

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра комп'ютерних наук

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

**на тему «Інформаційна технологія побудови маршруту постачання
торгової мережі»**

Виконала: студентка 2 курсу,
групи 1КН-18 м
спеціальності 122 «Комп'ютерні науки»
Решетник В. Р.
Керівник: ст. викл. Петришин С. І.
Рецензент: к.т.н., доц. Майданюк В. П.

Вінниця - 2019 року

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри ___ КН ___
д.т.н., проф. Яровий А.А.

(підпис)
“ ___ ” _____ 2019 року

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу на здобуття кваліфікації магістра зі спеціальності: 122 – «Комп'ютерні науки»

08-22.МКР.019.18.000.ПЗ

Магістрантки групи 1КН-18м Решетник Вікторії Романівни

Тема магістерської кваліфікаційної роботи: «Інформаційна технологія побудови маршруту постачання торгової мережі»

Вхідні дані: мова програмування об'єктно-орієнтована; кількість вузлів в мережі - не менше 5; врахування завантаженості доріг; вихідна точка пошуку маршруту – склад.

Короткий зміст частин магістерської кваліфікаційної роботи:

1. Графічна: приклад роботи програмного додатку; загальна структурна схема; схема загального алгоритму функціонування системи, структура інформаційної технології.

2. Текстова (пояснювальна записка): вступ, аналіз предметної області побудови маршруту постачання торгової мережі, розробка інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі, програмна реалізація інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі, економічна частина, висновки, перелік використаних джерел, додатки.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН ВИКОНАННЯ МКР

№ етапу	Назва етапу	Термін виконання		Очікувані результати
		початок	Кінець	
1	Аналіз сучасних методів побудови маршруту постачання торгової мережі. Постановка задач дослідження			Аналітичний огляд літературних джерел, задачі досліджень, розділ 1 ПЗ
2	Розробка математичної моделі технології побудови маршруту постачання торгової мережі			Математичні моделі, розділ 2
3	Практичне застосування та оцінка ефективності розробленої моделі			розділ 3
4	Підготовка економічної частини			розділ 4
5	Апробація та/або впровадження результатів дослідження			тези доповідей/акт впровадження
6	Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу та презентації			Пояснювальна записка, графічний матеріал, презентація

Консультанти з окремих розділів магістерської кваліфікаційної роботи

1. Науковий керівник _____
(підпис)
“ _____ ” _____ 2019 р.

ст. викл. кафедри КН
наук. ступінь, вчене звання (посада)
С. І. Петришин
ініціали та прізвище

2. Економічна частина _____
(підпис)
“ _____ ” _____ 2019 р.

к. е. н., доцент каф. ЕПВМ
наук. ступінь, вчене звання (посада)
Бальзан М. В.
ініціали та прізвище

Дата попереднього захисту роботи “ _____ ” _____ 20__ р.

Рецензент _____
(підпис)

к. т. н., доцент каф. ПЗ
наук. ступінь, вчене звання (посада)
В. П. Майданюк
ініціали та прізвище

Завдання видав науковий керівник _____
(підпис)

ст. викл. кафедри КН
наук. ступінь, вчене звання (посада)
С. І. Петришин
ініціали та прізвище

“ _____ ” _____ 2019 р.

Завдання отримав магістрант _____
(підпис)

В. Р. Решетник
ініціали та прізвище

“ _____ ” _____ 2019 р.

РЕФЕРАТ

В даній магістерській кваліфікаційній роботі було реалізовано програму прокладання маршруту для постачання торгової мережі. Було проведено аналіз сучасних програм-аналогів, які використовуються у транспортній логістиці для автоматизації процесів прокладання маршруту, сповіщень про виконання завдань, зв'язку з керівництвом та наведено коротку порівняльну характеристику знайдених програм-аналогів. Було розроблено математичну модель прокладання маршруту, досліджено методи, які можуть бути використані. Було запропоновано використати мурашковий алгоритм, який дає змогу збільшити швидкість прокладання маршруту для постачання торгової мережі. Результатом проектування є програма. Програмний додаток реалізовано мовою Java в середовищі Eclipse.

ABSTRACT

In this master's qualification work was implemented a program for laying a route for the supply of a trading network. The analysis of modern analogues used in transport logistics was carried out for automation of route planning processes, notification of tasks execution, communication with management, and a brief comparative description of found analogues. Was developed a mathematical model for laying the route, methods have been investigated that can be used. It was suggested to use an ant algorithm, which allows to increase the speed of laying a route for the supply of a trading network. The result of the projecting is the program. The software application is implemented in Java language in the Eclipse environment.

ЗМІСТ

ВСТУП	7
1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ.....	11
1.1 Постановка задачі	11
1.2 Характеристика основних понять системи логістики	12
1.3 Логістична концепція побудови моделі транспортного обслуговування..	14
1.4 Принципи постачання товарів торгових мереж	15
1.5 Порівняльна характеристика алгоритмів, що застосовуються для вирішення поставленої задачі.....	16
1.6 Аналіз програм-аналогів.....	20
1.7 Висновок.....	30
2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ.....	31
2.1 Загальна характеристика організаційно-функціональної структури логістики.....	31
2.2 Характеристика підходу мультиагентного моделювання.....	33
2.3 Обґрунтування вибору базового алгоритму вирішення поставленої задачі	35
2.4 Розробка математичної моделі побудови маршруту постачання торгової мережі.....	36
2.5 Розробка загальної структурної схеми та алгоритмів функціонування системи побудови маршруту постачання торгової мережі	39
2.6 Розробка структури інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі.....	43
2.7 Висновок.....	44
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ.....	45
3.1 Обґрунтування вибору мови програмування.....	45

3.2 Програмна реалізація системи побудови маршруту постачання торгової мережі.....	
3.3 Тестування розробленої системи побудови маршруту постачання торгової мережі та аналіз результатів її роботи.....	50
3.4 Висновок.....	55
4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА	56
4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки	56
4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи.....	59
4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки	65
4.4 Висновок.....	71
ВИСНОВКИ.....	72
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	73
Додаток А Інструкція користувача	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б Лістинг програми.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В Графічна частина.....	Ошибка! Закладка не определена.

ВСТУП

Актуальність теми дослідження. Щодня мільйони торгових агентів по всьому світу переміщаються від точки до точки, оформляють великі і дрібні замовлення, складають безліч договорів і ці процеси відбуваються навіть в даний момент. Вже давно не секрет, що настільки великий обсяг роботи вимагає певної оптимізації для максимального спрощення багатьох процесів і роботи агентів.

Одна з перших ролей в розповсюдженні товарів відводиться торговим представникам, які є посередниками між компанією-постачальником та точками збуту.

Головною задачею менеджера з продажів є застосування усіх необхідних заходів, для того щоб точки збуту взяли на себе реалізацію продукції компанії, яку він представляє, забезпечення її доставки, ефективного маркетингу. Крім того, такі спеціалісти зобов'язані стежити за реалізацією продукції компанії на його ділянці. Проаналізувавши отримані дані можна зробити висновки, обсяги збуту товарів, в які точки і коли потрібно організувати доставку.

Актуальним питанням є підвищення продуктивності праці менеджерів з продажів. Декілька років назад торгові представники користувалися паперовими носіями (ціни, списки клієнтів і т. д.) та вели статистичні підрахунки на папері, то сьогодні в більшості випадків використовуються сучасні засоби комунікації.

Транспорт є своєрідним зв'язуючим елементом між віхами транспортної логістики та велика частина операцій по доставці вантажу здійснюється за допомогою нього. Це призвело до виникнення окремої галузі в системі логістики - так званої транспортної логістики - переміщення замовленого товару за необхідний час, оптимальним маршрутом в потрібну точку з мінімальними грошовими витратами.

Протягом останнього періоду вагомий внесок в розробку проблематики, пов'язаної з організацією процесів дистрибуції (або збуту) та створення відповідних організаційних формувань (як маркетингових каналів розподілу), зробили, зокрема, вчені Л.В. Балабанова і А.В. Балабаніць, які займалися

пошуком адаптованих до ринкових умов інструментів управління збутовою діяльністю товаровиробників.

Транспорт, як невід'ємна частина логістики, потребує більше половини можливих затрат, що виділяються на логістичні потреби. Він приймає участь у багатьох процесах, тому необхідно узгоджувати питання між усіма учасниками транспортного процесу.

Транспортна логістика забезпечує доставку вантажу в пункт призначення, враховуючи при цьому будь-які моменти, пов'язані з транспортуванням.

Комплексне рішення різних проблем, що стосуються такого поняття як логістика вантажних перевезень, дозволяє виконати роботу будь-якої складності на найвищому рівні.

Оскільки дуже важливо аби товар був доставлений в пункт призначення вчасно актуальною є задача знаходження субоптимального маршруту, що дозволяє врахувати різні параметри, що впливають на швидкість перевезень. Так як обрахунок вручну займає дуже багато часу, в таких випадках застосовуються спеціалізовані програми, хоча й і їх швидкість прокладання маршруту могла б бути кращою.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Магістерська робота виконана відповідно до напрямку наукових досліджень кафедри комп'ютерних наук Вінницького національного технічного університету 22 К1 «Моделі, методи, технології та пристрої інтелектуальних інформаційних систем управління, економіки, навчання та комунікацій» та плану наукової та навчально-методичної роботи кафедри.

Мета та завдання дослідження. Метою дослідження магістерської кваліфікаційної роботи є підвищення швидкості побудови маршруту постачання торгової мережі.

Для досягнення наведеної мети необхідно виконати наступні задачі:

- 1) здійснити обґрунтування доцільності розробки інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі;

- 2) здійснити аналіз методів і алгоритмів вирішення задачі пошуку субоптимального маршруту;
- 3) здійснити проектування програмних засобів побудови маршруту постачання торгової мережі;
- 4) обґрунтувати вибір програмних засобів для реалізації інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі;
- 5) здійснити програмну реалізацію та тестування програмних засобів побудови маршруту постачання торгової мережі.

Об'єкт дослідження – процес прокладання маршруту для постачання торгової мережі.

Предмет дослідження – це є програмні засоби вирішення задачі прокладання маршруту для постачання торгової мережі.

Методи дослідження. У роботі використані наступні методи наукових досліджень: системного аналізу для аналізу структури інформаційної системи, агентні методи, метод мурашиного алгоритму для реалізації модуля прокладання маршруту, об'єктно-орієнтованого програмування для автоматизації розрахунків.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

– дістала подальшого розвитку інформаційна технологія прокладання маршруту для постачання торгової мережі, яка використовує мурашиний алгоритм для прокладання субоптимального маршруту;

– вдосконалено модель прокладання шляху для постачання торгової мережі шляхом збільшення кількості агентів на початковій стадії роботи алгоритму, що забезпечує підвищення швидкості отримання вихідних даних.

Практичне значення одержаних результатів полягає у наступному:

1. Розроблено структурну схему інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі.

2. Розроблено алгоритм побудови маршруту постачання торгової мережі.

3. Розроблено програмне забезпечення для прокладання маршруту для постачання торгової мережі.

Розроблені алгоритми можуть бути впроваджені в початковий процес у якості лекції на тему «Розв'язання задачі комівояжера» дисципліни «Дискретна математика».

Достовірність теоретичних положень магістерської кваліфікаційної роботи підтверджується строгістю постановки задач, коректним застосуванням математичних методів під час доведення наукових положень, строгим виведенням аналітичних співвідношень, порівнянням результатів з відомими, та збіжністю результатів математичного моделювання з результатами, що отримані під час впровадження розроблених програмних засобів.

Особистий внесок магістранта. Усі результати, наведені у магістерській кваліфікаційній роботі, отримані самостійно. У роботах, опублікованих у співавторстві, магістранту належать такі результати: [1] – розглянуто алгоритми, що дозволяють проводити пошук на графах різних розмірностей, [2] – проведено аналіз переваг і недоліків досліджених алгоритмів, [3] – охарактеризовано методи мурашиного пошуку та його модифікації.

Апробація результатів роботи. Результати роботи були апробовані на конференції XLVII науково-технічній конференції підрозділів ВНТУ, XI міжнародній науково-практичній конференції «ІОН-2018», «Наукові відкриття та фундаментальні наукові дослідження: світовий досвід 2019», «Problems and prospects of implementation of innovative research results: 2019».

Публікації. За результатами досліджень подано свідоцтво про реєстрацію авторського права на твір - комп'ютерна програма «Модуль для прокладання маршруту постачання торгової мережі» [4], опубліковано троє тез доповідей міжнародних науково-практичних конференцій [1], [2], [3].

1 АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ

1.1 Постановка задачі

У даній роботі необхідно реалізувати програмний модуль побудови маршруту постачання торгової мережі. Тобто, необхідно програмно вирішити задачу комівояжера для конкретної множини точок.

Комівояжером називають торгового представника, задача якого заключається в доставці товарів зі складу в обрані точки їх розповсюдження при затратах мінімальної кількості коштів. Кінцевою точкою зупинки комівояжера є склад.

Для конкретного випадку, торговий працівник має керуватися такими параметрами при виборі маршруту як відстань між пунктами збуту товарів та завантаженість транспортних шляхів. Вартість проїзду між вузлами мережі заздалегідь відома.

Тур – порядок відвідувань торгових точок у їх пріоритеті.

У вирішенні задачі комівояжера необхідно сформувати оптимальний маршрут об'їзду n точок та потім обрати найкращий шлях з $(n - 1)!$ варіантів по характеристиці часового параметру, вартості чи довжині маршруту.

У таких випадках набір усіх можливих рішень повинен бути представлений у вигляді дерева – зв'язаного графа, який не містить циклів. Корінь дерева інтегрує весь набір варіантів, а його вершини представляють підмножину частково впорядкованих рішень.

Так як кількість турів обмежене число, то дану задачу можна спробувати вирішити методом повного перебору.

Проведемо оцінку таких обчислень для задачі з кількістю вузлів n . Так як тур є замкнутим циклом, то в якості стартової точки оберемо склад.

Вирушивши з початкової точки залишається $n - 1$ можливих варіантів,

тому обираємо один з них. На наступному кроці кількість варіантів буде дорівнювати $n - 2$, так як повертатися у пройдені точки заборонено. Повна множина складає $(n - 1)!$ турів. Тепер для вирішення задачі побудови маршруту постачання торгової мережі (реальної розмірності) перебірний алгоритм стає невідходящим, так як час обчислень стає недопустимим.

Отже, необхідно програмно реалізувати модуль, у якому буде впроваджено алгоритм побудови маршруту за час обчислень, який задовольнятиме потенціальних користувачів та матиме прийнятні показники навантаження на комп'ютер.

В даній роботі кінцевою множиною є множина точок на карті, сполучених одна з одною таким чином аби були виконані усі умови задачі про комівояжера.

1.2 Характеристика основних понять системи логістики

Ефективність роботи транспортно-логістичної компанії або автозаводу залежить від якості і швидкості постановки та виконання транспортно-логістичних завдань. Необхідно вчасно обробляти попередні декларації на транспорт, розумно планувати маршрути доставки, відкривати накладні, контролювати виконання транспортних задач, аналізувати якість роботи транспортних служб. Для вирішення цих питань в ручному режимі необхідно залучати логістів і диспетчерів. Це не виключає помилок в роботі. Неправильно складений маршрут або неправильно заповнені документи можуть привести до зайвого прокладення маршруту чи поломок транспорту, порушення технічних термінів доставки і рекамації з боку замовників.

Важливим методом логістики при визначенні оптимального маршруту є аналіз загальної вартості.

Основний принцип логістики — мінімізація витрат. Ви можете досягти економії на транспорті за рахунок відстані та масштабів транспорту.

Збереження відстані через відстань можливе завдяки тому, що збільшення

маршруту зменшує витрати на використання транспорту при розрахунку відстані на одиницю. Наприклад, транспортувати один товар на 1000 кілометрів буде дешевше, ніж перевезти два вантажі (або товари однакової ваги) на 500 кілометрів [4].

Маршрут руху потоку — це сукупність процедур вибору характеристик маршруту транспортного засобу, в якому будуть виконуватися логістичні правила доставки вантажів.

Маршрут транспортних засобів відіграє важливу роль в управлінні матеріальними потоками в логістиці. Визначення раціональних маршрутів руху транспортних засобів дозволяє вирішити три основні проблеми:

- оптимізацію вантажних потоків в логістичних каналах і ланцюгах;
- максимізувати ефективність рухомого складу;
- мінімізувати транспортні витрати.

Розробка оптимального маршруту залучає експедитора до отримання замовлення на надання транспортних послуг з перевезення нового або звичного вантажу в новому напрямку.

Економія в результаті масштабів перевезених вантажів досягається за рахунок того, що чим більше навантаження, тим менша одиниця вартості товару (ваги) або використання потужних транспортних засобів (водного чи залізничного), буде дешевшою, ніж використання повітряного чи автомобільного транспорту [5].

Після завершення попередньої оцінки визначається кілька конкуруючих варіантів, кожен з яких додатково аналізується для визначення остаточного оптимального варіанту.

Враховуються не тільки вартість вантажу, але і його час, можливість непередбачених витрат, затримок у дорозі та ймовірність пошкодження вантажу.

Визначаючи найкращий варіант маршруту, експедитор обирає учасників транспорту та укладає необхідні договори.

1.3 Логістична концепція побудови моделі транспортного обслуговування

Побудова моделі транспортних послуг базується на раціональних транспортних маршрутах та графіках доставки.

Маршрут - це найсучасніший спосіб організації транспортного потоку, який суттєво впливає на ефективне використання автомобільного транспорту.

Створення маршруту дозволяє точно визначити оптимальний обсяг перевезень, кількість транспортних засобів, зайнятих цим перевезенням, що сприяє скороченню простоїв під час завантаження та розвантаження, ефективному використанню рухомого складу та звільнення значних матеріальних ресурсів від зони руху. У той же час маршрутний трафік може збільшити продуктивність, зменшивши при цьому кількість транспортних засобів [6].

В умовах, коли прокладаються маршрути, встановлюються терміни доставки та їх дотримуються, поставки клієнтам товарів можуть бути скорочені в 1,5-2 рази. У цьому випадку, однак, послідовність та своєчасність виконання таких операцій, як:

- визначення базового ринку та його раціонального обсягу;
- ідентифікація користувачів продукції та картографічне відображення;
- фіктивна робота;
- прогнозування обсягу перевезень та необхідної кількості продукції;
- розрахунок оптимальної партії доставки товару;
- передача інформації користувачам;
- вибір рухомого складу;
- розрахунок раціональних маршрутів;
- встановлення узгоджених графіків доставки продукції.

Терміни проведення операцій слід визначати заздалегідь.

Для цього необхідно скласти мережеву схему, яка відображає технологічну ланку та послідовність роботи [7].

Мережева діаграма складається з вузлів, позначених кружечками та з'єднання їх «країв» (стрілка). Кожному вузлу відповідає конкретна подія, що відбувається в кінці певного етапу роботи. Кожному «краю» (стрілка) відповідає конкретна робота, що розуміється як процес, а не кінцевий результат.

1.4 Принципи постачання товарів торгових мереж

Основою транспортної логістики є саме транспортні засоби, вони повинні відповідати заявленим вимогам і володіти певними властивостями.

Транспорт повинен володіти такою здатністю: відповідно до невеликих запасів продукції користувача, через невеликі інтервали часу перевозити необхідні партії вантажів на встановлені відстані. Найпопулярнішим і основним критерієм при виборі типу перевезення вважається максимальне використання їх вантажопідйомності і місткості, збереження вантажів, а також зменшення фінансових витрат на саме перевезення [8].

Товаропостачання торгових підприємств має ґрунтуватися на таких основних принципах:

- планомірність - процес товаропостачання підприємств роздрібною торгівлі повинен мати плановий характер. Завезення товарів у роздрібні торговельні підприємства зі складів оптового торгового підприємства повинне здійснюватися на основі планових графіків з урахуванням їх асортиментного переліку;
- ритмічність - завезення товарів через відносно однакові проміжки часу. Ритмічна і рівномірна доставка товарів має вирішальне значення для всієї роботи оптового підприємства, оскільки вона спрямована на досягнення кінцевих результатів процесу оптової торгівлі - задоволення потреб покупців - і є останньою ланкою у виконанні планів фірми – оптовика;
- оперативність - ритм завезення товарів повинен наростати або скорочуватися в залежності від змін у попиті на них, сезонних та інших коливань. Оптові торгові підприємства, які здійснюють товаропостачання

роздрібних торгових підприємств, повинні оперативно враховувати ці зміни і вносити відповідні корективи, для чого їм необхідно своєчасно отримувати від роздрібних торгових підприємств інформацію про хід реалізації товарів і стан товарних запасів;

- □економічність - мінімальні витрати робочого часу, матеріальних і грошових коштів на весь процес доставки товарів у роздрібні торговельні підприємства. Економічність досягається ефективним використанням транспортних засобів, механізацією вантажно-розвантажувальних робіт, чітким оформленням документів з відпуску та приймання товарів;
- □централізація - товаропостачання силами і засобами підприємств-постачальників [9].

Завдяки раціонально організованому товаропостачанню в роздрібних торгових підприємствах забезпечуються повнота і стійкість асортименту товарів, необхідний рівень товарних запасів, задоволення попиту населення, а також високі фінансово-економічні показники роботи торгових організацій і підприємств.

1.5 Порівняльна характеристика алгоритмів, що застосовуються для вирішення поставленої задачі

Симулюючи переміщення різних об'єктів на великі території, логісти часто стикаються з проблемою вибору оптимального маршруту. Оскільки на кожен тип перевезень накладаються різні обмеження, то визначити найбільш підходящий маршрут практично неможливо, а використання методу прямого перебору вимагає недоцільних затрат часу.

Оптимальним розв'язком може бути як пряма, так і ламана лінія.

Найбільшою проблемою побудови шляху є відсутність єдиного універсального алгоритму її розв'язання.

Розглянемо методи, які можна застосувати для побудови маршруту постачання торгових мереж, які представлені у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Порівняльна характеристика існуючих алгоритмів (n – кількість вершин і m – кількість ребер)

Алгоритм	Складність	Застосування	Особливості
Дейкстри	$O(m + n * \log(n))$	Знаходження найкоротшої відстань від однієї вершини до інших	Працює лише з ребрами з додатною вагою
A*	$O(m)$	Знаходження маршруту з мінімальною вагою	Порівняння різних шляхів по евристичній функції
Джонсона	$O(n^2 \log(n) + n * m)$	Знаходження найкоротшого шляху між усіма парами вершин зваженого орієнтованого графа	Спільне використання алгоритмів Дейкстри та Белмана-Форда
Мурашиний	$(t * m * n^2)$, де t – кількість ітерацій; m – кількість мурах; n – кількість вершин у графі	Поліноміальний алгоритм для знаходження наближених рішень задачі комівояжера	Базується на моделі поведінки мурах, які шукають шляхи від колонії до джерела живлення; представляє собою метаевристичну оптимізацію

Продовження таблиці 1.1

Флойда-Уолшера	$O(n^2)$	Знаходження найкоротшого шляху між усіма вершинами зваженого орієнтованого графа	
Бетрекінгу	$O(n * m)$	Знаходження всіх можливих варіантів шляхів від вершини А до вершини Б	

Граф представляє собою абстрактний математичний об'єкт з безліччю вершин та ребер.

Неорієнтовий граф це впорядкована пара $G := (V, E)$,

де V – непуста множина вузлів (вершин),

E – множина неупорядкованих пар (ребер)

Вузли у графі сусідні, у випадку якщо вони мають з'єднання спільним ребром. Шлях в неорієнтованому графі представляє собою послідовність вершин $P = (v_1, v_2, \dots, v_n) \in V \times V \times \dots \times V$, таких, що v_i суміжна з v_{i+1} для $1 \leq i < n$. Шлях P є шляхом довжиною n з вершини v_1 в v_n (i вказує на номер вузла шляху).

Для розв'язання поставленої задачі можна застосовувати алгоритм Дейкстри, по якому проводиться пошук найкоротшої відстані в графі від однієї вершини до решти.

Головним недоліком даного алгоритму є те, що не у кожному випадку можна обчислити значення при від'ємному значенні ребер [10].

Алгоритм Флойда-Уоршелла був одночасно опублікований Р. Флойдом та С. Уоршеллом 1962 року. Якщо порівнювати його з алгоритмом Дейкстри, то реалізувати його простіше.

Алгоритм Флойда - Уоршелла - динамічний алгоритм програмування, який обчислює значення найкоротших шляхів для кожної з вершин неорієнтованого графа. Метод працює на графах як з позитивними так і з від'ємними вагами, але без негативних циклів. Його реалізація передбачає визначення оптимальних відстаней від усіх вершин до всіх інших [11].

Цей алгоритм нескладний для розуміння, але має низьку швидкість роботи і не проводить розрахунки з ребрами, які мають негативну вагу.

Метою алгоритмує пошук мінімального шляху між вузлами графа.

Позначимо довжину мінімального шляху між вершинами u і v , що містить, крім u і v , лише вершини з множини $\{1..i\}$ як $d_{uv}^{(i)}$, $d_{uv}^{(0)} = \omega_{uv}$.

На кожній ітерації алгоритму братимемо наступний вузол i та для всіх пар вершин u і v обчислимо $d_{uv}^{(i)} = \min(d_{uv}^{(i-1)}, d_{ui}^{(i-1)} + d_{iv}^{(i-1)})$. Тобто, якщо найкоротший шлях від u до v , що містить лише вершини з множини $\{1..i\}$, проходить вузол i , то мінімальний шлях від u до v є найкоротшим від u до i , поєднаний з найкоротшим від i до v . Інакше, коли шлях не містить вершини i , мінімальна довжина шляху від u до v , що містить лише вершини з множини $\{1..i\}$ є мінімальною відстанню від u до v , що містить лише вершини з множини $\{1..i - 1\}$.

До переваг алгоритму варто віднести його простоту у реалізації, а до недоліків – складності [12].

Ще одним методом пошуку шляху у графі є алгоритм бектрекінгу. Його описувало багато науковців ще до формального його визначення. Метою застосування даного методу не є пошук мінімально можливого шляху, а формування усіх можливих варіантів маршруту від одного вузла до іншого.

Він є досить ефективним, так як дозволяє зберігати усі знайдені варіанти у різних форматах даних. Потім їх можна застосувати у подальших обчисленнях для програмної реалізації. Однак вагомий недоліком його є час пошуку кінцевого рішення, так як при збільшенні розмірності задачі, може бути нерационально

здійснювати пошук, який має тенденцію займати не роки, а й десятиліття і більше.

Алгоритм пошуку A^* використовує евристичні методи пошуку. Він оснований на пошуку по першому кращому співпадінні у графі і шукає шлях з найменшою вартістю від одного вузла до іншого. Порядок проходження вузлів визначений евристикою – сума відстані та вартості.

Його широко застосовують для знаходження найкоротшого шляху між вершинами графа, що мають додатні ваги ребер. У роботі алгоритму A^* користується як фактичною відстанню між початку, так і оціночною відстанню до кінцевої точки.

Так як даний алгоритм проводить пошук серед усіх вузлів графа, то можна назвати це суттєвим недоліком, оскільки, у випадку великої кількості вузлів даний алгоритм пошуку субоптимального шляху буде неефективним [13].

Мурашині алгоритми пошуку шляху були серйозно вивчаються європейськими науковцями з середини 1990-х років. Хороші результати оптимізації мурах вже були досягнуті для багатьох складних комбінаторних задач. До них можна віднести роботу з постачальниками, оптимізацію маршрутів вантажних автомобілів, розфарбування графів, квадратичні задачі, оптимізацію мережевих програмних додатків, задачі планування та багато іншого. Мурашині ефективні алгоритми для онлайн-оптимізації процесів в розподілених стаціонарних системах, таких як трафік в телекомунікаційних мережах. Серед недоліків даного методу алгоритму є складність проведення теоретичного аналізу, так як цей метод вимагає експериментального вивчення [14].

Провівши аналіз призначення, характеристик й недоліків вищеописаних методів, візьмемо основою для проектування майбутньої системи мурашиний алгоритм оскільки він найкраще підходить для досягнення мети роботи - підвищення швидкості побудови маршруту постачання торгової мережі.

1.6 Аналіз програм-аналогів

Кожного року розробляються і реалізуються нові рішення для автоматизації процесу побудови шляху у сфері логістичних транспортувань.

Швидкий розвиток програмного забезпечення охоплює усі сфери людського побуту і стимулює пропонувати все краще і більш доступні рішення для бізнесу дистрибуції.

Розглянемо деякі з найпопулярніших програмних продуктів, які використовуються в даних час на ринку логістики.

АЛЬТ

Серед різноманітності мобільних програм для агентів з продажу, які можна зручно завантажувати та встановлювати на будь-якому пристрої на базі ОС Android, є унікальне рішення для підвищення ефективності продажів співробітників – «АЛЬТ». Він існував на ринку дистрибуції ніші протягом багатьох років і встиг завоювати довіру багатьох фірм, які оцінити всі його переваги його застосування. Сюди входить цілодобова служба підтримки, яка стежить за станом програмного забезпечення та знаходить помилки та збої, перш ніж їх можна буде виявити. Така оперативна послуга дозволяє завжди бути впевненим у надійності захисту даних [15].

Через те, що більшість трейдерів використовують спеціальні системи обліку в своїй діяльності, програма «АЛЬТ» може ідеально інтегруватися з усіма програмами та синхронізувати дані, аби інформація на пристроях була максимально актуальною.

Інтерфейс програми розроблений аби легко переглядати актуальну інформацію про статус замовлень, борги, обсяги поставок та поточні завдання, які можна ставити працівнику під час роботи, і він буде негайно повідомлений про це [16].

Мобільний торговий додаток «АЛЬТ» має всі необхідні функціональні можливості для ефективної роботи агента з використанням смартфона чи планшета.

До недоліків програми належать такі:

- програмний додаток розроблений лише для користувачів Android;
- не завжди можливо вносити зміни в програму в режимі он-лайн; на це впливають, насамперед, терміни та вартість.

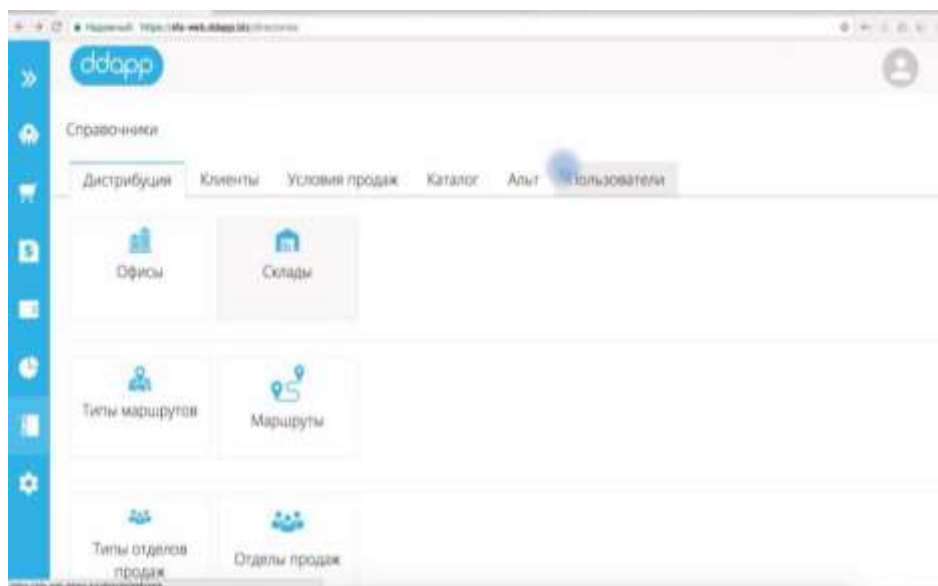


Рисунок. 1.1 – Приклад роботи програми

VisitBasis

VisitBasis є повноцінним мобільним рішенням збору даних. Програма представляє собою хмарне рішення для гаджетів таких як смартфон чи планшет та забезпечує керування командами, планування, моніторинг їхньої роботи в реальному часі.

Використання VisitBasis дозволяє менеджерам віддалено контролювати абсолютно усі етапи аудиту продажів, мерчандайзингу, маркетингу та продажів на місці, від планування відвідувань та управління сайтом до звітування в реальному часі.

Додаток VisitBasis Commercial Audit працює як на платформах Android, так і на iOS, використовуючи хмарні та GPS-технології для максимальної простоти та ефективності аудиторів. VisitBasis дозволяє створювати необмежену кількість форм аудиту торгових точок [17].

Всі дані, необхідні для аудиту торгових точок (план відвідування, анкети

та форми, анкети, довідкова інформація для торгових точок та продуктів), автоматично синхронізуються та завжди доступні на смартфонах та планшетах аудиторів.

Додаток можна безкоштовно завантажувати для будь-якої кількості користувачів та пристроїв.

До недоліків програми варто віднести:

- відсутність версії Windows Mobile;
- відсутність резервного копіювання;
- відсутність сповіщень, офлайн-режим, анонімний зворотний зв'язок [18].

Мурашина логістика

Мурашина логістика належить до SaaS додатків побудови оптимальних маршрутів доставки.

Ця послуга українська, тому для вітчизняних представників буде оптимальним рішенням. Мурашина логістика дозволяє позначати на карті склади та пункти, куди треба організувати доставку, і одним натисненням комп'ютерної мишки сформувати оптимальний маршрут.

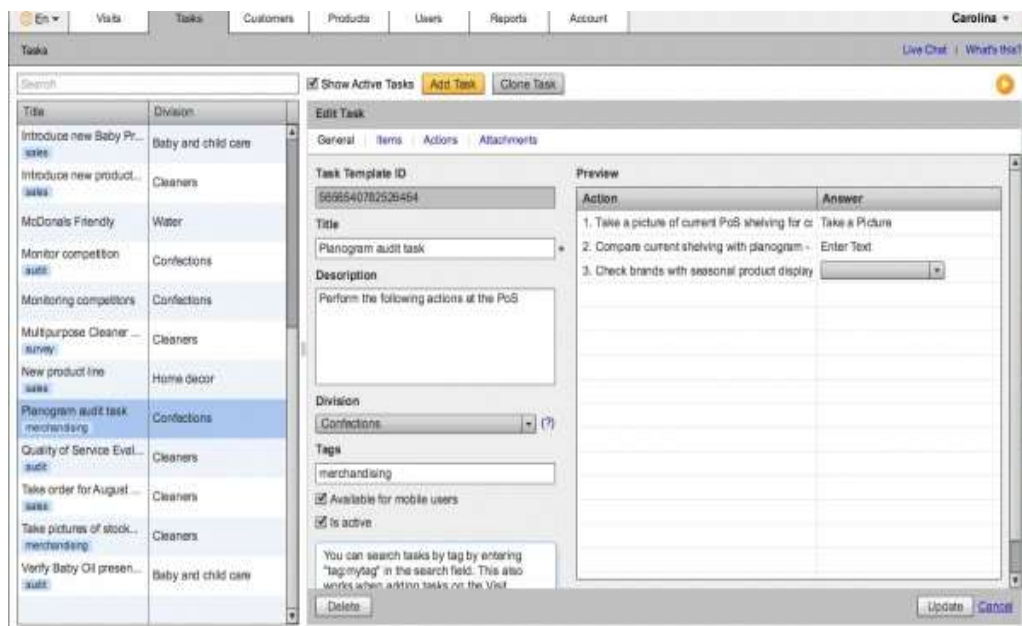


Рисунок. 1.2 – Приклад роботи програми

Розробники стверджують, що таким чином можна досягти значної

економії як бензину, так і часу. З використанням GPS пристроїв, можна порівняти запланований маршрут із фактичним. Послуга буде корисною для інтернет-магазинів, кур'єрських служб, дистриб'юторів. Існує безкоштовна версія для 2-х автомобілів та 30 проїзних точок. Платна версія починається з \$ 29 / місяць.

Програмний додаток підбирає потрібну кількість транспортних засобів для доставки товару з оптимальною завантаженістю. Це дає змогу зменшити витрати на орендовані транспортні засоби.

Серед недоліків варто відзначити:

- складність у освоєнні системи, оскільки вона має багато функцій;
- відсутність багатофакторної авторизації;
- відсутність можливостей для спілкування між торговими

представниками [19].

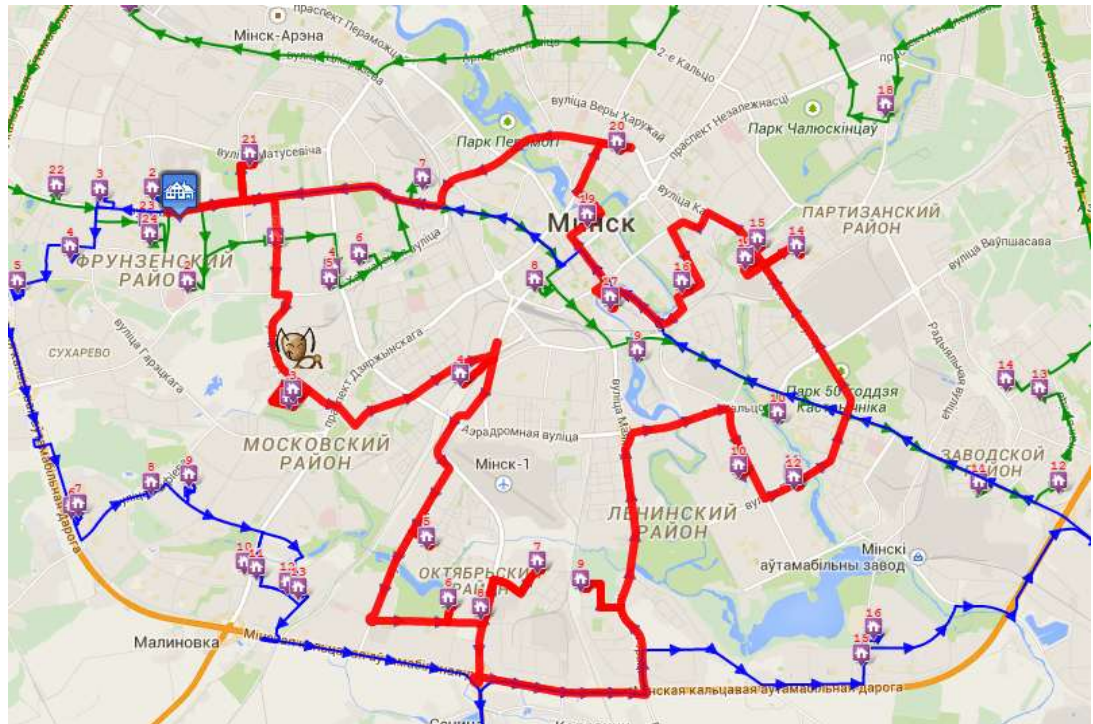


Рисунок. 1.3 – Приклад роботи програми

Махортра

Махортра відноситься до систем керування логістикою та проведенням оптимізації маршрутів. Програма допомагає зменшити витрати на виробництво та паливо для автомобілів.

До особливостей Махортра відносять:

- автоматичну генерацію оптимальних маршрутів з врахуванням завантаженості доріг, дорожніх заторів, об'ємних і вагових параметрів вантажів, транспортних вимог, розкладу роботи автоводіїв та кур'єрів;
- можливість ручного налаштування маршруту;
- контроль вчасної доставки товарів у режимі онлайн;
- автоматичне надсилання повідомлень клієнтам про всі етапи доставки

замовлених товарів з підтримкою SMS/email/повідомлень Viber

- віджет відстеження доставки.

До недоліків програмного продукту можна віднести:

- наявність лише платної версії програми;
- незручний та складний у освоєнні інтерфейс користувача [20].

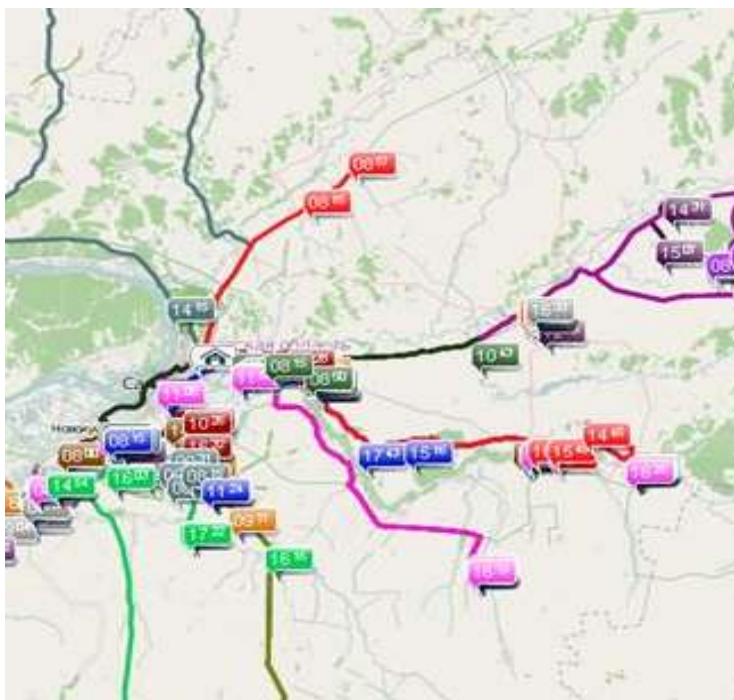


Рисунок. 1.4 – Приклад роботи програми

Мобіфорс

«Мобіфорс» являє собою програмний додаток для полегшення управління персоналом та оптимізації часу сервісних інженерів. Вона допомагає організувати робочі процеси.

До системи входить бізнес-оператор, який має право контролювати виконання та надання робототехнічних послуг, щоб покращити ефективність роботи персоналу.

До особливостей послуг програмного додатку Мобіфорс належать:

- рівномірний розподіл задач між співробітниками;
- контроль роботи товарних агентів у режимі онлайн;
- можливість відстеження статусу виконання задач;

- обмін повідомлень про статус задач між користувачами програми;
- можливість використання додатку без виходу в мережі Internet.

До недоліків додатку «Мобіфорс» відносять:

- немає функції взаємодії з електронною поштою;
- відсутність можливості пошуку по фільтрам;
- немає контролю управління доступом до програми [21].

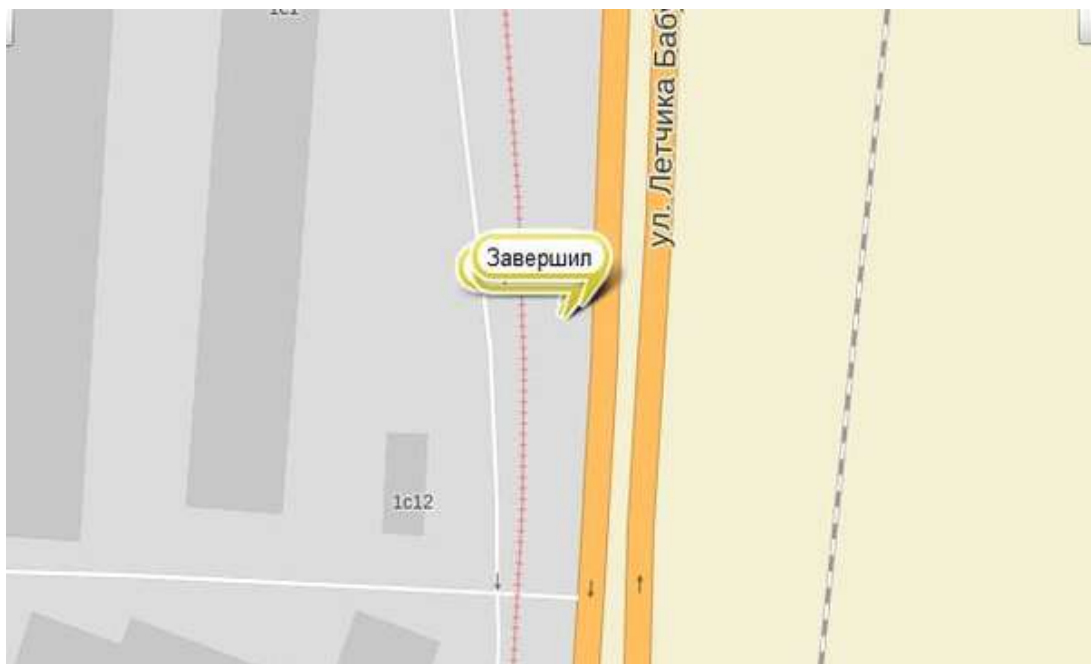


Рисунок. 1.5 – Приклад роботи програми

WorkSection

WorkSection призначена для управління проектами в Інтернеті.

Використання WorkSection надає можливість зберігати замітки по проектам, стежити за прогресом задач, створювати списки співробітників та клієнтів і надсилати нагадування про закінчення термінів виконання задач.

Сервіс можна безкоштовно протестувати і при задоволенні користувацьких потреб, оформити підписку на платний тариф.

WorkSection дозволяє користувачеві:

- планувати проекти і задачі;
- проводити контроль термінів виконання задач;
- вести роботу з клієнтами та фрілансерами;

- немає потреби в спілкуванні поза службою;
- універсальність системи, що підходить як для планування основних задач у великій команді, так і для складання списків закупівель одної персони.

До основних недоліків можна віднести відзначають тимчасову відсутність локалізованої версії програми. Більше того, у порівнянні з Trello, останнє надає більше можливостей у створення дошки зі списком на ній за рахунок меншого регулювання [24].

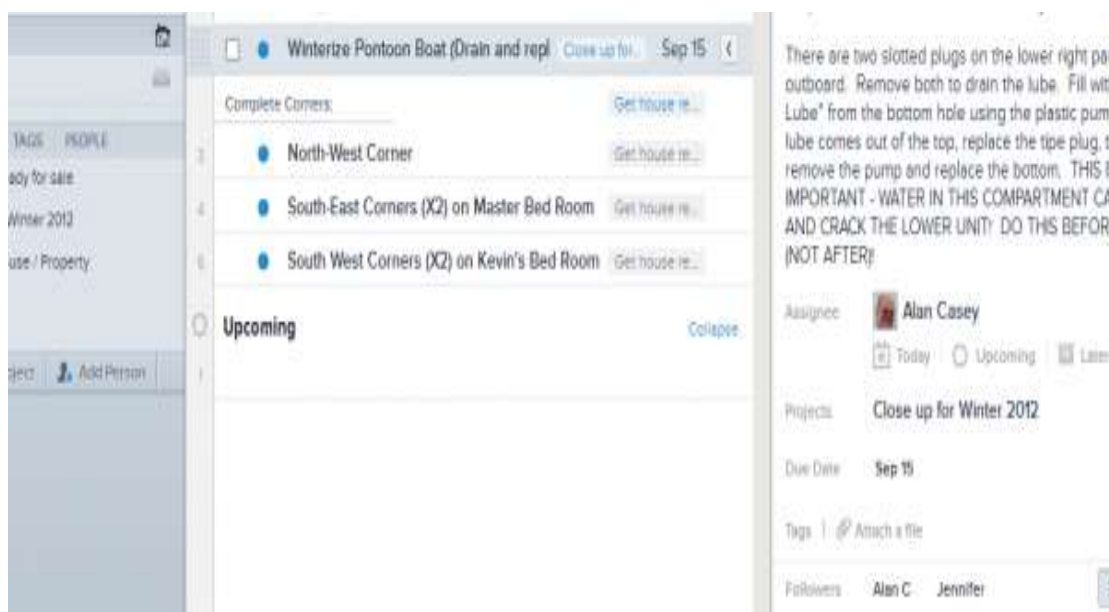


Рисунок. 1.7 – Приклад роботи програми

Провівши огляд на функціональність таких програм, як ALT, VisitBasis, Mobifors, Ant Logistics, Maxoptra, Worksection, Asana, можна зробити висновок, що ці програми мають деякі недоліки. В першу чергу, серед розглянутих програмних додатків, більшість потребують платної підписки, а ті, у яких є безкоштовні версії незручні для користувачів і мають мало функцій для повноцінного користування. Крім того, практично всі розглянуті продукти не мають зручної для користувача інформаційної системи, що ставить у необхідність ручної перевірки стан задач. Немало важливим є те, що інтерфейс деяких програмних додатків є складним у освоєнні для використання користувачем через потенційну складність роботи з великими обсягами інформації.

Провівши аналіз програм, можна зробити висновки, що найбільш близькими по характеристикам до розроблюваної системи побудови маршруту постачання торгової мережі, є ALT і Мурашина логістика. Саме через це обиремо ці SaaS-програми для майбутнього прототипу.

1.7 Висновок

В даному розділі було розглянуто логістичну концепцію побудови моделі транспортного обслуговування. Також охарактеризовано основні поняття системи логістики. Було проведено аналіз сучасних програм-аналогів, які використовуються у сфері транспортної логістики для автоматизації процесів побудови маршруту постачання торгової мережі. Наведено короткий опис основних можливостей, які надають користувачам шукані програмні додатки. Проведено дослідження методів, поширених для вирішення задачі побудови субоптимального маршруту. Для цього запропоновано взяти за основу алгоритм мурашиного пошуку. Здійснено постановку задачі подальшого проектування.

2 РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ

2.1 Загальна характеристика організаційно-функціональної структури логістики

Організаційну структуру підрозділу логістики в будь-якої виробничо-господарської організації (ВГО) при її практичному втіленні прийнято визначати як певну частину адміністрації, яка відповідає за прийняття (вироблення) та реалізацію логістичних рішень, відповідних місій, цілям і завданням підприємницької діяльності виробничо-господарської організації.

Організаційно-функціональна структура (структура системи організаційного управління) - певна управлінська форма поділу і кооперації (агрегування і об'єднання) управлінської діяльності, яка забезпечує процес планування і реалізації діяльності, спрямованої на досягнення намічених цілей підвищення ефективності підприємницької діяльності.

Транспортно-логістичним системам властиві такі цілі функціонування:

- фінансові цілі, які виражаються в формі прибутку при рентабельності і ліквідності;
- виробничо-технічні цілі, які виражаються загальною продуктивністю і продуктивністю окремих підрозділів, мінімізацією окремих періодів часу в процесі виробництва;
- технічна ефективність, тобто технічні параметри і ресурсомісткість виробництва та ін [25].

Кожен рівень управління транспортно-логістичних систем вирішує свої завдання (стратегічні, оперативні і тактичні). Передбачається, що підрозділи, що входять до ТЛК, володіють певною незалежністю. Співвідношення між незалежністю і залежністю підрозділів доцільно розглядати з позиції синергії, тобто сумарного ефекту системи. У цьому випадку з'являється можливість ефективно комбінувати поєднання окремих підрозділів або підсистем

транспортно-логістичних систем (термінальних комплексів, елементів логістично-транспортного ланцюга) з метою отримання вищого ефекту для всієї системи. Елементами логістичного транспортного ланцюга можуть бути вантажовласники, що забезпечують процес доставки вантажів. У цьому випадку особливого значення набувають термінальні системи [5].

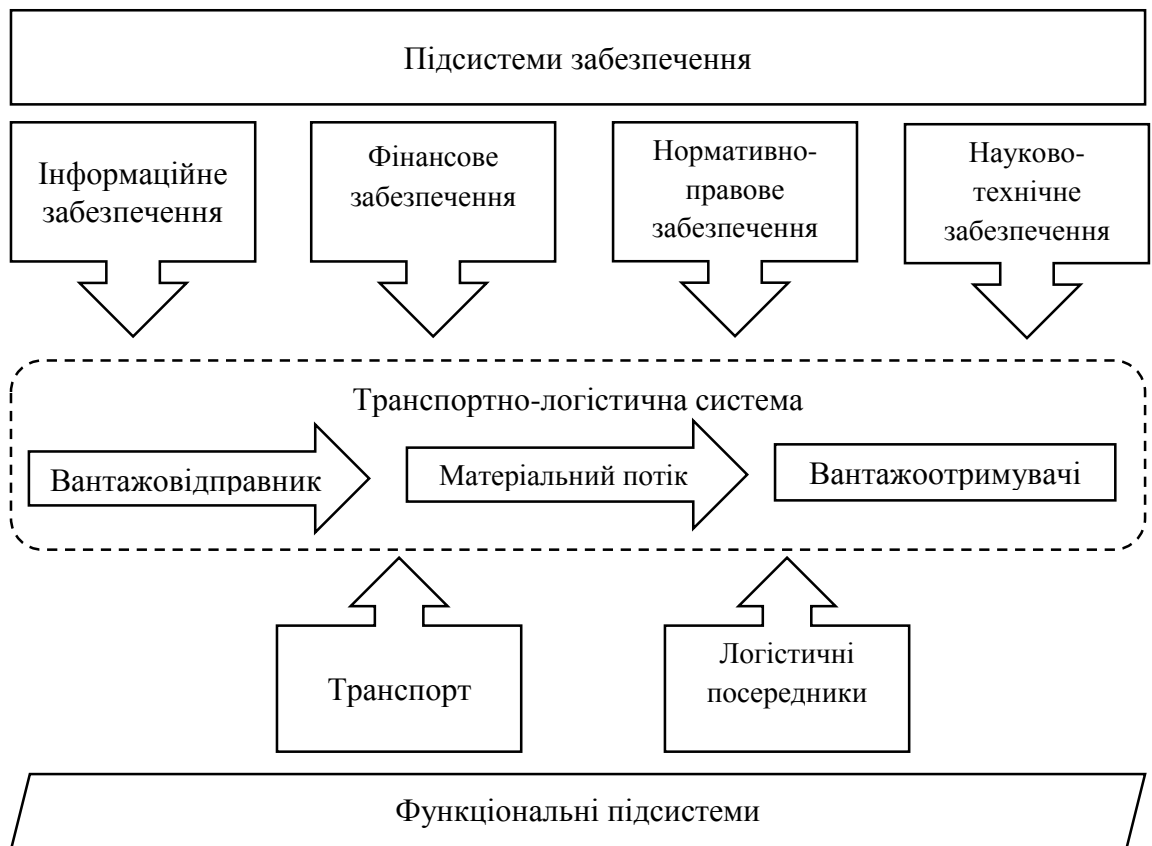


Рисунок 2.1 - Організаційно-функціональна структура транспортно-логістичної системи

При створенні транспортно-логістичних систем доцільно використовувати функціональний підхід. При його реалізації ланцюжок розвитку розглянутого підприємства має вигляд: потреби вантажовласників - функції транспортно-логістичних систем - цілі функціонування транспортно-логістичних систем - синтез організаційної структури транспортно-логістичних систем.

Реалізація функціонального підходу дозволяє застосовувати нові рішення в галузі організаційної структури підприємства, зокрема заснованої на ідеях

реінжинірингу, а також враховувати один з принципів логістики - орієнтацію на споживача.

Створення транспортно-логістичних систем передбачає розвиток інтеграційних зв'язків з потенційними партнерами, в числі яких можуть виступати і конкуренти [16].

2.2 Характеристика підходу мультиагентного моделювання

Досліджувана задача належить до класу транспортних задач. Так як замовлення надходять у різні часові проміжки, то в момент надходження чергового замовлення необхідно враховувати не тільки поточне розташування транспортних засобів, а й їх поточну вантажопідйомність. Значення даних показників впливають на вибір маршруту. Також важливим чинником є швидкість прийняття рішень, так як необхідно організувати доставку оперативно та здійснювати її вчасно [26].

Агентне моделювання є моделюючим підходом, що досліджує поведінку децентралізованих агентів та те, як він описує поведінку системи в цілому.

Багатоагенні системи називають сукупністю інтелектуальних агентів.

Багатоагентні системи дозволяють ефективно проектувати, моделювати та керувати складними системами.

Проблемним середовищем назвемо сукупність показників продуктивності середовища, виконавчих механізмів й датчиків. Опишемо цю систему таким чином:

Проблемне середовище = $\langle P, E, A, S \rangle$

де P – дія,

E - середовище,

A - датчики,

S - сенсори.

На даний момент вони є багатообіцяючим підходом до вирішення розробки програмного забезпечення, логістики та багато іншого.

В залежності від внутрішньої структури агента розрізняють такі їх типи:

- прості рефлексивні: поведінку такого агента можна описати набором правил, що визначають взаємозв'язок між вхідним ефектом та діями агента;
- рефлексивні агенти на основі моделі;
- "агенти цілі";
- агенти по корисності.

Поняття агента визначають як апаратне або програмне забезпечення, яке може діяти для досягнення визначених користувачем цілей. Будь-яке визначення агента стосовно змін стану середовища може бути зрозумілим під впливом цього визначення.

Типовими властивостями агента є:

- адаптованість (здатність до навчання);
- самостійність (агент виступає як незалежна програма, яка ставить цілі та вживає заходів для їх досягнення);
- співпраця (взаємодія з іншими агентами, коли агент грає різні ролі при взаємодії з одним і тим же агентом);
- інтелект (агенти можуть мати механізми знань чи виведення, засновані на узагальненні, наприклад, із вбудованою штучною нейронною мережею);
- спілкування (здатність взаємодіяти з іншими агентами);
- мобільність (можливість переміщення агента в просторі або переміщення агента з однієї групи агентів в іншу) [27].

Задамо поведінку агента картою станів (state chart), яку можна запрограмувати на індивідуальному рівні. Агентно-орієнтований підхід дозволяє врахувати особливості активних елементів соціально-економічної частини логістики.

2.3 Обґрунтування вибору базового алгоритму вирішення поставленої задачі

Основу агентних алгоритмів складають принципи самоорганізації мурашиних колоній у природному середовищі.

Мурахи - соціальні комахи, які утворюють групи. Групова система може вирішувати складні динамічні задачі колективно, які неможливо виконувати окремо від кожного компонента системи в різних середовищах без зовнішнього контролю, контролю чи координації. Це є прикладом організації ройового інтелекту, що забезпечує методи кооперативної поведінки і є своєрідною стратегією виживання.

Незважаючи на нецілісну поведінку кожного з представників, агенти в колонії є високоорганізованим механізмом, до складу якого входить велика кількість «агентів» - мурах. Таким чином, можна вирішувати складні проблеми, що виходять за межі можливостей окремого агента в цілому [28].

Ключову роль у здійсненні соціальної поведінки таких агентів у природному середовищі відіграє самоорганізація. Самоорганізація визначається як сукупність динамічних механізмів, які забезпечують досягнення поставленої цілі системи внаслідок низького рівня організації даної системи.

При цьому центральне управління в будь-якій формі виключається: компоненти системи беруть в обробку лише локальні дані.

Основним способом комунікації між мурахами є стигмерія (тип взаємодії, коли суб'єкт змінює частину навколишнього середовища, а інші суб'єкти використовують цю інформацію пізніше, коли вони знаходяться поруч). На малюнку 2.2 показана поведінка мурах у природі [29].

Стигмерія реалізується через спеціальну речовину – феромон, який осідає на поверхні, коли мураха рухається. Феромон випаровується з часом, дозволяючи мурахам адаптуватися до навколишнього середовища.

Ці механізми самоорганізації базуються на принципі мурашиних алгоритмів пошуку [30].

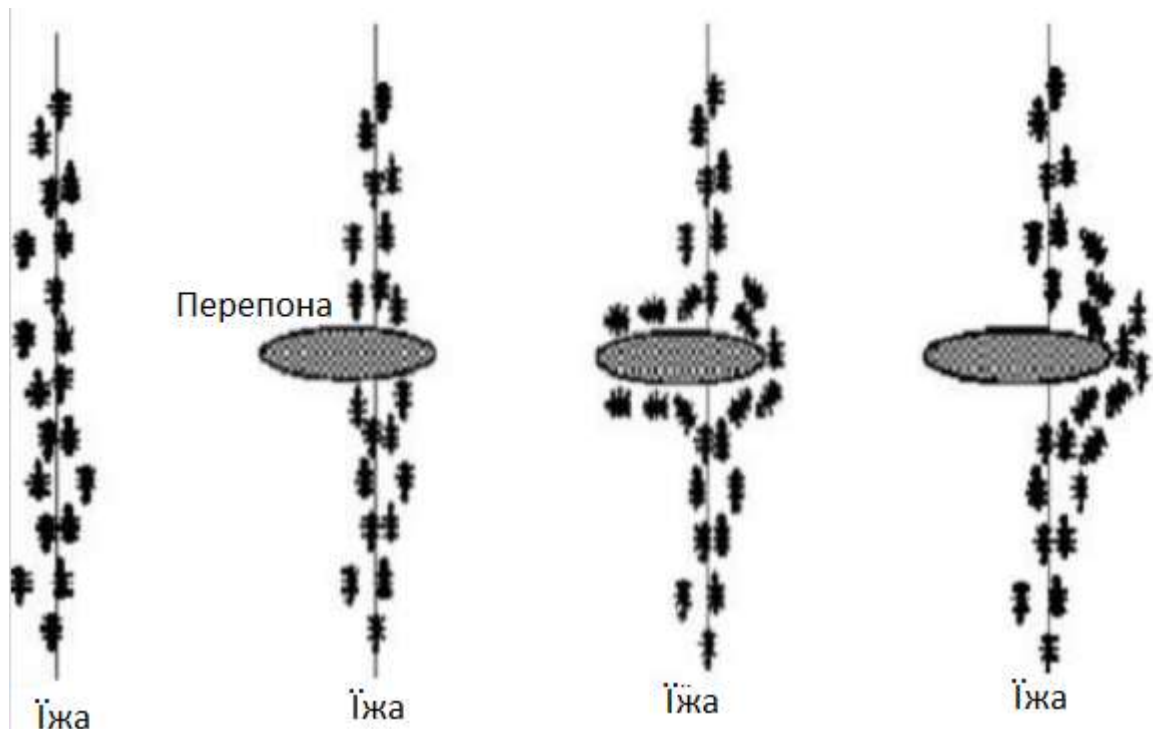


Рисунок 2.2 – Поведінка мурашиної колонії

2.4 Розробка математичної моделі побудови маршруту постачання торгової мережі

Мураха - це програмний агент, який є членом великої колонії і приймає участь у вирішенні будь-якої проблеми. Агент забезпечується набором простих правил, які дозволяють їй вибирати шлях в графі. Вона підтримує список вузлів, які вже відвідала. Таким чином, агент повинен проходити через кожний вузол тільки один раз. Шлях між двома вузлами графа, за який агент відвідав кожен вузол тільки один раз, називається шляхом Гамільтона.

Вузли в списку "поточної подорожі" розташовуються в тому порядку, в якому агент їх відвідував. Потім список використовується для визначення довжини шляху між вузлами. Справжня мураха під час переміщення по шляху

залишатиме за собою феромони. В алгоритмі мурашки агент залишає феромони на ребрах графа після завершення подорожі [31].

Стартова точка, з якої рухається агент напряму залежить від обмежень, які накладаються умовами задачі, оскільки для кожної задачі спосіб розміщення агентів важливий. Або всі вони поміщаються в одну точку, або в різні з повтореннями, або без повторень.

На цьому ж етапі задається початковий рівень феромону. Він ініціюється невеликим позитивним числом для того, щоб на початковому етапі ймовірності переходу в наступну вершину були нульовими [32].

По створенні популяції агентів вони рівномірно розподіляються по вузлах мережі. Це потрібно для того щоб усі вузли мали однакові шанси стати відправною точкою. У випадку, якщо абсолютно усі агенти розпочнуть рух з однієї точки, то це означатиме, що даний вузол є оптимальним для старту, хоча такими даними ні користувач, ні програма не володіє [33].

Робота алгоритму починається з розміщення агентів у вершинах графа (торгових точках збуту товарів), далі починається рух агентів. Визначення напрямку руху визначається по ймовірності, яка розраховується по формулі 2.1.

$$p_{i,j}^k = \frac{(\tau_{ij})(\mu_{ij}^\beta)}{\sum_{l \in J_k} (\tau_{il})(\mu_{il}^\beta)}, \quad (2.1)$$

де $p_{i,j}^k$ – ймовірність руху агента k від вузла i до вузла j ;

τ_{ij} - кількість феромону на дузі від вузла i до вузла j ; є апріорним індикатором привабливості переходу по дузі;

μ_{ij}^β – бажаний перехід від вузла i до вузла j , який обчислюється за формулою $1/d_{ij}$ (d – відстань від вузла i до вузла j); є апріорним степенем привабливості переходу;

J_k – множина невідвіданих вузлів (торгових точок) для агента k , що знаходиться у вузлі i ;

β - параметр бажаності (attractiveness) переходу (задається користувачем).

При пошуку нового рішення застосовується правило переходів, що є етапом прийняття рішення про перехід між поточним вузлом та наступним [34].

Правило переходів представляється псевдовипадковою пропорційністю і виражається формулою 2.2.

$$s = \begin{cases} \arg \max_{l \in J_k} \{ \tau_{il} \times \mu_{ij}^\beta \} & \text{if } q \leq q_0 (\text{exploitation}) \\ S & \text{otherwise (exploration)} \end{cases} \quad (2.2)$$

де q_0 - імовірність експлуатації (exploitation) переходу ($0 \leq q_0 \leq 1$), тоді S - число, що обчислюється по формулі (2.1) при ймовірності експлорації (exploration) або дослідження $1 - q_0$, а q - випадкове число, рівномірно розподілене в інтервалі $[0 \dots 1]$.

У процесі побудови маршруту агент відвідує вузли та змінює рівень феромону на пройдений шлях. Для цього застосовується правило локального оновлення феромону, що розраховується за формулою 2.3.

$$\tau_{ij} = (1 - \rho)\tau_{ij}^k + \rho\tau_0, \quad (2.3)$$

ρ - швидкість випаровування феромону (задається користувачем);

τ_0 - початкова кількість феромону, отримана по формулі 2.4.

$$\tau_0 = (n \times L_{nn})^{-1}, \quad (2.4)$$

де n - кількість вузлів (міст);

L_{nn} - довжина повного шляху.

Локальне правило оновлення допомагає додавати феромон до шляху, по якому переміщається агент. Глобальне правило оновлення додає феромон до найкращого в даний час рішення (найкоротший шлях) [35]. Його

використовують після кожної ітерації, змінюючи кількість феромону у всіх дугах формули 2.5

$$\tau_{ij} = (1 - \alpha)\tau_{i,j}^k + \alpha \times \Delta\tau_{i,j}^k, \quad (2.5)$$

де α - параметр розпаду феромону, $0 < \alpha < 1$ (задається користувачем);

$\Delta\tau_{i,j}^k$ - кількість відкладеного феромону на шляху від вузла i до вузла j ,

визначена за формулою 2.6.

$$\Delta\tau_{i,j}^k = \begin{cases} 1/L_k & \text{if агент } k \text{ подорожує на дугу } ij \\ 0 & \text{інакше} \end{cases} \quad (2.6)$$

де L_k - вартість пройденого шляху (довжина) для агента k .

Для мурашиного алгоритму було виділено ряд параметрів, що впливають на ефективність його роботи:

- параметр розпаду феромону α ;
- параметр бажаності переходу від вузла до вузла β ;
- параметр швидкості випаровування феромону ρ ;
- ймовірність експлуатації переходу q_0 ;
- кількість ітерацій і кількість повторень ітерацій алгоритму, які подаються на вхід програмної реалізації алгоритму [36].

Провівши експериментальні дослідження, за використанням різних значень параметрів, потрібно віднайти поєднання параметрів, при якому алгоритм дозволить прокласти оптимальний маршрут або найближчий до такого при мінімальній кількості ітерацій алгоритму.

2.5 Розробка загальної структурної схеми та алгоритмів функціонування системи побудови маршруту постачання торгової мережі

У даному випадку задача комівояжера полягає у пошуку субоптимального маршруту доставки товарів у торгові точки збуту. Накладаються вимоги: доставка за найкоротший термін при витраті мінімальних коштів на проїзд.

Загалом це завдання не є складним, але враховуючи, що найкоротший шлях не обов'язково оцінюється мінімальними грошовими витратами, завдання пошуку субоптимального шляху значно ускладнюється. Існує також потреба у заторах руху в межах міста, оскільки майже нереально швидко доїхати до пунктів призначення у час пік. Але, вибравши дещо довший маршрут, але завантажений транспортними засобами, наприклад, не на 80%, а на 20, торговий представник подолає вказану відстань на порядок швидше, тим самим зекономивши витрати на паливе у заторах так як при повільному переміщенні автомобіль може споживати більше пального, ніж при проїзді на більші відстані.

Вхідними даними для програми є дані про вузли торгової мережі, які повинен відвідати торговий представник. Ці дані вводить користувач. Перерахуємо їх: відстань між торговими точками збуту; завантаженість доріг потоком автомобільного транспорту. Після введення вище перерахованої інформації запускається алгоритм знаходження субоптимального шляху. Відправною точкою оберемо склад. Результати пошуку відображаються на екрані по закінченню пошуку найбільш підходящого шляху проходження точок.

Вихідними даними до роботи програми є прокладений субоптимальний маршрут перевезень, який користувач може переглянути у вигляді з'єднаних між собою торгових точок на карті. Напрямок руху не вказується оскільки для поставленої задачі не є принциповим.

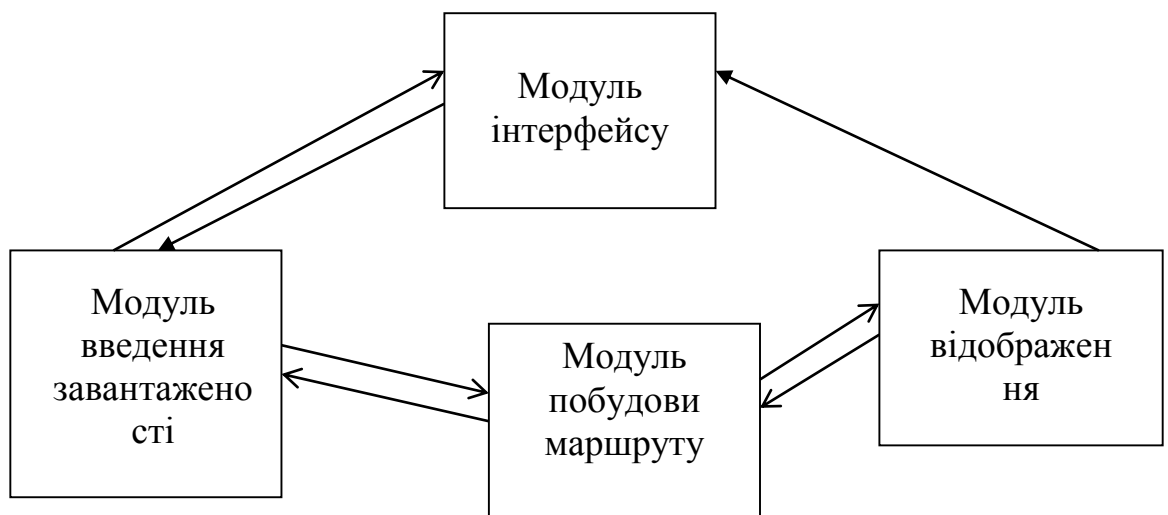
У розроблюваній системі будуть представлені такі модулі як: модуль інтерфейсу, модуль введення завантаженості між вузлами торгової мережі, модуль прокладання маршруту та модуль відображення побудованого маршруту.

При запуску програмного додатку починає свою роботу модуль інтерфейсу. Даний модуль має зв'язок з іншими – модулем введення завантаженості та модулем відображення. Модуль введення завантаженості

розпочинає роботу після модуля інтерфейсу. Він приймає введені дані про завантаженість транспортних доріг. По завершенню своєї роботи модуль введення завантаженості надсилає дані модулю побудови маршруту, що приймає вхідні дані та проводить подальшу їх обробку.

Після цього розпочинається робота алгоритму пошуку шляху. Коли субоптимальний шлях знайдено, відбувається передача даних від модуля побудови маршруту до модуля відображення, що проводить побудову маршруту. За рахунок модуля інтерфейсу результати роботи програми виводяться на екран у вигляді карти.

Розроблена структурна схема функціонування системи побудови маршруту постачання торгової мережі зображена на рисунку 2.3.



Розроблена схема загального алгоритму функціонування системи побудови маршруту постачання торгової мережі зображена на рисунку 2.4

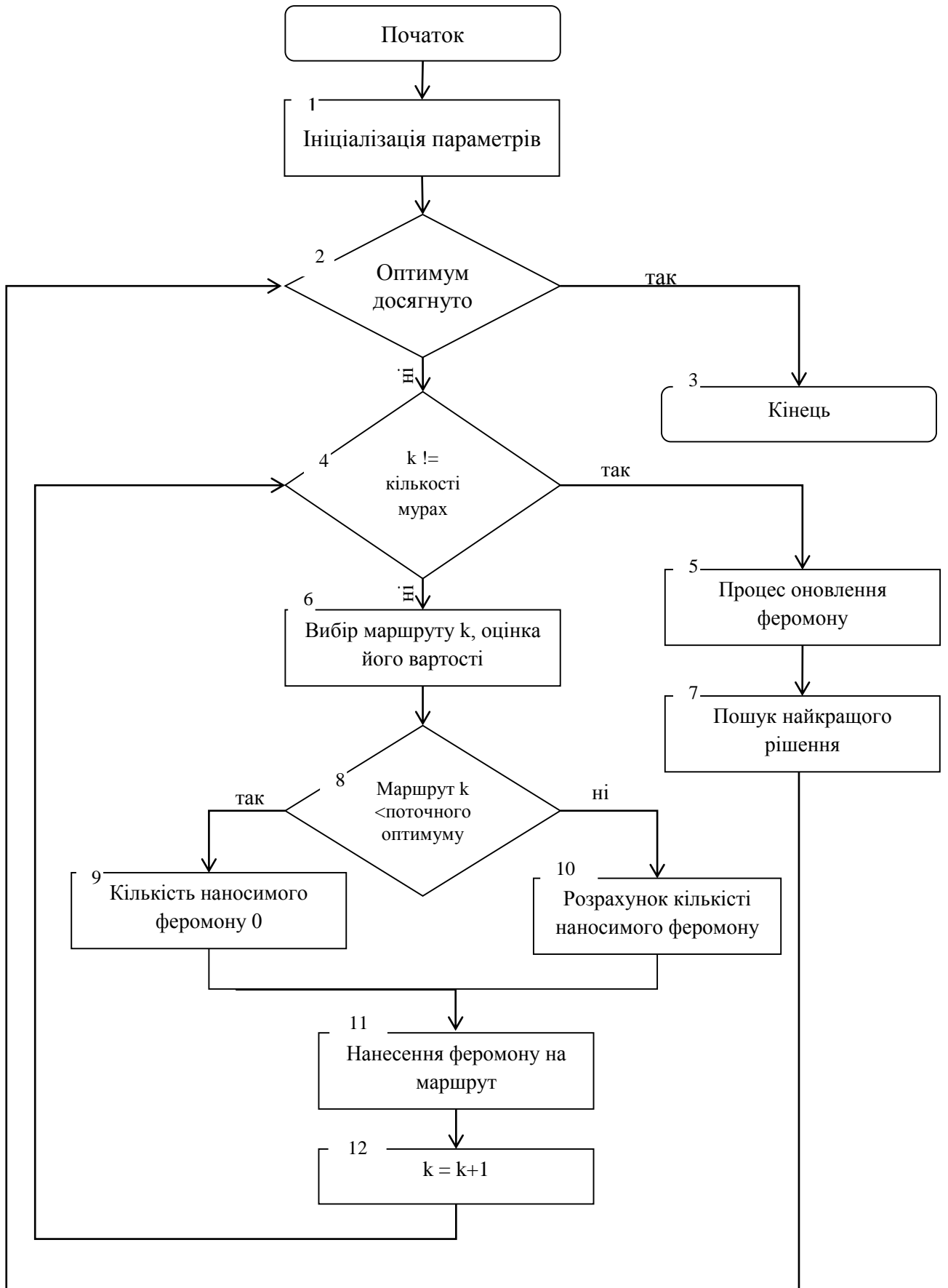


Рисунок 2.4 - Схема загального алгоритму функціонування системи

2.6 Розробка структури інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі

На вхід подаються торгові точки (відстань між ними вказана у програмному коді у вигляді завчасно визначеного масиву), які потрібно відвідати торговому агенту та чисельні значення завантаженості доріг між заданими точками. Після цього відбувається звернення до бази знань з відстанями між торговими точками та отриманням даних щодо конкретного запиту. Далі проходить ініціалізація роботи агентного алгоритму побудови маршруту. Коли субоптимальний маршрут між точками визначено проходить ітеративне створення зв'язків між визначеними точками на площині. Завершальним є процес картографічної візуалізації отриманих результатів.

Структуру інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі зображено на рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Структура інформаційної технології побудови маршруту постачання торгової мережі

2.7 Висновок

У другому розділі було розроблену математичну модель системи побудови маршруту постачання торгової мережі, яка базується на алгоритмі мурашиного алгоритму пошуку шляху у закритому контурі. Даний алгоритм імітує поведінку мурах у природі.

Даний підхід метод є одним із найефективніших при вирішення задачі побудови шляху. Також приведено характеристику організаційно-функціональну структури логістики, на яку має безпосередній вплив інформаційне, фінансове, нормативно-правове та науково-технічне забезпечення. У даному розділі було розроблено загальну структурну схему та схему алгоритмів функціонування системи побудови маршруту постачання торгової мережі.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ПОБУДОВИ МАРШРУТУ ПОСТАЧАННЯ ТОРГОВОЇ МЕРЕЖІ

3.1 Обґрунтування вибору мови програмування

Постійні вдосконалення різних мов програмування стало появою у 1995 році об'єктно-орієнтованою мовою програмування Java.

Програми на Java можуть бути трансльовані в байт-код, що виконується на віртуальній java-машині (JVM) програмою, що обробляє байт-код і передає інструкції обладнанню, як інтерпретатор, але з тією відмінністю, що байт-код, обробляється на порядок швидше.

Така архітектура забезпечує портативність програм Java на різних платформах та апаратних засобах, дозволяючи таким програмам запускатись без переробки на різних платформах - Windows, Linux, Mac OS тощо. Для кожної платформи може бути реалізація віртуальної машини JVM, але кожна з них може виконувати той же самий код [35].

Java набула застосування і для створення інтерактивних продуктів для Інтернету.

У технології Java є три основні елементи:

- java пропонує свої маленькі аплети - невеликі, надійні, динамічні, незалежні від платформи, активні мережеві програми, вбудовані у веб-сторінки;
- java розкриває потужність об'єктно-орієнтованої розробки додатків, поєднуючи просту і звичну гармонію з надійною і простою у використанні середовищем розробки;
- java надає програмісту багатий набір класів об'єктів для чіткого захоплення багатьох системних функцій, що використовуються в роботі з windows, мережею та вводу-виводу [36].

Ще однією ключовою особливістю Java є те, що вона підтримує автоматичне збирання сміття. Отже, що вам не буде потрібно вручну звільняти

пам'ять від раніше використовуваних об'єктів, наприклад, у C ++, оскільки це буде робити автоматично сміттєзбірник.

Java - об'єктно-орієнтована мова. Підтримує поліморфізм, успадкування, статичну типізацію. Об'єктно-орієнтований підхід дозволяє вирішити проблему створення великих, але гнучких, масштабованих та масштабованих програм.

Програму на мові java можна визначити як сукупність об'єктів, які взаємодіють, викликаючи методи один одного [37].

У таблиці 3.1 показано порівняльну характеристику java з деякими іншими мовами програмування.

Таблиця 3.1 – Порівняння мов програмування C++, C#, Java, PYTHON

Можливість	C++	C#	JAVA	PYTHON
Об'єктно-орієнтована	+	+	+	+
Статистична типізація	+	+	+	-
Динамічна типізація	-	+	-	+
Явна типізація	+	+	+	-
Неявна типізація	-	-	-	+
Можливість компіляції	+	+	+	+
Багатопотокова компіляція	+	-	+	-
Ручне управління пам'яттю	+	+	-	-
Збір сміття	-	+	+	+
Інструкція goto	+	+	+	-
Підтримка try/catch	-	+	+	+
Інтерфейси	+	+	+	+
Перегрузка функції	+	+	+	-
Безкоштовність	-	-	+	-
Сумісність різних версій	-	-	+	-

Особливості середовища Eclipse

Eclipse - це платформа розробки з відкритим кодом, заснована на Java. Це в основному просте середовище розробки та набір служб для побудови додатків на основі вбудованих компонентів (плагінів). Eclipse постачається зі

стандартним набором плагінів, включаючи добре відомі Java Development Tools (JDT).

Хоча більшість користувачів, які використовують Eclipse як інтегроване середовище розробки Java (IDE), цілком задоволені цим, його можливості набагато ширші. Eclipse також включає середовище розробки плагінів (PDE), яке буде особливо цікавим для тих, хто хоче розширити сам Eclipse, оскільки це дозволяє створювати власні інструменти, вбудовані в середовище Eclipse. Завдяки плагіну Eclipse у повному обсязі всі розробники інструментів можуть пропонувати розширення Eclipse та надавати користувачам послідовну та повну IDE [38].

Ця цілісність і послідовність не є унікальною для інструментів розробки Java. Хоча Eclipse заснований на Java, ви можете використовувати його на інших мовах. Наприклад, є (або розробляються) плагіни, які підтримують мови програмування, такі як C / C ++ та COBOL. Рамка Eclipse також може бути використана як основа для інших типів непрограмних додатків, таких як системи управління контентом [39].

Характеристичні риси платформи Eclipse

1. кросплатформеність - працює під операційними системами Windows, Linux, Solaris і Mac OS X;
2. □ використовуючи Eclipse можна програмувати на багатьох мовах, таких як Java, C і C ++, PHP, Perl, Python, Cobol та інших;
3. □ є фреймворком для розробки інших інструментів і пропонує великий набір API для створення модулів;
4. □ використовуючи підхід RCP (Rich Client Platform) Eclipse є інструментом для створення практично будь-якого клієнтського програмного забезпечення.

Архітектура платформи Eclipse

Основним елементом є виконуюче середовище - Eclipse Runtime, в якій виконуються коди розширень і модулів. Воно забезпечує всю базову

функціональність платформи - управління розширеннями і оновленнями, взаємодія з операційною системою, забезпечення роботи системи допомоги.

Наступним елементом є власне IDE - воно відповідає за управління основними елементами програми, їх розташуванням і настройками, управління проектами, налагодження та складання проектів, пошук по файлах і командну розробку [40].

3.2 Програмна реалізація системи побудови маршруту постачання торгової мережі

На рисунку 3.1 зображено загальну UML-діаграму класів системи побудови маршруту постачання торгової мережі.

Було розроблено наступні класи: Main, MainGUI, Opr, Gener, Point, Line, Out.

Клас Main відповідає за початкову активність програми. Викликає клас MainGUI.

Клас MainGUI відповідає за відображення головного меню. Він має методи `stvor()` та `shov()`, які відповідають за відображення та приховування головного меню відповідно.

Клас Opr відповідає за введення параметрів завантаженості доріг між пунктами призначення.

Клас Gener, клас з основною логікою програми, в ньому відбувається прокладання маршруту за допомогою застосування мурашиного алгоритму. Результатом роботи даного класу є субоптимальний маршрут обходу всіх торгових точок.

Клас Point наслідується від бібліотечного класу Point2D, клас призначений для відображення точок при виведенні результатів роботи програми.

Клас Line наслідується від бібліотечного класу Line2D, клас відповідає за відображення ліній для виведення результатів роботи алгоритму.

Клас Out відповідає за відображення вікна, на якому, власне, розміщується карта місцевості, на якій відображено торгові точки збуту товарів, та зв'язки між ними.

Лістинг програми наведений у додатку Б.

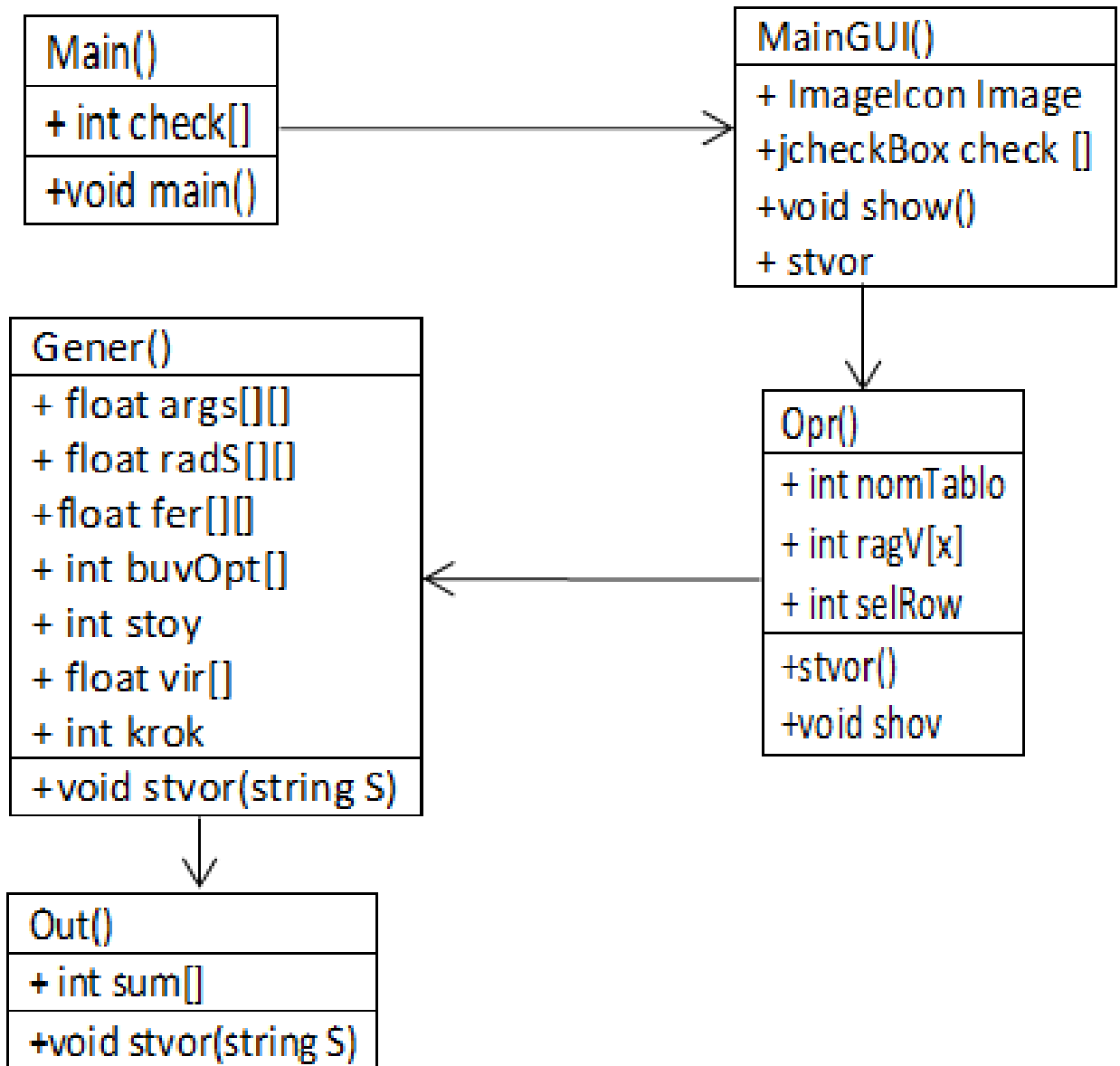


Рисунок 3.1 – Загальна UML-діаграма класів

3.3 Тестування розробленої системи побудови маршруту постачання торгової мережі та аналіз результатів її роботи

Розроблену систему побудови маршруту постачання торгової мережі було протестовано, що підтвердило коректність її роботи. Проведено 1500 запусків програми з моделюванням різних ситуацій. Це дало можливість адекватно оцінити роботу програми та встановити найбільш оптимальні значення параметрів, по яким працює алгоритм побудови маршруту.

Тестування моделювалося на торгових точках (8 штук) та складі товарів (1 штука). Завантаженість транспортних магістралей варіювалася в діапазоні від 0 до 100%.

Після запуску програми відкривається вікно початкової активності. На ньому Вікно початкової активності містить кнопку «Далі».

Користувачеві необхідно обрати точки збуту, в які необхідно організувати доставку вантажу й натиснути кнопку «Далі».



Рисунок 3.2 – Вікно початкової активності

Відбувається перехід до нової форми введення завантаженості автомобільних доріг, де тестувальник чи користувач має вказати поточні дані трафіку й натиснути на кнопку «Далі» (рисунк 3.3).

0	20	22	20	40	60	23	48	19	
20	0	30	33	66	18	59	44	29	
22	30	0	50	55	41	39	52	21	
20	33	50	0	43	61	77	72	70	
40	66	55	43	0	31	32	33	40	
60	18	41	61	31	0	58	69	71	
23	59	39	77	32	58	0	40	48	
48	44	52	72	33	69	40	0	55	
19	29	21	70	40	71	48	55	0	

Далі

Рисунок 3.3 – Введення завантаженості доріг

Результатом роботи програмного додатку є виведення карти місцевості з визначеним маршрутом між торговими точками (рисунк 3.4).

Повторимо тестування програми (рисунк 3.5, 3.6, 3.7, 3.8).

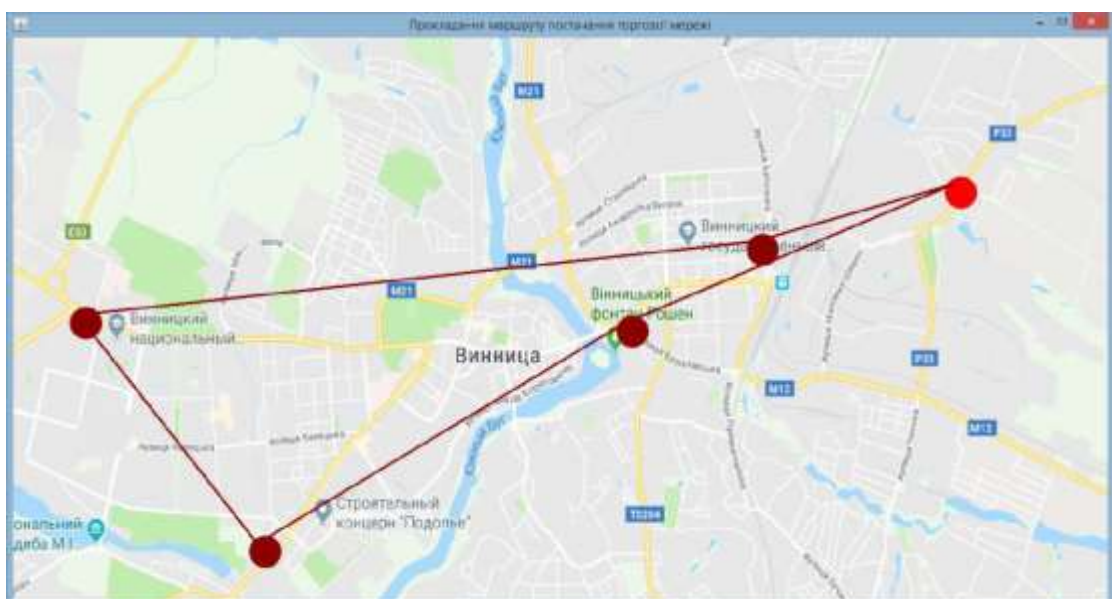


Рисунок 3.4 – Результат прокладання маршруту

Прокладання маршруту послання торгової мережі

0	90	80	90	90	10	12	15	10
90	0	10	12	30	22	91	82	80
80	10	0	50	50	51	50	51	50
90	12	50	0	10	11	12	13	14
90	30	50	10	0	88	81	82	83
10	22	51	11	88	0	13	15	17
12	91	50	12	81	13	0	93	88
15	82	51	13	82	15	93	0	50
10	82	50	14	83	17	88	50	0

Далі

Рисунок 3.5 – Введення навантаженості доріг



Рисунок 3.6 – Результат прокладання маршруту

Як бачимо, що результат прокладання маршруту для однакових точок, але при різній навантаженості транспортних шляхів, не однаковий, що свідчить про те, що враховується не лише параметр «відстані між точками», а й «навантаженість доріг».

Прокладання маршруту постачання торгової мережі

0	22	23	24	25	26	27	20	21
22	0	31	32	33	31	32	30	31
23	31	0	17	19	18	17	19	20
24	32	17	0	40	40	42	40	42
25	33	19	40	0	15	16	17	15
26	31	18	40	15	0	21	20	22
27	32	17	42	16	21	0	30	31
20	30	19	40	17	20	30	0	29
21	31	20	42	15	22	31	29	0

Далі

Рисунок 3.7 – Введення завантаженості доріг

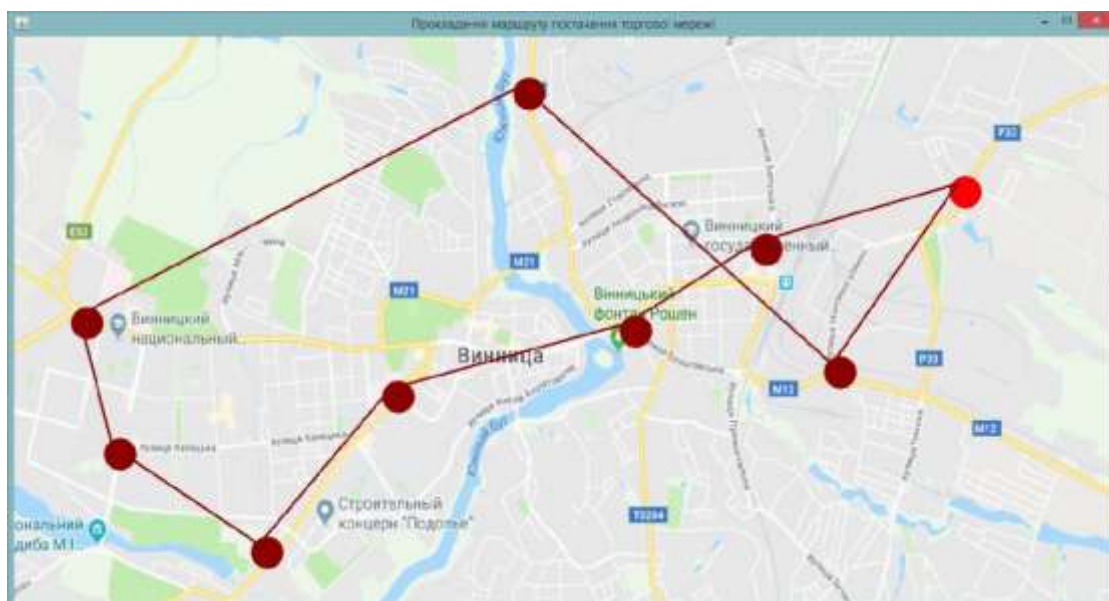


Рисунок 3.8 – Результат прокладання маршруту

Експериментальним шляхом було визначено найкраще значення параметрів, за яких швидкість прокладання субоптимального маршруту з різною кількістю точок та завантаженістю між ними є максимальною. Серед проаналізованих параметрів:

- швидкість випаровування – 0,5;
- рівень феромону – варіюється в діапазоні 1...5;

- ймовірність переходу – 0,5.

Значення швидкості випаровування = 0,5 виявилось найбільш підходящим, так як при більшій швидкості поведінка «агентів» була некооперованою, що приводило до значних погрішностей побудови маршруту, а при меншому значенні пошук зводився до одного можливого варіанту.

При випаровуванні феромону необхідно враховувати, що рівень феромону на ребрах не повинен досягати нульового рівня, інакше перехід по таким ребрам буде неможливий.

Початковий рівень феромону задається невеликим додатнім числом для того, щоб на початковому етапі ймовірності переходу в наступну вершину були нульовими.

Параметру «бажаності переходу», який визначає користувач, присвоєно значенні відстані між відповідними точками збуту товарів.

Отже, після проведення тестових запусків програми, можна зробити наступні висновки: програма прокладає субоптимальний маршрут за допустимий час. Отримані під час тестування роботи програми результати повністю відповідають очікуваним результатам. Розроблений програмний продукт працює у відповідності з задачами проектування.

В таблиці 3.1 наведено результати порівняння програмної реалізації мурашиного алгоритму з іншими способами розв'язання задачі прокладання маршруту для постачання торгової мережі. Розроблений додаток дає швидкість вищу ніж програми-аналоги. Порівняно з прототипом швидкість зросла майже на 3,5%, що є дуже хорошим результатом.

Проведемо аналіз роботи розробленої системи побудови маршруту постачання торгової мережі з існуючими на ринку рішеннями та запишемо результати у таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати порівняльного аналізу роботи розробленої системи побудови маршруту постачання торгової мережі з програмами-аналогами

	Розроблена програма	АЛЬТ	Мурашина логістика
Швидкість прокладання маршруту	0,143	0,149	0,147
Навантаження на процесор, %	18,5	20	22
Використання пам'яті, мб	382	350	404
Ефективність прокладеного маршруту	висока	висока	висока
Зручність інтерфейсу користувача	зручний та інтуїтивно зрозумілий	незручний, інтуїтивно зрозумілий	зручний, складний у освоєнні

3.4 Висновок

У даному розділі було розроблено UML-діаграму класів програми. На основі цього було проведено програмну реалізацію системи побудови маршруту постачання торгової мережі. Тестування розроблено програмного додатку підтвердило коректність його роботи та відповідність результатів очікуваням. Також було проведено порівняльний аналіз розробленого програмного додатку з існуючими на ринку аналогами по критерію «швидкість побудови маршруту».

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Оцінювання комерційного потенціалу розробки

Для визначення перспектив розробки магістерської кваліфікаційної роботи необхідно виконати наступні етапи економічної частини, які представлені на рисунку 4.1



Рисунок 4.1 – Алгоритм виконання економічної частини магістерської кваліфікаційної роботи та її складові

Метою проведення технологічного аудиту є оцінювання комерційного потенціалу розробки, створеної в результаті науково–технічної діяльності.

Для проведення технологічного аудиту залучено трьох незалежних експертів. А саме Озеранський В. С. та Сілагін О. В.. Оцінювання комерційного потенціалу буде здійснено за критеріями, що наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки, бальна оцінка

Критерії оцінювання та бали (за 5–ти бальною шкалою)					
Кри- тері- й	0	1	2	3	4
Технічна здійсненність концепції:					
1	Достовірність концепції не підтверджена	Концепція підтверджена експертними висновками	Концепція підтверджена розрахунками	Концепція перевірена на практиці	Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах

Продовження таблиці 4.1

Ринкові переваги (недоліки):					
2	Багато аналогів на малому ринку	Мало аналогів на малому ринку	Кілька аналогів на великому ринку	Один аналог на великому ринку	Продукт не має аналогів на великому ринку
3	Ціна продукту значно вища за ціни аналогів	Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів	Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів	Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів	Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів
4	Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів	Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів
5	Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів	Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів	Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів
Ринкові перспективи					
6	Ринок малий і не має позитивної динаміки	Ринок малий, але має позитивну динаміку	Середній ринок з позитивною динамікою	Великий стабільний ринок	Великий ринок з позитивною динамікою
7	Активна конкуренція великих компаній на ринку	Активна конкуренція	Помірна конкуренція	Незначна конкуренція	Конкуренція немає
Практична здійсненність					
8	Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї	Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців	Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату	Необхідне незначне навчання фахівців	Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї
9	Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні	Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є	Не потребує додаткового фінансування

Продовження таблиці 4.1

10	Необхідна розробка нових матеріалів	Потрібні матеріали, що використовуються у військово–промисловому комплексі	Потрібні дорогі матеріали	Потрібні досяжні та дешеві матеріали	Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві
11	Термін реалізації ідеї більший за 10 років	Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10–ти років	Термін реалізації ідеї від 3–х до 5–ти років. Термін окупності інвестицій більше 5–ти років	Термін реалізації ідеї менше 3–х років. Термін окупності інвестицій від 3–х до 5–ти років	Термін реалізації ідеї менше 3–х років. Термін окупності інвестицій менше 3–х років
12	Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів	Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів, що вимагає значних коштів та часу	Процедура отримання дозвільних документів у вимагає незначних коштів та часу	Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту	Відсутні будь–які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту

Щоб визначити рівень наукового та комерційного потенціалу нашої розробки, скористаємося даними таблиці 4.2, в якій наведено відповідні рекомендації [31].

Таблиця 4.2 – Рівні наукового та комерційного потенціалу розробки

Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$, розрахована на основі висновків експертів	Рівень комерційного потенціалу розробки
0 – 10	Низький
11 – 20	Нижче середнього
21 – 30	Середній
31 – 40	Вище середнього
41 – 48	Високий

Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки інформаційної технології прокладання маршруту постачання торгової мережі зведемо в таблицю 4.3.

Таблиця 4.3– Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

Критерії	Прізвище, ініціали, посада експерта	
	1 – Озеранський В. С.	2 – Сілагін О. В.
	Бали, виставлені експертами:	
1	4	4
Ринкові переваги (недоліки):		
2	3	4
3	3	3
4	4	3
5	4	4
Ринкові перспективи		
6	3	4
7	4	3
Практична здійсненність		
8	4	3
9	3	4
10	4	4
11	4	4
12	4	4
Сума балів	СБ ₁ =44	СБ ₂ =44
Середньоарифметична сума балів $\overline{СБ}$	$\overline{СБ} = \frac{\sum_{i=1}^3 СБ_i}{2} = \frac{88}{2} = 44$	

Рівень комерційного потенціалу розробки, становить 44 бали, що відповідає рівню «високий».

4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи

Проведемо прогнозування витрат на виконання науково-дослідної, дослідно-конструкторської та конструкторсько-технологічної роботи для розробки програмного забезпечення.

Виконаємо розрахунок витрат приймаючи до уваги те, що розробкою займався один розробник програмного забезпечення.

1. Основна заробітна розробників–дослідника Z_o розрховується за формулою 4.1.

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \text{ [грн]}, \quad (4.1)$$

де M – місячний посадовий;

T_p – число робочих днів в місяці;

t – число робочих днів роботи розробника–дослідника.

У розробці програмного продукту беруть участь студент-магістрант та науковий керівник роботи.

Отримані розрахунки заробітної плати студента-магістранта та наукового керівника зведемо в таблицю 4.4.

Таблиця 4.4 – Розрахунок витрат виконавців даного розділу роботи

Найменування посади виконавця	Місячний посадовий оклад, грн.	Оплата за робочий день, грн.	Число днів роботи	Витрати на опл. праці, грн.
1. Науковий керівник роботи	6500	309,52	7	2166,64
2. Студент-магістрант	5500	261,9	55	14404,5
Всього:				$\Sigma Z_o = 16571$

2. Додаткова заробітна плата Z_d всіх розробників, які брали участь у виконанні даного етапу роботи, розраховується як (10...12)% від суми основної заробітної плати всіх розробників, тобто:

$$Z_d = 0,10 \cdot 16571 = 1657,1 \text{ (грн).}$$

3. Нарахування на заробітну плату $H_{зп}$ розробника становить:

$$H_{зп} = (Z_o + Z_d) \cdot \frac{\beta}{100} [\text{грн}],$$

де Z_o – основна заробітна плата розробника;

Z_d – додаткова заробітна плата розробника;

β – ставка єдиного внеску на загальнообов'язкове державне соціальне страхування – 36,3%.

$$H_{зп} = (16571 + 1657,1) \cdot 0,363 = 6616,8 \text{ (грн)}.$$

4. Амортизація обладнання, комп'ютерів та приміщень A , які використовувались під час виконання даного етапу роботи.

Амортизаційні обрахування A в цілому бути розраховані за формулою 4.2:

$$A = \frac{Ц}{T_{кор.}} \cdot \frac{T_{факт.}}{12} (\text{грн}), \quad (4.2)$$

де $Ц$ – загальна балансова вартість всього обладнання, комп'ютерів, приміщень тощо, що використовувались в процесі виконання даної роботи, грн;

$T_{факт.}$ – термін, використання обладнання, приміщень, місяці. $T = 4$ місяці.

$T_{кор.}$ – термін використання, років.

Проведені розрахунки зведемо до таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Розрахунок амортизації обладнання, які використовувалися у роботі

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн.	Термін використання кор.	Термін використання, міс., факт.	Величина амортизаційних відрахувань, грн.
Персональний комп'ютер, принтер	10000	4	3	625
Приміщення	5000	20	3	62,5
Меблі	3000	4	3	187,5
Всього:				A=875

5. Витрати на матеріали М, що були використані під час виконання даного етапу роботи.

Розрахуємо витрати на комплектуючі (таблиця 4.6). Витрати на комплектуючі розрахуємо за формулою 4.3.

$$K = \sum_1^n N_i \cdot C_i \cdot K_i, \quad (4.3)$$

де n – кількість комплектуючих;

N_i - кількість комплектуючих і-го виду;

C_i – покупна ціна комплектуючих і-го виду, грн;

K_i – коефіцієнт транспортних витрат (приймемо $K_i = 1,1$).

Таблиця 4.6 - Витрати на комплектуючі, що були використані для розробки ПЗ

Найменування матеріалу	Одиниці виміру	Ціна, грн.	Витрачено	Вартість витрачених матеріалів, грн.
Флешка	шт.	250	1	250
Папір	уп.	130	1	130
Ручка	шт.	25	1	25
Всього з урахуванням транспортних витрат				445,5

6. Витрати на силову електроенергію V_e , якщо ця стаття має суттєве значення для виконання даного етапу роботи, розраховуються за формулою 4.4.

$$V_e = V \cdot \Pi \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \text{ грн} \quad (4.4)$$

де V – вартість 1 кВт-год. електроенергії, в 2019 р. $V \approx 1,7$ грн./кВт;

Π – установлена потужність обладнання, $\Pi = 0,6$ кВт;

Φ – фактична кількість годин роботи обладнання, прийmemo $\Phi = 250$ год.;

K_{Π} – коефіцієнт використання потужності ($K_{\Pi} < 1$, $K_{\Pi} = 0,77$).

$$V_e = 1,7 \cdot 0,6 \cdot 250 \cdot 0,77 = 196,35 \text{ грн.}$$

7. Інші витрати $V_{\text{ін}}$.

Інші витрати $V_{\text{ін}}$ охоплюють: витрати на управління організацією, оплата службових відряджень, витрати на утримання, ремонт та експлуатацію основних засобів, витрати на опалення, освітлення, водопостачання, охорону праці тощо.

Інші витрати I_v можна прийняти як (100...300)% від суми основної заробітної плати розробників та робітників, які виконували дану роботу, тобто:

$$V_{\text{ін}} = (1..3) \cdot (Z_o + Z_p)$$

$$V_{\text{ін}} = 1 \cdot (16571 + 1657,1) = 18228,1 \text{ грн.}$$

8. Сума всіх попередніх статей витрат дає витрати на виконання даної частини (розділу, етапу) роботи – V розраховується за формулою 4.5.

$$V = Z_o + Z_d + H_{\text{зп}} + A + K + V_e + I_v \quad (4.5)$$

$$V = 16571 + 1657,1 + 6616,8 + 875 + 445,5 + 196,35 + 20256,3 = 46618,05 \text{ грн.}$$

Розрахунок загальних витрат на виконання даної роботи. Загальна вартість всієї наукової роботи визначається за $B_{\text{заг}}$ формулою 4.6.

$$B_{\text{заг}} = \frac{B}{\alpha} [\text{грн}], \quad (4.6)$$

де α – частка витрат, які безпосередньо здійснює виконавець данного етапу роботи, у відн. одиницях = 1.

$$B_{\text{заг}} = \frac{46618,05}{1} = 46618,05$$

Розрахуємо загальні витрати на виконання та впровадження результатів виконаної роботи за формулою 4.7.

$$ЗВ = \frac{B_{\text{заг}}}{\beta} [\text{грн}], \quad (4.7)$$

де β – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання даної роботи.

Так, якщо розробка знаходиться:

- на стадії науково–дослідних робіт, то $\beta \approx 0,1$;
- на стадії технічного проектування, то $\beta \approx 0,2$;
- на стадії розробки конструкторської документації, то $\beta \approx 0,3$;
- на стадії розробки технологій, то $\beta \approx 0,4$;
- на стадії розробки дослідного зразка, то $\beta \approx 0,5$;
- на стадії розробки промислового зразка, $\beta \approx 0,7$;
- на стадії впровадження, то $\beta \approx 0,9$.

Отже, підставимо дані в формулу й отримаємо результат:

$$ЗВ = \frac{46618,05}{0,9} = 51797,8 \text{ (грн)}$$

Тобто, прогнозовані витрати на виконання та можливе впровадження результатів даної роботи можуть скласти приблизно 51797,8 тис. грн.

4.3 Прогнозування комерційних ефектів від реалізації результатів розробки

Комерційний ефект від можливого впровадження розробленої інформаційної технології полягає у тому, що ця система дозволить значно підвищити доставки товарів по торговій мережі та ефективніше використовувати ресурси.

Ці переваги дозволять реалізовувати розробку інформаційної технології на ринку дорожче, ніж аналогічні або подібні за функціональними характеристиками системи.

Спробуємо, яку вигоду, можна отримати у майбутньому від впровадження результатів виконаної наукової роботи. Зрозуміло, що всі зроблені тут розрахунки будуть приблизними і непередбачають деталізації.

В умовах ринку узагальнюючим позитивним результатом, що його отримує підприємство від впровадження результатів тієї чи іншої розробки, є збільшення чистого прибутку підприємства (організації). Зростання чистого прибутку ми можемо оцінити у теперішній вартості грошей.

Розрахунок ефективності вкладених інвестицій передбачає проведення таких робіт:

Оцінка зростання чистого прибутку підприємства від впровадження результатів наукової розробки. У цьому випадку збільшення чистого прибутку підприємства $\Delta \Pi_i$ для кожного із років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки, розраховується за формулою 4.8.

$$\Delta\Pi_i = \sum_1^n (\Delta\Pi_{\text{я}} \cdot N + \Pi_{\text{я}}\Delta N)_i \quad (4.8)$$

де $\Delta\Pi_{\text{я}}$ – покращення основного якісного показника від впровадження результатів розробки у даному році;
 N – основний кількісний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році до впровадження результатів наукової розробки;
 ΔN – покращення основного кількісного показника діяльності підприємства від впровадження результатів розробки;
 $\Pi_{\text{я}}$ – основний якісний показник, який визначає діяльності підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки;
 n – кількість років, протягом яких очікується отримання позитивних результатів від впровадження розробки.

В результаті впровадження результатів наукової розробки витрати на виготовлення інформаційної технології зменшаться на 40 грн (що автоматично спричинить збільшення чистого прибутку підприємства на 40 грн), а кількість користувачів, які будуть користуватись збільшиться: протягом першого року – на 250 користувачів, протягом другого року – на 200 користувачів, протягом третього року – 180 користувачів. Реалізація інформаційної технології до впровадження результатів наукової розробки складала 705 користувачів, а прибуток, що отримував розробник до впровадження результатів наукової розробки – 200 грн.

Спрогнозуємо збільшення чистого прибутку від впровадження результатів наукової розробки у кожному році відносно базового.

Отже, збільшення чистого продукту $\Delta\Pi_1$ протягом першого року складатиме:

$$\Delta\Pi_1 = 40 \cdot 705 + (200 + 40) \cdot 250 = 88200 \text{ грн.}$$

Протягом другого року:

$$\Delta\Pi_2 = 40 \cdot 705 + (200 + 40) \cdot (250 + 200) = 136200 \text{ грн.}$$

Протягом третього року:

$$\Delta\Pi_3 = 40 \cdot 705 + (200 + 40) \cdot (250 + 200 + 180) = 179400 \text{ грн.}$$

Вартість інвестицій $PV=3B=51797,8$ грн., що можуть бути вкладені в нашу розробку.

4.4 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та період їх окупності

Визначимо абсолютну і відносну ефективність вкладених інвестором інвестицій та розрахуємо термін окупності.

Абсолютна ефективність $E_{\text{абс}}$ вкладених інвестицій розраховується за формулою 4.9.

$$E_{\text{абс}} = (\text{ПП} - PV), \quad (4.9)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

t – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, 3 роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки 2, 3,4.

Рисунок, що характеризує рух платежів (інвестицій та додаткових прибутків) буде мати вигляд, рисунок 4.1.



Рисунок 4.1 – Вісь часу з фіксацією платежів, що мають місце під час розробки та впровадження результатів НДДКР

У свою чергу, приведена вартість всіх чистих прибутків ПП розраховується за формулою 4.10.

$$ПП = \sum_{i=1}^{\tau} \frac{\Delta\Pi_i}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.10)$$

де $\Delta\Pi_i$ – збільшення чистого прибутку у кожному ізроків, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої НДДКР, грн;

τ – період часу, протягом якого виявляються результати впровадженої НДДКР, роки;

τ – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні; для України цей показник знаходиться на рівні 0,1;

t – період часу (в роках) від моменту отримання чистого прибутку до точки «0».

Якщо $E_{abc} > 0$, то результат від проведення наукових досліджень та їх впровадження принесе прибуток, але це також ще не свідчить про те, що інвестор буде зацікавлений у фінансуванні даного проекту (роботи).

Розрахуємо абсолютну ефективність інвестицій, вкладених у реалізацію проекту. Ставка дисконтування τ дорівнює 0,1. Отримаємо:

$$ПП = \frac{51797,8}{(1 + 0,1)^0} + \frac{88200}{(1 + 0,1)^2} + \frac{136200}{(1 + 0,1)^3} + \frac{179400}{(1 + 0,1)^4} = 406420,7 (\text{грн}).$$

Абсолютний ефект від впровадження результатів нашої розробки протягом 3-х років складе:

$$E_{abc} = 406420,7 - 51797,8 = 354622,9 (\text{грн}).$$

Оскільки $E_{abc} > 0$, то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів НДДКР є доцільним.

Розраховуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій E_v . Для цього використовуємо формулу 4.11.

$$E_v = \sqrt[T_j]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.11)$$

де E_{abc} – абсолютна ефективність вкладених інвестицій, грн;

PV – теперішня вартість інвестицій $PV = 3B = 51797,8$ грн;

T_j – життєвий цикл наукової розробки, роки.

Тоді маємо:

$$E_v = \sqrt[3]{1 + \frac{354622,9}{51797,8}} - 1 = 0,98 \text{ або } 98\%$$

Далі, розрахована величина E_b порівнюється з мінімальною (бар'єрною) ставкою дисконтування τ_{\min} , яка визначає ту мінімальну дохідність, нижче за яку інвестиції вкладатися не будуть. У загальному вигляді мінімальна (бар'єрна) ставка дисконтування τ_{\min} визначається за формулою 4.12.

$$\tau = d + f, \quad (4.12)$$

де d – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2019 році в Україні $d = 0,2$;

f – показник, що характеризує ризикованість вкладень, величина $f = 0,1$.

$$\tau = 0,2 + 0,1 = 0,3$$

Оскільки $E_b = 98 \% > \tau_{\min} = 0,3 = 30\%$, то у інвестор буде зацікавлений вкладати гроші в дану наукову розробку.

Розраховуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій. Термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій $T_{ок}$ можна розрахувати за формулою 4.13.

$$T_{ок} = \frac{1}{E_b}. \quad (4.13)$$

Якщо $T_{ок}$ буде менше 5-ти років, то фінансування даної наукової розробки загалом є доцільним. В інших випадках потрібні додаткові розрахунки та обґрунтування. Для нашої розробки термін окупності вкладених у реалізацію проекту інвестицій $T_{ок}$ складе:

$$T_{ок} = \frac{1}{0,98} = 1,02 \text{ (року)}$$

Обрахувавши термін окупності даної наукової розробки, можна зробити висновок, що фінансування даної наукової розробки буде доцільним.

4.4 Висновок

На основі зроблених підрахунків в економічній частині магістерської кваліфікаційної роботи досягнуті наступні результати:

- визначено, що рівень комерційного потенціалу розробки є середнім. Для успішної конкурентоспроможності програмного продукту на ринку планується збільшити універсальність програми, що забезпечить більший попит у користувачів.

- витрати на розробку та її впровадження складають 51797,8 тис. грн.;

- абсолютний ефект від впровадження результатів нашої розробки протягом 3-х років складе 354622,9 тис. грн.

- вартість інвестицій, що можуть бути вкладені в нашу розробку становить 51797,8 тис. грн;

- термін окупності системи, що розробляється складає 1,02 року, що вписується в задані у ТЗ часові рамки та є показником доцільності розробки.

Таким чином, всі визначені у технічному завданні основні техніко-економічні показники розробленої інформаційної технології прокладання маршруту постачання торгової мережі повністю виконані.

ВИСНОВКИ

У ході виконання магістерської дипломної роботи було реалізовано програму прокладання маршруту для постачання торгової мережі. Було проведено аналіз сучасних програм-аналогів, які використовуються для побудови субоптимального шляху та наведено коротку порівняльну характеристику знайдених програм-аналогів. Це дало змогу описати проблему прокладання субоптимального маршруту прокладання торгової мережі та здійснити постановку задачі.

Також було розроблено математичну модель прокладання субоптимального маршруту, досліджено методи, які можуть бути використані. Було запропоновано використати агентний метод мурашиного пошуку, який дає змогу збільшити швидкість прокладання маршруту. Результатом проектування є програма.

Спроектовано схему алгоритму роботи програми розроблюваної програми, що дає змогу вирішити поставлену у технічному завданні задачу. На основі отриманих результатів було створено UML-діаграму класів. Відповідно до математичної моделі, схеми алгоритму та UML-діаграми класів реалізовано програму. Програмне забезпечення розроблене на мові програмування Java. В результаті роботи програми було встановлено, що розроблювальна програма відповідає вимогам, отже, поставлену задачу вирішено.

Тестування програми пройшло успішно, й довело доцільність розробки даної системи. Порівняно з обраним прототипом швидкість прокладання маршруту розробленої інформаційної технології помітно вища (на 4,1 та 2,9% у порівнянні з програмами АЛІТ та Мурашина логістика відповідно), що означає досягнення поставленої мети.

Результати виконання магістерської дипломної роботи повністю відповідають технічному завданню.

ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Петришин С. І. Дослідження та порівняльний аналіз алгоритмів знаходження оптимального шляху на географічних картах. НТКП ВНТУ. Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії. / Решетник В. Р., Петришин С. І. [Електронний ресурс] — режим доступу: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fitki/all-fitki-2018/paper/view/5242/4313> (дата звернення 30.09.2019) — Назва з екрана
2. Петришин С. І. Дослідження та порівняльний аналіз алгоритмів знаходження оптимального шляху. Інтернет-Освіта-Наука 2018. Інтелектуальні інформаційні технології. / Решетник В. Р., Петришин С. І. [Електронний ресурс] — режим доступу: <https://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/22476/45.%20Дослідження%20та%20порівняльний%20аналіз%20алгоритмів%20знаходження%20оптимального%20шляху.%20Петришин%20с%20Решетник.pdf?sequence=1&isAllowed=y> (дата звернення 30.09.2019) — Назва з екрана
3. Петришин С. І. Дослідження та порівняльний аналіз алгоритмів знаходження оптимального шляху. Міжнародна наукова конференції про відкриття та фундаментальні наукові дослідження 2019. Фізико-математичні науки. / Петришин С. І., Решетник В. Р. / [Електронний ресурс] — режим доступу: <https://ojs.ukrlogos.in.ua/index.php/conferences/issue/view/2019-05-20/55> (дата звернення 30.09.2019) — Назва з екрана
4. Барков, С.А., Зубков В. И. Социология организаций. — М.: Юрайт, 2013.
Барков С. А. Сетевые отношения как организационная инновация и основа экономической и социальной безопасности // Логистика и безопасность России / Под ред. Т. М. Степанян. — М.: МАКС Пресс, 2016.
5. Войнаренко М. П. Кластеры в институциональной экономике: монография / М. П. Войнаренко. — СПб, АНО ИПЭВ, 2013.

6. Герами, В.Д., Колик, А. В. О создании опорной сети логистических центров в России / Логистические инновации и социально-экономические эффекты. Под ред. Т. М. Степанян. — М. МАКС Пресс, 2013.
7. Алексеев В.Г., Камышная Э.Н., Усачев В.П. Автоматизированная компоновка схем ЭВА и РЭА по конструктивным модулям первого уровня: Методические указания по курсовому и дипломному проектированию. – М.: Изд-во МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1988. – 40 с.
8. Н. Л. Дембицкий, А. В. Назаров. Модели и методы в задачах автоматизированного конструирования радиотехнических устройств – Москва, Изд-во МАИ. 2011. 203 с. Сер. Научная библиотека.
9. Назаров А.В. Оптимизация расстановки элементов печатных модулей методом компактного размещения // Интеграл. 2014. № 4. С. 12-14.
10. Апатцев В.И., Левин С.Б., Николашин В.М. Логистические транспортно-грузовые системы. М.: Академия, 2003. 304 с.
11. Афанасьева Н.В. Логистические системы и российские реформы. Спб.: Изд-во С.Петербург. ун-та экономики и финансов, 1995. 147 с.
12. Афанасьева Н.В. Реформирование материально-технического обеспечения в России: переход к логистическим системам / Автореферат дисс. д-ра экон. наук. Спб., 1995. 34 с.
13. Бабаев В.А. Оптимизация маршрутов в системах централизованного обслуживания / Автореферат . дисс. канд. физ.-мат. наук. Спб., 1998. 20 с.
14. Бессуднов А.В. Организационно-экономический механизм формирования и функционирования региональной логистической системы газоснабжения / Автореферат . дисс. канд. экон. наук. Ростов-на-Дону, 2001. 19 с.
15. Ю.Бондаренко А.А. Логистическая информационно-телекоммуникационная система региона (на примере Южного федерального округа) / Автореферат . дисс. канд. экон. наук. Ростов-на-Дону, 2004. 26 с.

16. И. Вильчиков В. И. Совершенствование транспортной логистической инфраструктуры муниципальной экономики / Автореферат . дисс. канд. экон. наук. Ростов-на-Дону, 2003. 20 с.
17. Гаджинский А. М. Логистика: Учебник для высших и средних специальных учебных заведений. М.: ИВЦ "Маркетинг", 2000. 375 с.
18. Баканова Н. Б. Разработка и исследование методов автоматизированного построения оптимальных маршрутов почтовых грузов / Автореферат . дисс. канд. техн. наук. М., 1991. 27 с.
19. Белов Ю. Д. Использование информационных технологий в транспортных логистических системах. Новгород: ФГОУ ВПО ВГАВТ, 2004. 68 с.
20. Дубовик Н. Н., Ногин О. А., Туманов В. М., Лагута А. Е. Исследование проблем 3D навигации в условиях пространственных ограничений // 17-ая международная конференция «Наукоемкие технологии и интеллектуальные системы». Том 2. 2015. [Электронный ресурс] URL: [https:// http://iuru/konf/2015_ts/03_tom02.pdf](https://http://iuru/konf/2015_ts/03_tom02.pdf) (дата обращения: 10.11.2015).
21. Дубовик Н. Н., Ногин О. А., Туманов В. М. Информационно-навигационная система «ИНС» // Международный инвестиционный форум «WEB – Ready 2015». [Электронный ресурс] URL: [https:// web-ready.ru/files/insdoc](https://web-ready.ru/files/insdoc) (дата обращения: 10.11.2015).
22. Ансофф Г. Стратегическое управление. М.: Экономика, 1989. 519 с.
23. Белякова Г. Я., Белякова Е. В. Формирование региональной логистической системы: Монография. Красноярск: СибГТУ, 2001. 128 с.
24. Dijkstra's algorithm [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Dijkstra%27s_algorithm (дата обращения: 10.11.2015).
25. Floyd–Warshall algorithm [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Floyd%E2%80%93Warshall_algorithm (дата обращения: 10.11.2015).

- 26.A* search algorithm [Электронный ресурс] URL: https://en.wikipedia.org/wiki/A*_search_algorithm (дата обращения: 10.11.2015).
- 27.A. Coloni, M. Dorigo et V. Maniezzo, Distributed Optimization by Ant Colonies, actes de la première conférence européenne sur la vie artificielle, Paris, France, Elsevier Publishing, 134—142, 1991.
28. M. Dorigo, Optimization, Learning and Natural Algorithms, PhD thesis, Politecnico di Milano, Italie, 1992.
29. P.-P. Grasse, La reconstruction du nid et les coordinations inter-individuelles chez *Bellicositermes natalensis* et *Cubitermes* sp. La théorie de la Stigmergie : Essai d'interprétation du comportement des termites constructeurs, *Insectes Sociaux*, numero 6, p. 41-80, 1959.
- 30.J.L. Deneubourg, J.M. Pasteels et J.C. Verhaeghe, Probabilistic Behaviour in Ants : a Strategy of Errors?, *Journal of Theoretical Biology*, numero 105, 1983.
- 31.F. Moyson, B. Manderick, The collective behaviour of Ants : an Example of Self-Organization in Massive Parallelism, Actes de AAAI Spring Symposium on Parallel Models of Intelligence, Stanford, Californie, 1988.
32. S. Goss, S. Aron, J.-L. Deneubourg et J.-M. Pasteels, The self-organized exploratory pattern of the Argentine ant, *Naturwissenschaften*, volume 76, pages 579—581, 1989
- 33.M. Ebling, M. Di Loreto, M. Presley, F. Wieland, et D. Jefferson, An Ant Foraging Model Implemented on the Time Warp Operating System, Proceedings of the SCS Multiconference on Distributed Simulation, 1989
- 34.S. Iredi, D. Merkle et M. Middendorf, Bi-Criterion Optimization with Multi Colony Ant Algorithms, Evolutionary Multi-Criterion Optimization, First International Conference (EMO'01), Zurich, Springer Verlag, pages 359—372, 2001.
35. L. Bianchi, L. M. Gambardella et M. Dorigo, An ant colony optimization approach to the probabilistic traveling salesman problem, PPSN-VII, Seventh

International Conference on Parallel Problem Solving from Nature, Lecture Notes in Computer Science, Springer Verlag, Berlin, Allemagne, 2002.

36. Java основні відомості [Електронний ресурс] – режим доступа:

<https://uk.wikipedia.org/wiki/Java>

37. Порівняння мов програмування [Електронний ресурс] – режим доступа:

https://ru.wikipedia.org/wiki/Сравнение_языков_программирования

38. А. Н. Васильев – Java. «Объектно-ориентированое программирование».

39. Eclipse основні відомості [Електронний ресурс] – режим доступа:

[https://ru.wikipedia.org/wiki/Eclipse_\(среда_разработки\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Eclipse_(среда_разработки))

40. Брюс Эккель – «Философия Java».