крім цього, була проаналізована вірогідність та область використання даної моделі. Для демонстрації побудови плану транспортних перевезень з використанням вдосконаленої моделі, було розроблено відповідне програмне забезпечення.

Розроблена в ході даної атестаційної роботи модель транспортної задачі не є досконалою та потребує доробок, тому у майбутньому планується продовження досліджень у напрямку оптимізації транспортних перевезень на етапі побудови опорного плану чи його оперативному корегуванні. Але не зважаючи на це, за результатами досліджень можна зробити висновок, що поставлена задача була успішно виконана.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ 3008-2016. Документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. - К., 2016. - 37 с.
2. Методичні вказівки щодо розробки та оформлення магістерської атестаційної роботи за спеціальністю 122 – „Комп'ютерні науки” програма «Інформаційні управляючі Методичні вказівки щодо розробки та оформлення магістерської атестаційної роботи за спеціальністю 122 Комп'ютерні науки (освітня програма «Інформаційні управляючі системи та технології» освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» / Упоряд.: Петров К.Е., Левикін В.М., Чалий С.Ф., Євланов М.В., Саєнко В.І., Міхнов Д.К., Міхнова А.В., Чала О.В. – Харків: ХНУРЕ, 2019. – 24 с.
3. Тенденції розвитку транспорту і зв'язку [Електронний ресурс] // 2015 URL: <http://buklib.net/books/33285/> (дата звернення: 24.11.2019).
4. Транспортная логистика: учебно-методическое пособие для вузов / Р. Б. Ивуть, Т. Р. Кисель. – Минск: БНТУ, 2012. – 377 с.
5. Решение задач по оптимизации транспортных перевозок [Електронний ресурс] // 2016 URL: <http://provodim24.ru/optimizacija-transportnyh-perevozok.html/> (дата звернення 25.11.2019).
6. Оптимизация перевозок и транспортной логистики [Електронний ресурс] // 2015 URL: <https://www.axelot.ru/optimizatsiya-transportnoy-logistiki/> – (дата звернення 27.11.2019).
7. Оптимизация работы транспорта: методы и решения логистики [Електронний ресурс] // 2017 URL: <http://arprime.ru/optimizacia/transportnye-processy-i-rashody-predpriatia> – (дата звернення 28.11.2019).
8. Широков А. П. Математические модели и методы в управлении транспортными системами. Учебно – методическое пособие. В 2 – х частях.

Часть 2. Решение транспортных задач методами линейного программирования. – Хабаровск: ДВГУПС, 1999. – 51 с.

9. Транспортна задача. Математична постановка задачі [Електронний ресурс] // 2012 URL: <http://www.mathros.net.ua/transportna-zadacha-matematychna-postanovka-zadachi.html> – (дата звернення 28.11.2019).

10. Метод північно-західного кута [Електронний ресурс] // 2012 URL: <http://www.mathros.net.ua/metod-pivnichno-zahidnogo-kuta.html> – (дата звернення 28.11.2019).

11. Метод мінімального елемента [Електронний ресурс] // 2012 URL: <http://www.mathros.net.ua/metod-minimalnogo-elementa.html> – (дата звернення 28.11.2019).

12. Метод потенціалів [Електронний ресурс] // 2012 URL: <http://www.mathros.net.ua/znahodzhennja-optymalnogo-planu-transportnoi-zadachi-metodom-potencialiv.html> – (дата звернення 29.11.2019).

13. Левыкин, В.М. Обобщенная модель системы сбалансированных показателей [Текст] / В. М. Левыкин, О. С. Хворостинина // АСУ и приборы автоматики. – 2010. – № 153. – С. 40–45.

14. Методы исследования, как они есть [Електронний ресурс] // 2017 URL: <https://nauchniestati.ru/blog/metody-issledovaniya/> – (дата звернення 29.11.2019).

15. Поняття програмного забезпечення (ПЗ), види ПЗ [Електронний ресурс] // 2017 URL: <https://studopedia.com.ua/ponyattya-programnogo-zabezpechennya-pz-vidi-pz.html> – (дата звернення 29.11.2019).

16. Гослинг Дж., Джой Б., Стил Г. Язык программирования Java EE. Подробное описание. – М.: “Вильямс”, 2015 – 672 с.\

17. Сервер даних [Електронний ресурс] // 2017 URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервер\\_даних](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервер_даних) – (дата звернення 30.11.2019).

18. Сервер додатків [Електронний ресурс] // 2017 URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервер\\_застосунків](https://uk.wikipedia.org/wiki/Сервер_застосунків) – (дата звернення 30.11.2019).