

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Чорноморський національний університет
імені Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра інтелектуальних інформаційних систем

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри інтелектуальних
інформаційних систем, д-р техн. наук,
проф.

_____ Ю. П. Кондратенко
« ____ » _____ 2022 р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

**ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ
ЗАДАЧ CVRP В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

Спеціальність 124 «Системний аналіз»

124 – МКР – 607.2610123

Студент _____ Франчук О. В.

« ____ » _____ 20__ р.

Консультант _____ Кондратенко Ю. П.
д.т.н., професор

« ____ » _____ 20__ р.

Миколаїв – 2022

Чорноморський національний університет ім. Петра Могили
Факультет комп'ютерних наук
Кафедра інтелектуальних інформаційних систем

Освітньо-кваліфікаційний рівень **магістр**

Галузь знань **12 «Інформаційні технології»**
(шифр і назва)

Спеціальність **124 «Системний аналіз»**
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри інтелектуальних
інформаційних систем, д-р техн. наук,
проф.

_____ Ю. П. Кондратенко
«___» _____ 20__р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську кваліфікаційну роботу

ФРАНЧУКУ Олександр Володимировичу

1. Тема магістерської кваліфікаційної роботи «Планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності».

Керівник роботи Кондратенко Юрій Пантелійович, д-р техн. наук, професор.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затв. наказом Ректора ЧНУ ім. Петра Могили від «___» _____ 20__р. № _____

2. Строк подання студентом роботи «___» ___ 20__р.

3. Вхідні (початкові) дані до роботи: координати вузлів замовників вантажу та складу, обсяг замовлення, прибуткова вартість 1 т вантажу; вартість перевезення вантажу на 1 км; вартість додаткових експлуатаційних витрат на 1 км; вартість фрахту додаткового транспортного засобу на 1 км; вартість простою одного транспортного засобу.

Очікуваний результат роботи: інформаційна система планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розглянути):
– аналіз досліджень в галузі розробки планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності;

- пошук методів та алгоритмів;
- побудова функціональної моделі планування маршрутів;
- вибір програмних засобів та технологій розробки планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.;
- технічне проектування та програмна реалізація Web-орієнтованої інформаційної системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.

5. Перелік графічних матеріалів: презентація

6. Завдання до спеціальної частини: створення безпечних і здорових умов праці на робочому місці, в робочій зоні та приміщенні адміністраторів транспортно – логістичних компаній. Розроблення алгоритмів поведінки працівників при надзвичайних ситуаціях

7. Консультанти:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис
Спеціальна частина з охорони праці		
Методична частина		

Керівник роботи д.т.н., професор Кондратенко Юрій Пантелійович
(наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

(підпис)

Завдання прийнято до виконання Франчук О. В.
(прізвище та ініціали)

(підпис)

Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Виконання магістерської кваліфікаційної роботи

Тема: планування транспортних маршрутів для задач CVRP в умовах невизначеності

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітки
1	Визначення керівника і теми МКР. Подання заяви на затвердження теми МКР	01.09.2021	10.10.2021	
2	Отримання завдання на виконання МКР	19.10.2021	22.10.2021	
3	Складання календарного плану на період виконання МКР	23.10.2021	26.10.2021	
4	Огляд літератури за темою дослідження	27.10.2021	10.11.2021	
5	Проходження переддипломної практики, збір та аналіз матеріалів до МКР	29.11.2021	18.12.2021	
6	Аналіз предметної області та розробка технічного завдання. Моделювання результатів	23.12.2021	02.01.2022	
7	Опис фахової частини МКР, зокрема дослідження публікацій щодо планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності, огляд існуючих програмних засобів, реалізація обраних технологій з аналізом отриманих результатів	03.01.2022	25.01.2022	
8	Розробка спеціальної частини з охорони праці та методичної частини	26.01.2022	30.01.2022	
9	Попередній захист МКР на засіданні комісії кафедри	31.01.2022	31.01.2022	
10	Корегування роботи за результатами попереднього захисту	01.02.2022	03.02.2022	
11	Остаточне оформлення пояснювальної записки та слайдів доповіді для захисту	04.02.2022	08.02.2022	
12	Подання МКР рецензенту	11.02.2022	12.02.2022	
13	Рецензування МКР	13.02.2022	14.02.2022	
14	Подання МКР, її електронної копії та інших документів (відгуку, рецензії) до захисту	16.02.2022	17.02.2022	
15	Захист МКР перед екзаменаційною комісією (ЕК)	23.02.2022	24.02.2022	

Розробив студент Франчук О.В. _____
(прізвище та ініціали) (підпис)

Керівник роботи д.т.н., професор Кондратенко Ю. П. _____
(наук. ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

«25» жовтня 2021 р.

АНОТАЦІЯ

до магістерської кваліфікаційної роботи
студента групи 607 ЧНУ ім. Петра Могили
Франчука Олександра Володимировича

на тему: «**ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ
ЗАДАЧІ CVRP В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**»

Актуальність даного дослідження полягає в удосконаленні процесу планування та управління транспортними маршрутами в транспортно – логістичній сфері шляхом розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності. Задачі, вирішені у даному дослідженні дозволяють полегшити компаніям з управління логістикою здійснювати формування маршрутів, якими слід керуватися для отримання мінімальних операційних витрат і максимального прибутку.

Об’єктом дослідження є планування транспортних маршрутів.

Предмет дослідження є методи планування і оптимізації транспортних перевезень в умовах невизначеності.

Метою дослідження є удосконалення процесу планування та управління транспортними маршрутами в транспортно – логістичній сфері шляхом розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.

Магістерська кваліфікаційна робота складається з фахового розділу, методичного розділу і спеціальної частини з охорони праці. Пояснювальна записка дипломної роботи складається зі вступу, семи розділів, висновків та додатків.

В результаті виконання роботи було досліджено чотири алгоритми оптимізації планування транспортних маршрутів. Розроблено програмне забезпечення, в якому реалізовані відповідні алгоритми

Дана робота складається з семи розділів. Кожен розділ відповідно присвячений аналізу теоретичних засад планування маршрутів у транспортній логістиці, дослідженню методів та алгоритми планування транспортних маршрутів, моделюванню та технічному проектуванню web-застосунку, проведенню дослідження результатів роботи web-застосунку, методичній частині та охороні праці.

Задачі, вирішені у даному дослідженні дозволять полегшити компаніям з управління логістикою здійснювати формування маршрутів, якими слід керуватися для отримання мінімальних операційних витрат і максимального прибутку

Загальний обсяг роботи – 102 сторінки. Магістерська кваліфікаційна робота містить, 47 рисунків, 8 таблиць і посилання на 41 літературне джерело.

Ключові слова: транспортна логістика, інформаційна система, алгоритм, модель, задачі CVRP, транспортні маршрути в умовах невизначеності.

ABSTRACT

to the master's qualification work by the student of the group 607 of Petro Mohyla
Black Sea National University

Franchuk Oleksandr

«PLANNING ROUTES FOR THE CVRP PROBLEM UNDER UNCERTAINTY»

The relevance of this study is to improve the process of planning and management of transport routes in the transport - logistics sector by developing a system of planning transport routes for the CVRP problem in conditions of uncertainty. The tasks solved in this study will make it easier for logistics management companies to form routes that should be guided to obtain minimum operating costs and maximum profits.

The object of research is the planning of transport routes.

The subject of research is methods of planning and optimization of transport in conditions of uncertainty.

The aim of the study is to improve the process of planning and management of transport routes in the transport and logistics sector by developing a system of planning transport routes for the CVRP problem in conditions of uncertainty.

The master's qualification work consists of a professional section, a methodical section and a special part on labor protection. The explanatory note of the thesis consists of an introduction, seven chapters, conclusions and appendices.

As a result of the work, four algorithms for optimizing the planning of transport routes were investigated. The software in which the corresponding algorithms are implemented is developed

This work consists of seven sections. Each section is devoted to the analysis of theoretical principles of route planning in transport logistics, research methods and algorithms for planning transport routes, modeling and technical design of Web-applica

tion, research of Web-application results, methodological part and labor protection.

The tasks solved in this study will make it easier for logistics management companies to form routes that should be guided to obtain minimum operating costs and maximum profits.

The overall scope of the work is 102 pages. Thesis contains 47 figures, 8 tables and 41 sources in it.

Key words: transport logistics, information system, algorithm, model, CVRP task, transport routes in conditions of uncertainty.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	4
ВСТУП	6
1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ	9
1.1 Постановка проблеми логістичного підходу, аналіз логістичної інфраструктури	9
1.2 Способи та методи вирішення задач маршрутизації.....	12
1.3 Аналіз досліджень та програмних засобів у галузі розробок планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності.....	14
1.4 Постановка задачі дослідження	17
Висновки до розділу 1.....	18
2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗРОБКИ WEB-ЗАСТОСУНКУ З ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ ЗАДАЧ CVRP В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	20
2.1 Загальний опис алгоритмів.....	20
2.2 Алгоритм Sweeping	20
2.3 Алгоритм Saving	23
2.4 Алгоритм Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value	24
2.5 Алгоритм з пошуку оптимальної кількості транспортних засобів	29
Висновки до розділу 2.....	31
3 МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ЗАСТОСУНКУ З ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ТА ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ	32
3.1 Вибір інформаційних технологій.....	32
3.2 Функціональна модель планування маршрутів	34
Висновки до розділу 3.....	38
4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ WEB-ЗАСТОСУНКУ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	39
4.1 Формування вхідних даних	39
4.1 Розрахунок на основі Saving алгоритму	42
4.3 Розрахунок на основі Sweeping алгоритму.....	48
4.4 Порівняльний аналіз Saving та Sweeping алгоритмів.....	52

Висновки до розділу 4.....	52
5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОПИС WEB-ЗАСТОСУНКУ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ.....	53
5.1 Опис програмної реалізації	53
5.2 Керівництво користувача	56
Висновок до розділу 5.....	64
6 МЕТОДИЧНИЙ РОЗДІЛ.....	Ошибка! Закладка не определена.
7 СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ З ОХОРОНИ ПРАЦІ	Ошибка! Закладка не определена.
ВИСНОВКИ.....	65
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	66

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

- ТЛК – транспортно-логістична компанія
- CVRP – capacity vehicle routing problem
- CVRPFSD – capacity vehicle routing problem fuzzy stochastic demands
- CVRPIFSD – capacity vehicle routing problem with intuitionistic fuzzy stochastic demands

Пояснювальна записка

до магістерської кваліфікаційної роботи

на тему:

«НАЗВА МКР»

Спеціальність 124 «Системний аналіз»

124 – МКР – 607.21610123

Студент _____ Франчук О. В.

«__» _____ 20__ р.

Консультант _____ Кондратенко Ю. П.

д.т.н., професор

«__» _____ 20__ р.

Миколаїв – 2022

ВСТУП

Актуальність. Однією з базових галузей економіки є транспортна галузь, яка включає морські порти та річкові термінали, розгалужену залізничну мережу, аеропорти, розвинуту мережу автомобільних шляхів та авіаційних сполучень і створює необхідні передумови для задоволення потреб користувачів транспорту у наданні транспортних послуг та розвитку бізнесу.

Вантажні перевезення підвищують ефективність економіки, сприяють розширенню транспортних сполучень та створенню робочих місць, забезпечують ефективне функціонування і розвиток промисловості [1, 2].

За даними Державної служби статистики за 11 місяців 2021 року транспортні компанії перевезли 566,1 млн. тонн вантажів, що на 3,6% більше аналогічного періоду минулого року, в тому числі: залізничним транспортом - 287 млн. тонн, що на 2,9% перевищує показник минулого року, автомобільним - 204 млн. тонн (ріст на 16,9%). Деяко знизились вантажні перевезення водним (на 5,7%) та авіаційним (на 4,8%) транспортом.

В провідних промислово – розвинених країнах одержання 20 - 30% валового національного продукту пов'язане з логістичними системами. Згідно зарубіжного досвіду, збільшення обсягів продажів фірми на 10% можливо досягти лише за допомогою зменшення логістичних витрат на 1%. [3].

Впровадження логістичного менеджменту дозволяє компаніям суттєво прискорити оборотність капіталу, знизити собівартість виробництва, забезпечити задоволення попиту споживачів на товари та сервіси [4].

В Україні відстежується низький рівень цифровізації та автоматизації транспортної галузі і сама сфера вантажоперевезень потребує створення цифрових продуктів для учасників вантажообігу, в тому числі недостатньо розроблені алгоритми та математичні моделі транспортної логістики в умовах невизначеності. Від видів вантажів, що транспортуються, часових вимог доставки, специфіки транспорту та інших факторів суттєво залежать

маршрути доставки. Планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності дають змогу ефективно вирішувати завдання побудови маршрутів транспортування, гнучко враховуючи вимоги до них.

Проте, слід зазначити, що в Україні відстежується низький рівень цифровізації та автоматизації транспортної галузі і сама сфера вантажоперевезень потребує створення цифрових продуктів для учасників вантажообігу, в тому числі недостатньо розроблені алгоритми та математичні моделі транспортної логістики в умовах невизначеності.

Мета роботи полягає в удосконаленні процесу планування та управління транспортними маршрутами в транспортно-логістичній сфері шляхом розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.

Об'єкт дослідження - планування транспортних маршрутів.

Предмет дослідження - методи планування і оптимізації транспортних перевезень в умовах невизначеності.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати логістичний підхід до організації господарської діяльності в сучасних умовах;
- здійснити огляд та аналіз існуючих аналогів програмних засобів за темою роботи, виявлення недоліків з метою усунення їх при розробці власного проекту та визначення нових функцій, які можна додати в програмний продукт;
- провести пошук та аналіз публікацій, наукових статей, інформація яких буде корисна при розробці функціональних моделей та алгоритмів за темою роботи;
- провести дослідження сучасних методів створення функціональних моделей та алгоритмів для розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності;

– обрати технології та засоби розробки інформаційної системи планування транспортних маршрутів;

– розробити та здійснити програмну реалізацію інформаційної системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.

Методологічною основою дослідження є загальнонаукові методи (порівняльний, статистично-аналітичний, методи індукції, дедукції, аналізу і синтезу), методи аналізу даних, які дозволили вивчити предмет та об'єкт дослідження, дослідити напрями та шляхи підвищення ефективності застосування web-застосунку у сфері транспортної логістики.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що сформульовані підходи та практичні рекомендації щодо створення системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності можуть бути використані у сфері транспортної логістики шляхом впровадження розробленого застосунку. Задачі, вирішені у даному дослідженні дозволять полегшити компаніям з управління логістикою здійснювати формування маршрутів, якими слід керуватися для отримання мінімальних операційних витрат і максимального прибутку.

Структура кваліфікаційної роботи. Відповідно до мети, завдань і предмета дослідження, кваліфікаційна робота містить основну та спеціальну частини. Основна частина роботи складається із вступу, 7 розділів, висновку, списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи – 104 сторінок, із них основного тексту основної частини – 66 сторінок, спеціальної – 33 сторінок. Кількість використаних джерел – 41.

1 ТЕОРЕТИЧНІ ЗАСАДИ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ

1.1 Постановка проблеми логістичного підходу, аналіз логістичної інфраструктури

Стійкий розвиток економіки має спиратися на власний виробничий, транспортний та логістичний потенціал [5].

Зважаючи на кризові явища в економіці країни та посилення конкуренції на внутрішньому та зовнішньому ринках, суттєво зростає застосування вітчизняними підприємствами комплексного логістичного підходу до організації господарської діяльності. Враховуючи те, що транспорт є сполучною ланкою між експортерами, імпортерами, торгівлею, виробниками та іншими важливими економічними секторами, логістика загалом і транспортна логістика зокрема дають можливість підвищити ефективність господарської діяльності та зменшити транспортні витрати.

До основних завдань транспорту можна віднести своєчасне, якісне і повне задоволення потреб у перевезеннях. Зважаючи на це, підвищення ефективності транспортних перевезень є актуальним напрямом на сьогоднішній день.

Національна транспортна стратегія України на період до 2030 року, схвалена розпорядженням Кабінету Міністрів України від 30 травня 2018 р. № 430-р., серед основних завдань, які необхідно виконати для успішного функціонування транспортної галузі передбачає:

- впровадження інтелектуальних транспортних систем та систем управління рухом на наземному та водному транспорті;
- використання у транспортно-дорожньому комплексі інноваційних технологій [6].

Наразі вже вирішено значне коло задач, пов'язаних з оптимізацією транспортних вантажопотоків, проте недостатньо розроблені алгоритми та

математичні моделі транспортної логістики в умовах невизначеності з врахуванням різних програм замовлень. Планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності дають змогу ефективно вирішувати завдання побудови маршрутів транспортування, гнучко враховуючи вимоги до них.

При наявності будь-яких можливих шляхів сполучення в Україні автомобільний транспорт залишається найбільш використовуваним.

Що стосується вартості перевезення, водний та залізничний вид транспорту є конкурентами автомобільному, однак дані види все одно потрібно комбінувати з автомобільним, щоб досягти значних результатів.

Проте при взаємодії різного транспорту практично завжди підвищуються терміни доставки. Це пов'язано з перевантаженнями з одного виду транспорту на інший, які зазвичай супроводжуються короткостроковим зберіганням вантажу. Так що невелике зниження сумарної вартості доставки зазвичай комбінується зі збільшенням термінів доставки та підвищенням складності організації та контролю такої доставки [7].

Логістична інфраструктура обслуговує функціонування систем закупівлі, постачань, обробки, зберігання та транспортування матеріальних потоків на підприємстві з врахуванням усіх необхідних процедур до споживача.

З огляду зарубіжних авторів, під логістичною інфраструктурою розуміють створені людьми лінійні та точкові об'єкти громадського користування для переміщення вантажів, людей, інформації, води та енергії [8].

Транспортна логістика є одним із важливих складників розвитку економіки, виступає головною базою збільшення ефективності сфер обігу та виробництва та являє собою систему з організації доставки, а саме: переміщення будь-яких матеріальних предметів, речовин тощо з однієї точки

в іншу за оптимальним маршрутом [9].

Основною метою транспортної логістики є організація ланцюга поставки і управління ним на всіх етапах та усунення перебоїв у разі безперервного переміщення товарів і транспортних засобів від пунктів відправлення до пунктів призначення.

З огляду аналізу логістичної інфраструктури країни, для її максимальної реалізації необхідно поліпшити показники енергоефективності транспортних засобів, оптимізувати функціонування мультимодальних логістичних схем, удосконалити управління перевезеннями, в тому числі з застосуванням інформаційних систем.

Задача маршрутизації транспортних засобів (CVRP) — це класична комбінаторна задача оптимізації, в якій надається мережа клієнтів із заданими вимогами. Мета полягає в тому, щоб знайти набір маршрутів, які починаються та закінчуються у вузлі депо. Маршрути транспортних засобів повинні проходити таким чином, щоб замовлення всіх клієнтів у мережі були виконані, а витрати, пов'язані з обходом цих маршрутів, були мінімальними [10].

Транспортування продукції часто пов'язано зі специфікою видів транспорту необхідних для організації перевезень, сезонністю, що може мати значний вплив на стан доріг та іншими факторами. Зважаючи на вищесказане, підприємствам необхідно переглядати організацію транспортування продукції відповідно до критеріїв, що розглядаються.

Проблема побудови оптимальних транспортних маршрутів може вирішуватися із застосуванням низки підходів та методів, найбільша складність при цьому – врахування усіх транспортних обмежень та кількості пунктів доставки, оскільки складність та продуктивність алгоритмів розрахунку оптимального маршруту суттєво залежить від цих факторів.

У реальних ситуаціях попит на будь-який товар залежить від різних неконтрольованих факторів, таких як сезон, час доставки, ринкові умови та

багато іншого. Через ці фактори не завжди можна повідомити про попит заздалегідь, а точну інформацію щодо попиту майже неможливо отримати. Тому в реальному житті вимоги клієнтів завжди бувають неточними і випадковими. Рішення, прийняті клієнтами щодо вимог, також можуть мати певні вагання.

Для того, щоб задовольнити такі запити клієнтів у мережі, у дипломній роботі використовуються нечіткі випадкові величини та інтуїтивні нечіткі випадкові величини.

Моніторинг досліджень вказує що підставами для створення проекту є:

- недостатність розроблених математичних моделей та алгоритмів прийняття рішень для синтезу високоефективних систем транспортної логістики, функціонуючих в умовах невизначеності;

- від оптимізації задач транспортної логістики залежить прибуток транспортних компаній, їх конкурентоспроможність та імідж;

- ефективне планування і оптимізація, з врахуванням відстані та наявних ресурсів для здійснення перевезення мають вплив і на здійснення торгових відносин, як в межах країни так і на зовнішньому ринку.

Задачі, вирішені у дипломній роботі полегшують компаніям з управління логістикою здійснювати визначення маршрутів, якими слід керуватися для мінімальних операційних витрат і максимального прибутку.

1.2 Способи та методи вирішення задач маршрутизації

Задачі маршрутизації автотранспорту (Vehicle Routing Problem, VRP) являють собою великий клас задач та мають пряме відношення до проблеми побудови нових інноваційних засобів оптимізації логістичних процесів. Вони можуть бути описані як задачі знаходження оптимального, мінімально витратного плану перевезень вантажу від постачальника до споживача, за умов додаткових обмежень.

Розрізняють наступні класичні методи рішення задач маршрутизації транспорту [11]:

1. Конструктивні алгоритми – алгоритм Кларка - Райта і її розширення, послідовний алгоритм вставки Моля - Джеймса, послідовний алгоритм вставки Кристофидеса – Монгоззи – Тосса.

2. Двофазні класичні алгоритми.

3. Алгоритм пелюсток.

4. Алгоритм Фішера - Джекумера, алгоритм Брамела – Симчи – Леві.

5. Класичні поліпшуючі алгоритми.

Враховуючи високу обчислювану складність задач маршрутизації точні алгоритми не завжди дають рішення за прийнятний час при великому розмірі задачі. Тому для їх вирішення розроблялись евристичні та мета – евристичні методи. На теперішній час пропонується наступна класифікація методів вирішення задач маршрутизації [12-15].

Точні алгоритми. Даний підхід перебирає всілякі рішення, поки не буде знайдено оптимальне. Найбільш відомі алгоритми даного класу - метод гілок і кордонів; метод гілок і відсікань.

Евристичні методи. Виконується відносно обмежений пошук рішень та як правило знаходиться хороше рішення за прийнятний час. В цьому класі виділяють:

– конструктивні методи. Поступово вибудовують підходяще рішення, приймаючи до уваги вихідну загальну вартість (механізм зберігань (Savings), метод, заснований на збігах (Matching Based), евристики покращання багатьох маршрутів (Multi-route Improvement Heuristics));

– двофазні алгоритми. Задача розділяється на дві частини: організація вершин в групи, і побудова маршруту по кожній групі. алгоритм замітання (sweep algorithm), алгоритм Фішера - Джекумера (Fisher and Jaikumar).

Мета-евристичні методи. Мета-евристику створює обчислювальна схема, яка об'єднує два алгоритми: головний та підпорядкований. Акцент робиться на ретельному вивченні найбільш перспективних частин простору рішень. Якість отриманих рішень виходить вище ніж при класичних методах евристики. Найбільш відомі: генетичні алгоритми (Genetic Algorithms), алгоритми мурашиних колоній (Ant Algorithms), пошук з заборонами (Tabu Search), програмування в обмеженнях (Constraint Programming).

1.3 Аналіз досліджень та програмних засобів у галузі розробок планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності

Проведений аналіз останніх досліджень та публікацій показав, що сучасні фахівці підвищення ефективності функціонування транспортної мережі та логістики перевезень вбачають у впровадженнях новітніх технологій та інформаційного супроводу перевезень, забезпечення інформаційної автоматизації транспортного процесу та розвиток новітнього електронного документообігу. При цьому повинна бути досягнута висока технологічність при якій унікальні математичні алгоритми мають дозволяти формування оптимальних маршрутів з урахуванням будь-яких обмежень.

Здійснений аналіз дозволив установити, що при створенні інформаційних систем оптимізації маршрутів перевезень, завантаженості транспортних одиниць, відслідковування вантажів на протязі маршруту потрібно враховувати, що поставлені задачі потребують швидкості обробки й корегування ситуацій, високої точності, та узгодженості усіх ланок логістичного ланцюга.

В ході написання проекту було проаналізовано технології для розробки інформаційної системи планування транспортних маршрутів для задач CVRP в умовах невизначеності, а саме: Php, Flask, ASP.NET MVC, ASP.NET Core, NodeJS, ReactJS та ін.

Для того, щоб задовольнити запити клієнтів, використовуються нечіткі випадкові величини та математичні моделі CVRP with fuzzy stochastic demands [16] (CVRPFSD) та CVRP with intuitionistic fuzzy stochastic demands (CVRPIFSD) [17].

Автором досліджено та проаналізовану значну кількість програмних засобів які відповідають тематиці написання дипломної роботи, в т. ч:

– Trust Track поєднує в собі два елементи: основне програмне забезпечення, встановлене на ПК в офісах транспортних компаній, яке поєднується з усім транспортним парком і програма для водіїв, яка завантажується з Google Play та Apple Store і є доступною для планшетів і смартфонів. У своєму мобільному додатку водій отримує повну інформацію про завдання, може проглянути всі дані про маршрут, повідомити про завершення окремих етапів, а також автоматично буде проінформований про зміни з отриманням оновленого пакету даних. Система автоматично розраховує маршрути, які відображає на карті, є можливість робити корегування з врахуванням інформації стосовно доріг, які хочеться уникати (платних, недоступних для даного виду транспорту, переправ тощо). Реалізована можливість вибору найшвидшого або більш збалансованого маршруту;

– АВМ Rinkai TMS. Програма планування оптимальних маршрутів доставки для сегментів B2B, B2C, транспортних компаній. В роботу програми закладено принцип динамічного планування маршрутів, В першу чергу програма розраховує всі можливі варіанти маршрутів з мінімальними затратами, при цьому враховуються абсолютно всі обмеження, часові вікна для доставки, сумісність товарів, послідовність загрузки і т.д. Є можливість керувати швидкісним фактором (наявність пробок, погодні умови), можливість додавати замовлення в уже сформовані маршрути. Програма працює й з пасивним часом (в дорозі, завантаження на складі, часу

перебування у клієнта). Основна задача, яку виконує програма - планування оптимальних маршрутів, з огляду мінімальних затрат з врахуванням виконання всіх замовлень мінімальними ресурсами при дотриманні всіх наявних обмежень;

– Relog. Система автоматично розплановує маршрути з оптимальною загрузкою всього транспорту. Підходить для компаній з автопарком більше 5 машин. WEB – система та мобільний додаток дозволяють керувати логістикою, бачити в режимі реального часу історію руху водіїв та зміни в статусах замовлень. Окрім того дозволяє директорам з логістики моделювати результат різних варіантів дій та відслідковувати результати прийняття рішень;

– ANT-Logistics. Хмарний сервіс для автоматизації транспортної логістики та планування оптимальних маршрутів. Дозволяє здійснювати GPS - моніторинг транспортних засобів як з встановлених GPS-трекерів, так і з мобільних телефонів. Формує маршрути з урахуванням будь-яких обмежень;

– Система управління транспортом. Частина структури Supply Chain Management. Забезпечує розрахунок вартості різноманітними видами транспорту, відслідковує терміни перевозок. Миттєво може надати інформацію щодо місцезнаходження вантажу та термінах доставки.

Наразі в Україні впроваджується програма «From-Door-To-Door»- це спосіб доставки товару від відправника до клієнта, дана програма передбачає впровадження нових підходів у транспортну політику. Вона реалізує найкращу інноваційну модель транспортно-торгівельної інфраструктури, зокрема у межах цієї системи. Впровадження проекту одного транспортно-торгівельного маршруту оцінюється в середньому до 166 млн. доларів США за загального обсягу - 2 500 млн. доларів США [18].

1.4 Постановка задачі дослідження

Впровадження сучасних цифрових продуктів та інформаційних технологій в діяльність сфери транспортної логістики є актуальною проблемою в умовах інформатизації основних секторів економіки України. Розробка системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності, яка забезпечує врахування різних неконтрольованих факторів, які як правило бувають неточними і випадковими дозволяє підвищити ефективність діяльності у сфері транспортної логістики та удосконалити організацію управління ланцюгом переміщення товарів і транспортних засобів від пунктів відправлення до пунктів призначення.

У реальному житті вимоги клієнтів завжди бувають неточними і випадковими, так як попит на будь-який товар залежить від різних неконтрольованих факторів, наприклад: ринкові умови, сезон, час доставки, та інші. Через які не завжди можна повідомити про попит заздалегідь, а точну інформацію щодо попиту майже неможливо отримати.

Рішення, прийняті клієнтами щодо вимог, також можуть мати певні вагання. Для того, щоб задовольнити такі запити клієнтів у мережі, у магістерській кваліфікаційній роботі використовуються нечіткі випадкові величини (fuzzy demands). Клієнт може зробити замовлення використовуючи невизначені терміни, такі як «приблизно N_1 », «між N_2 і N_3 », «принаймні N_4 », «не менше N_5 », «не більше N_6 », де N_i – деяка величина, яка відображає обсяг замовлення. Такі терміни можна представити нечіткими числами, наприклад, як нечіткі числа з трикутною функцією належності.

Об'єкт дослідження - планування транспортних маршрутів.

Предмет дослідження - методи планування і оптимізації транспортних перевезень в умовах невизначеності.

Метою даної роботи є удосконалення процесу планування та управління транспортними маршрутами в транспортно-логістичній сфері шляхом

розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності..

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі **завдання**:

- проаналізувати логістичний підхід до організації господарської діяльності в сучасних умовах;
- здійснити огляд та аналіз існуючих аналогів програмних засобів за темою роботи, виявлення недоліків з метою усунення їх при розробці власного проекту та визначення нових функцій, які можна додати в програмний продукт;
- провести пошук та аналіз публікацій, наукових статей, інформація яких буде корисна при розробці функціональних моделей та алгоритмів за темою роботи;
- дослідження сучасних методів створення функціональних моделей та алгоритмів для розробки системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності;
- обрати технології та засоби розробки інформаційної системи планування транспортних маршрутів;
- розробити та здійснити програмну реалізацію інформаційної системи планування транспортних маршрутів для задачі CVRP в умовах невизначеності.

Висновки до розділу 1

У результаті написання першого розділу було проаналізовано логістичний підхід до організації господарської діяльності в сучасних умовах з врахуванням зарубіжного досвіду. Вивчено основні проблеми та визначено, що особливої уваги заслуговує автоматична розробка програми планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності. Прийнято рішення для розширення інтерфейсу користувача використовувати Google Maps Platform.

Даний API дозволяє інтегрувати google maps в застосунок. Перевагою використання карт є можливість вибору існуючих пунктів призначення та відстаней між даними точками. За допомогою карти можливо обирати місце розташування замовників, складу, відображати сплановані маршрути.

Досліджено існуючі методи планування та оптимізації транспортних перевезень. Проаналізовано останні дослідження й публікації науковців та існуючі програмні засоби у галузі розробок планування транспортних маршрутів.

2 МЕТОДИ ТА АЛГОРИТМИ РОЗРОБКИ WEB-ЗАСТОСУНКУ З ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ДЛЯ ЗАДАЧ CVRP В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

2.1 Загальний опис алгоритмів

В основі планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності покладено чотири алгоритми.

Для розрахунку послідовності обходу вузлів, на основі вхідних даних (координати вузлів замовників та складу, матриця відстаней між вузлами), використовуються «Sweeping» та «Saving» алгоритми.

Далі, на основі даних сформованих Saving та Sweeping алгоритмами, та вхідних даних (об'єми замовлень у вигляді нечітких чисел трикутної форми), виконується визначення маршрутів транспортних засобів з використанням алгоритму «Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value».

На останньому етапі виконується розрахунок кількості транспорту та відносного прибутку з використанням алгоритму пошуку оптимальної кількості транспортних засобів, вхідними даними для якого наступні критерії: прибуткова вартість вантажу; вартість перевезення вантажу; вартість додаткових експлуатаційних витрат; вартість фрахту додаткового транспортного засобу; вартість простою одного транспортного засобу.

2.2 Алгоритм Sweeping

В основу Sweeping-алгоритму покладено генерація Sweeping-таблиці, формування якої здійснюється на основі полярних радіусів та кутів, які створюють «промінь», що виходить з базового вузла, по чергово проходячи через координати вузлів проти годинникової стрілки.

Вхідними даними є координати вузлів, в яких знаходяться замовники вантажів, та координати складського комплексу компанії.

Вихідними даними є Sweeping-таблиця, яка містить послідовність обходу вузлів та їх кути з полярними радіусами.

Формування таблиці складається з наступних етапів:

1. Переведення вузлів відносно початку координат (0, 0), шляхом віднімання координат складу від значення координат вузлів.

2. Виконується розрахунок кутів за формулами (2.1 - 2.5), в залежності в якій чверті розташовані вузли.

Якщо $x > 0, y \geq 0$, використовується формула (2.1).

$$k = \frac{\arctg\left(\frac{y}{x}\right) * 180}{\pi}, \quad (2.1)$$

де k – кут;

y та x – координати вузла.

Якщо $x > 0, y < 0$, використовується формула (2.2).

$$k = \frac{\arctg\left(\frac{y}{x}\right) * 180}{\pi} + 360, \quad (2.2)$$

де k – кут;

y та x – координати вузла.

Якщо $x < 0$, використовується формула (2.3).

$$k = \frac{\arctg\left(\frac{y}{x}\right) * 180}{\pi} + 180, \quad (2.3)$$

де k – кут;

y та x – координати вузла.

Якщо $x = 0, y > 0$, використовується формула (2.4)

$$k = \frac{\frac{\pi}{2} * 180}{\pi}, \quad (2.4)$$

де k – кут.

Якщо $x = 0, y < 0$, використовується формула (2.5)

$$k = \frac{\frac{3\pi}{2} * 180}{\pi}, \quad (2.5)$$

де k – кут.

3. Виконується розрахунок полярних радіусів за формулою (2.6).

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \quad (2.6)$$

де r – полярний радіус;

y та x – координати вузла.

4. Здійснюється сортування кутів в порядку збільшення, при цьому, якщо кути рівні для будь-яких вузлів, то першим обирається вузол у якого полярний радіус більший.

На рисунку 2.1 наведено блок-схему Sweeping алгоритму.

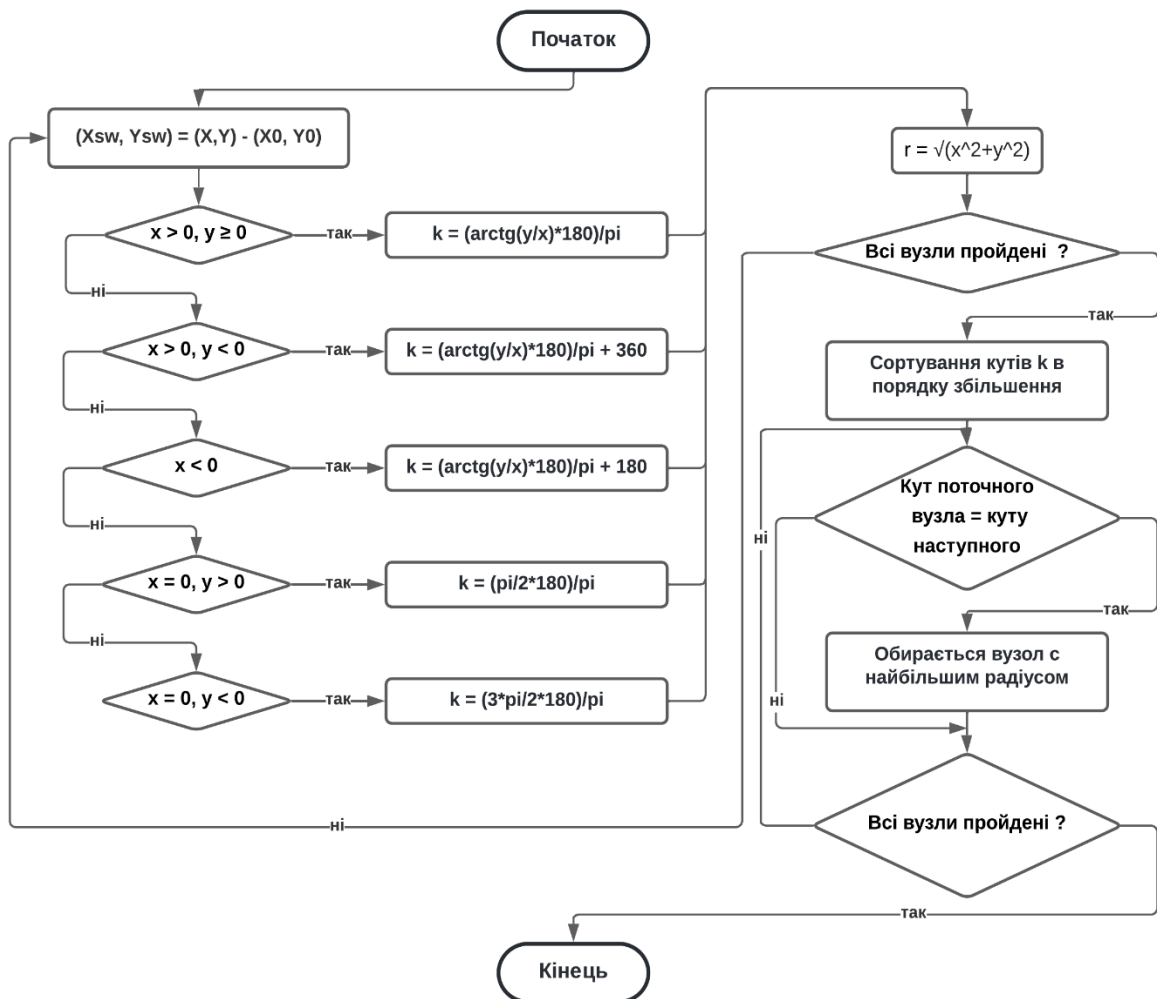


Рис. 2.1. Блок-схема Sweeping алгоритму

2.3 Алгоритм Saving

В основу Saving-алгоритму покладено формування Saving-таблиці.

Вхідними даними є координати вузлів, в яких знаходяться замовники вантажів, та координати складського комплексу компанії, матриця відстаней між вузлами.

Вихідними даними є Saving-таблиця, яка містить послідовність пар вузлів, відсортованих в порядку зменшення їх saving відстані, а також сама saving відстань.

Для розрахунку Saving-відстані використовується формула (2.7)

$$S_{\text{відстань}} = d_{i0} + d_{j0} - d_{ij}, \quad (2.7)$$

де d_{i0} – відстань від складу до i -го вузла;

d_{j0} – відстань від складу до j -го вузла;

d_{ij} – відстань між вузлами.

Формування послідовності обходу вузлів складається з наступних етапів:

1. Обирається пара вузлів з найбільшою Saving-відстанню. Серед поточної пари вузлів обирається вузол, у якого відстань до складу є найменшою.

2. До послідовності додається: склад \rightarrow вузол з меншою відстанню до складу \rightarrow вузол з більшою відстанню до складу.

3. За допомогою циклу виконується рух по Saving-таблиці, в результаті якого видаляються пари вузлів, які містять передостанній вузол послідовності.

4. Обирається наступна пара, що містить останній вузол послідовності, та додається до неї невикористаний вузол з цієї пари.

5. Виконується повторення 3 та 4 етапів, доки алгоритм не дістанеться останнього невикористаного вузла.

6. Закінчення послідовності, повернення на склад.

На рисунку 2.2 наведено блок-схему Saving алгоритму.

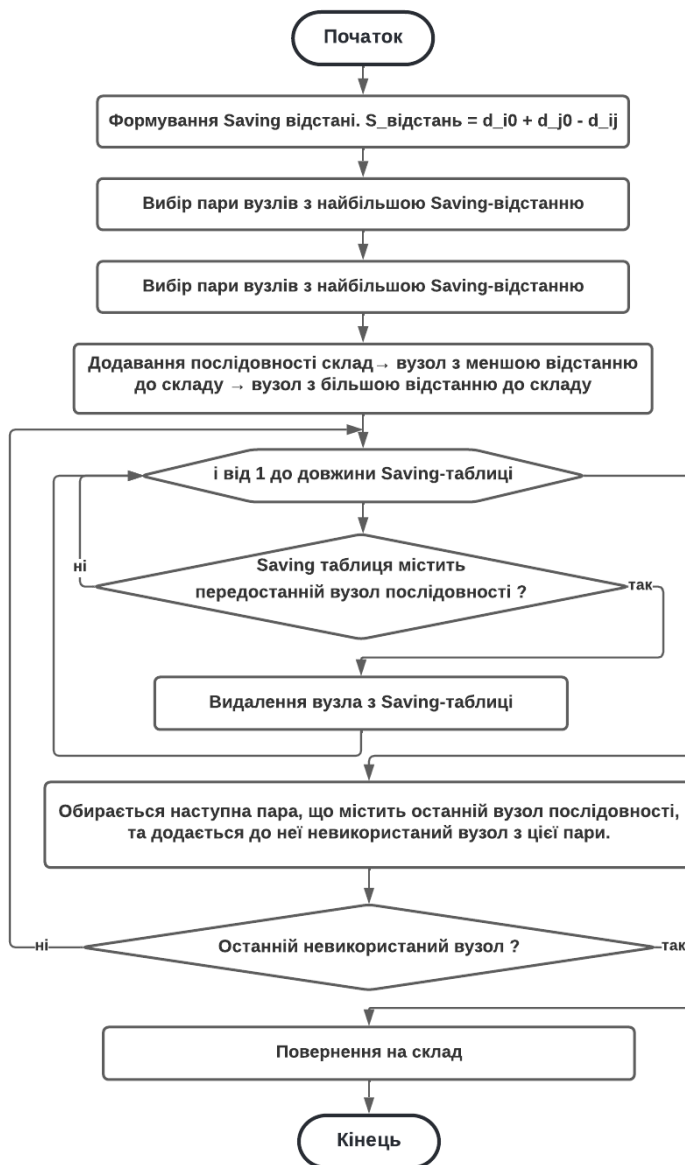


Рис. 2.2. Блок-схема Saving алгоритму

2.4 Алгоритм Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value

Формування маршрутів транспортних засобів з вантажомісткістю з використанням нечітких чисел складається з наступних етапів:

1. Формуються математичні моделі нечітких вимог в вигляді нечіткого трикутного числа методом експертної оцінки. Вигляд нечіткого числа наведено в формулі (2.8)

$$q_j = (\underline{q}_j, \hat{q}_j, \bar{q}_j), j = 1 \dots N, \quad (2.8)$$

де q_j – нечітка множина j -ї програми замовлень вантажних перевезень;

$\underline{q}_j, \bar{q}_j$ – нижня та верхня границя інтервалу в якому задана нечітка множина;

\hat{q}_j – елемент множини q_j .

На рисунку 2.3. зображено 3 вимоги у вигляді нечітких множин А, В, С.

А – модель нечіткого числа «Не менше 10».

В – модель нечіткого числа «Між 25 та 40».

С – модель нечіткого числа «Не більше 50».

$\mu(q)$ – функція належності. $X = \{A, B, C\}$.

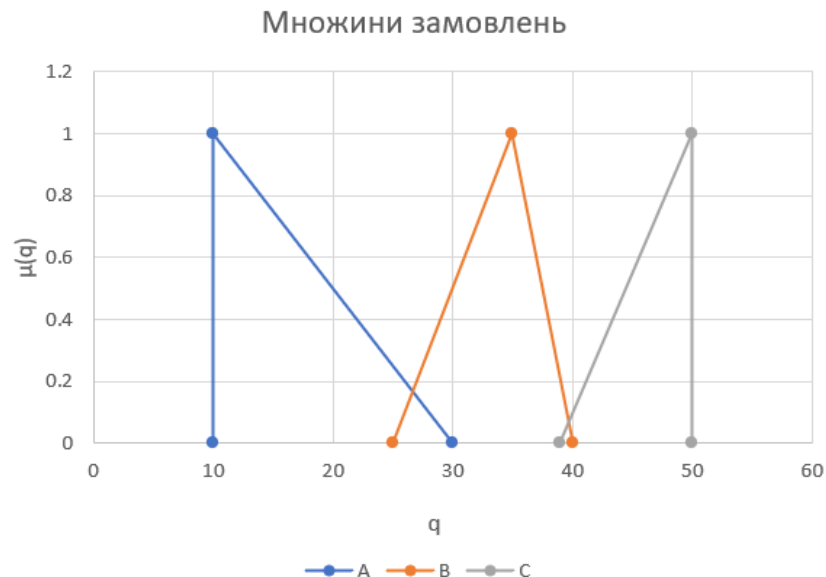


Рис. 2.3. Нечіткі множини А, В, С

2. Виконується формування послідовності обходу вузлів на основі Saving та Sweeping алгоритмів.

3. Визначаються вузли, які мають бути включені у відповідний маршрут, з урахуванням можливостей обслуговування кожного вузла з нечіткими замовлення та обмеженнями місткості транспорту.

Для цього від чіткого числа (загальний об'єм вантажу транспорту) віднімається нечітке число (об'єм замовлення у вузлі). Після цього об'єм вантажу транспорту перетворюється в нечітке число. Транспорт має змогу обслуговувати замовників до того моменту, поки залишок вантажу перевищує замовлення транспорту. Конфліктна ситуація буде виникати, коли дана умова не виконується. В даному випадку обслуговування даним транспортом припиняється.

Початкове значення об'єму вантажу транспорту наведено в формулі (2.9)

$$\Delta Q_0 = (\underline{\Delta Q_0}, \widehat{\Delta Q_0}, \overline{\Delta Q_0}), \text{ де} \quad (2.9)$$

де ΔQ_0 – нечітка множина об'єму вантажу транспорту;

$\underline{\Delta Q_0}$, $\overline{\Delta Q_0}$ – нижня та верхня границя інтервалу в якому задана нечітка множина;

$\widehat{\Delta Q_0}$ – елемент множини ΔQ_0 .

Дане значення представлене чітким числом D у вигляді нечіткого трикутного числа наведеного в формулі (2.10).

$$D = \Delta D_0 = (D, D, D) \quad (2.10)$$

На рисунку 2.4 зображено нечітку множину для першого замовлення та об'єм вантажу транспорту у вигляді чіткого числа.

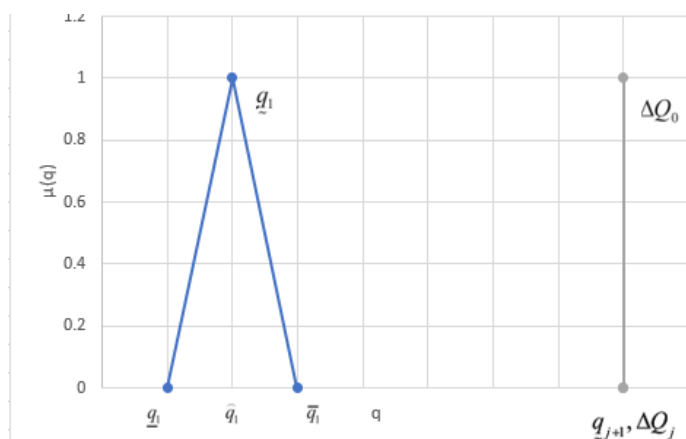


Рис. 2.4. Нечіткі множини першого замовлення та об'єму вантажу

Залишкове значення об'єму вантажу транспорту після включення першого вузла у маршрут наведено в формулі (2.11).

$$\Delta Q_1 = \Delta Q_0 - Q_1 = (\underline{\Delta Q}_1, \widehat{\Delta Q}_1, \overline{\Delta Q}_1) \quad (2.11)$$

де ΔQ_1 – нечітка множина об'єму вантажу транспорту після включення першого вузла;

Q_1 – нечітка множина обсягу замовлення в першому вузлі

$\underline{\Delta Q}_1$, $\overline{\Delta Q}_1$ – нижня та верхня границя інтервалу в якому задана нечітка множина;

$\widehat{\Delta Q}_1$ – елемент множини ΔQ_1 .

На рисунку 3.1 зображено нечіткі множини другого замовлення та об'єм вантажу після включення першого замовлення у маршрут.

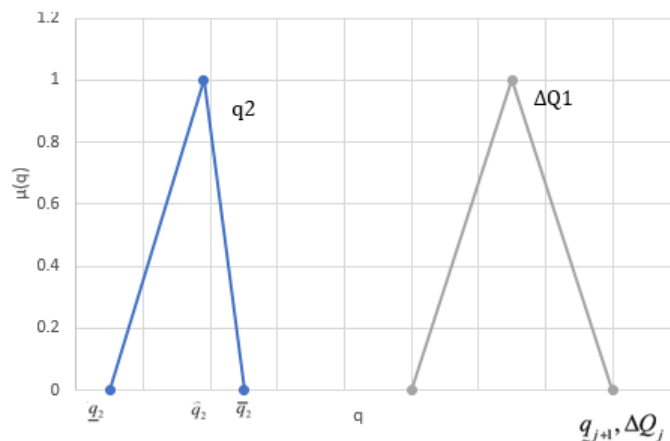


Рис. 2.5. Нечіткі другого замовлення та об'єму вантажу після включення першого вантажу у маршрут

Залишкове значення об'єму вантажу транспорту після включення другого вузла у маршрут наведено в формулі (2.12).

$$\Delta Q_2 = \Delta Q_1 - Q_2 = (\underline{\Delta Q_2}, \widehat{\Delta Q_2}, \overline{\Delta Q_2}) \quad (2.12)$$

де ΔQ_2 – нечітка множина об'єму вантажу транспорту після включення другого вузла;

Q_2 – нечітка множина обсягу замовлення в другому вузлі

$\underline{\Delta Q_2}$, $\overline{\Delta Q_2}$ – нижня та верхня границя інтервалу в якому задана нечітка множина;

$\widehat{\Delta Q_2}$ – елемент множини ΔQ_1 .

На рисунку 2.6 зображено нечіткі множини третього замовлення та об'єм вантажу після включення другого замовлення у маршрут.

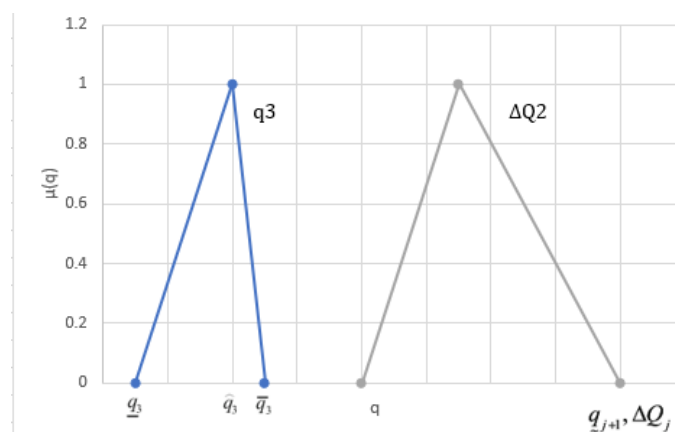


Рис. 2.6. Нечіткі другого замовлення та об'єму вантажу після включення другого вантажу у маршрут

Два перших вузла включаються до маршруту планування, оскільки нечіткі значення залишку вантажу в транспорті вище нечітких значень відповідних замовлень.

Конфліктна ситуація для $(j+1)$ – го замовника виникає за умови, що найбільше значення \bar{q}_{j+1} нечіткого замовлення наведеного в формулі (2.13) вище мінімального значення наведеного в формулі (2.14) нечіткого залишкового вантажу транспорту ΔQ наведеного в формулі (2.15)

$$q_{j+1} = (\underline{q}_{j+1}, \widehat{q}_{j+1}, \overline{q}_{j+1}) \quad (2.13)$$

$$(D - \sum_{s=1}^j \bar{q}_s) \quad (2.14)$$

$$\Delta Q_j = (D - \sum_{s=1}^j \bar{q}_s, D - \sum_{s=1}^j \hat{q}_s, D - \sum_{s=1}^j \underline{q}_s) \quad (2.15)$$

На рисунку 2.7 наведено конфліктну ситуацію.

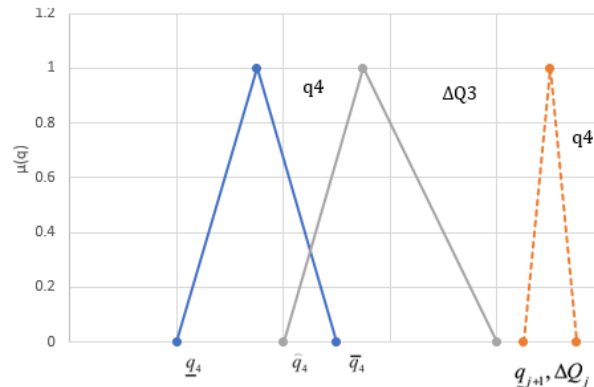


Рис. 2.7. Конфліктна ситуація

Під час планування поточного маршруту нечіткі значення залишкового вантажу транспорту ΔQ_j крок за кроком зрушуємо вліво. Як тільки трикутне число ΔQ_j перетинається з трикутним нечітким числом q_{j+1} обслуговування даним транспортом припиняється. Крок 3-й повторюється доки не буде досягнуто останнього вузла з послідовності

В результаті розрахунку отримуємо набір маршрутів транспортних засобів.

2.5 Алгоритм з пошуку оптимальної кількості транспортних засобів

Для пошуку оптимальної кількості транспортних засобів та відносного прибутку враховуються наступні критерії:

C_0 – прибуткова вартість 1 т вантажу;

C_1 – вартість перевезення вантажу на 1 км;

C_2 – вартість додаткових експлуатаційних витрат на 1 км;

C_3 – вартість фрахту додаткового транспортного засобу на 1 км;

C_4 – вартість простою одного транспортного засобу.

Для розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів потрібно сформулювати матрицю рішень $\|e_{ij}\|$ відносно розміру транспортних засобів для зовнішніх умов.

Множина альтернативних рішень $E = \{E_1, \dots, E_{R_{max}}\}$ відповідає варіантам розміру парку транспортних засобів, де $E_{R_{max}}$ – максимальна кількість маршрутів при реалізації програми вантажних перевезень F_n .

Загальна кількість альтернативних рішень M_Σ в матриці рішень визначається за формулами (2.16 – 2.18).

$$E_1 = F_1 \text{div}(D_{max}) \quad (2.16)$$

$$E_{R_{max}} = F_n \text{div}(D_{max}) + 2 \geq R_{max} \quad (2.17)$$

$$M_\Sigma = E_{R_{max}} - E_1 + 1 \quad (2.18)$$

Елементи e_{ij} матриці рішень $\|e_{ij}\|$ обчислюються за наступними алгоритмами:

– у випадку фрахтування додаткових транспортних засобів за формулою (2.19)

$$e_{ij} = C_1 * \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{s=1}^{S_r} d_{sj} - C_2 * \sum_{r=1}^{R_j} L_{rj} - C_3 * R_j - C_4 * (R_j - m), R_j \geq m \quad (2.19)$$

– у випадку простою частини транспортних засобів за формулою (2.20).

$$e_{ij} = C_1 * \sum_{r=1}^{R_j} \sum_{s=1}^{S_r} d_{sj} - C_2 * \sum_{r=1}^{R_j} L_{rj} - C_3 * R_j - C_5 * (m - R_j), m \geq R_j, \quad (2.20)$$

де m – кількість транспорту згідно альтернативного рішення $E_j, i = 1, \dots, M_\Sigma$;

R_j – кількість маршрутів при реалізації j -ї програми вантажних перевезень, $F_j, j = 1, \dots, n$;

$\sum_{r=1}^{R_j} L_{rj}$ – загальна довжина всіх маршрутів при реалізації j -ї програми вантажних перевезень $F_j, j = 1, \dots, n$;

$\sum_{r=1}^{R_j} \sum_{s=1}^{S_r} d_{sj}$ - загальна кількість відвантаженого вантажу на всіх маршрутах при реалізації j -ї програми вантажних перевезень $F_j, j = 1, \dots, n$.

Виконуємо пошук оптимальної кількості транспортних засобів шляхом використання класичних мінімаксного критерію для обробки матриці рішень.

Мінімаксний критерій забезпечує вибір рішення при реалізації цільової функції з використанням формули (2.21)

$$Z_{mm} = \max_i e_{ir} \quad (2.21)$$

Цей критерій використовує оцінювальну функцію, що відповідає позиції крайньої обережності при прийнятті рішень (2.22):

$$e_{ir} = \min_j e_{ir} \quad (2.22)$$

Множину оптимальних рішень E_o можна представити формулою (2.23):

$$E_o = \{E_{io} \mid E_{io} \in E \wedge e_{io} = \max_i \min_j e_{ij}\}. \quad (2.23)$$

Висновки до розділу 2

У другому розділі було досліджено сучасні методи та алгоритми щодо планування транспортних маршрутів для задач CVRP в умовах невизначеності:

- Saving алгоритм;
- Sweeping алгоритм;
- алгоритм Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value;
- алгоритм з пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

Зроблено опис та виконано побудову блок-схем алгоритмів.

3 МОДЕЛЮВАННЯ, ТЕХНІЧНЕ ПРОЕКТУВАННЯ WEB- ЗАСТОСУНКУ З ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ ТА ВИБІР ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

3.1 Вибір інформаційних технологій

Розроблений вебзастосунок складається з двох частин:

- інтерфейс користувача зі сторони клієнта (Frontend);
- програмна частина, яка працює на віддаленому сервері (Backend);

Взаємодія між Frontend та Backend виконується з використанням технології Rest-Api. Rest-Api – це архітектура програмного забезпечення яка передбачає застосування методів HTTP-запитів для обміну даними між клієнтською та серверною сторонами.

При створенні серверної частини було використано програмну платформу Node.js. Дана платформа є практичною в користуванні, так як клієнт незалежно від операційної системи має змогу взаємодіяти з web-сервером за допомогою браузера на будь-якому комп'ютері чи мобільному пристрої.

В технології Node.js використовується мова програмування JavaScript. Node.js перетворює вузькоспеціалізовану мову JavaScript в мову загального призначення, що дозволяє взаємодіяти з пристроями введення та виведення, підключати зовнішні бібліотеки, розробляти серверні застосунки.

Для розробки серверної частини використовувався фреймворк Express який характеризується рядом переваг:

- висока продуктивність;
- велика кількість інструментів для розробки Web-застосунку;
- наявність версій для безлічі операційних систем, що дозволяє розгорнути сервер на будь-якій з них.

При створенні клієнтської частини було використано мову розмітки HTML, мета-мову Scss, яка створена на основі Css, що дозволяє задати зовнішній вигляд сторінкам: стилі, шрифти, кольори тощо.

Для взаємодії клієнта з серверною частиною шляхом надсилання запитів та надання інтерактивності застосунку було використано JavaScript.

Щоб полегшити розробку клієнтської частини було розроблено bilder на основі таск-менеджера для автоматичного виконання необхідних задач (компіляція Scss в Css, використання технології Browser-sync, можливість розділення на компоненти файлів JavaScript, HTML та їх подальшого підключення). Окрім того застосовувалась методологія БЕМ, в основі якої покладено принцип розподілу інтерфейсу на незалежні блоки, елементи та модифікатори.

Щоб розширити інтерфейс користувача було прийнято рішення використовувати Google Maps Platform. Даний API дозволяє інтегрувати google maps в застосунок. Перевагою використання карт є можливість вибору існуючих пунктів призначення та відстаней між даними точками. За допомогою карти можливо обирати місце розташування замовників, складу, відображати сплановані маршрути.

Під час розробки використовувались наступні API:

- JavaScript API – дозволяє додавати та налаштовувати карту Google в Web-застосунку;
- Geocoding API – надає можливість перетворення адрес заданих в текстовому форматі на географічні координати;
- Distance Matrix API – надає змогу отримання матриці відстаней між заданими точками на карті;
- Places API – повертає інформацію щодо місця на основі місцезнаходження користувача.

– Directions API – надає методи візуалізації та побудови маршрутів на карті.

На рисунку 3.1 наведено схематичне зображення технологій.

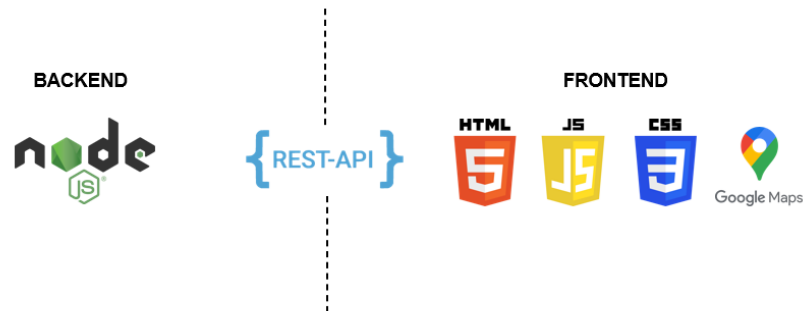


Рис. 3.1. Схематичне зображення технологій

3.2 Функціональна модель планування маршрутів

Розглянемо функціональну модель планування маршрутів наведену на рисунку 3.2, яка відображає інформаційні зв'язки між підсистемами.

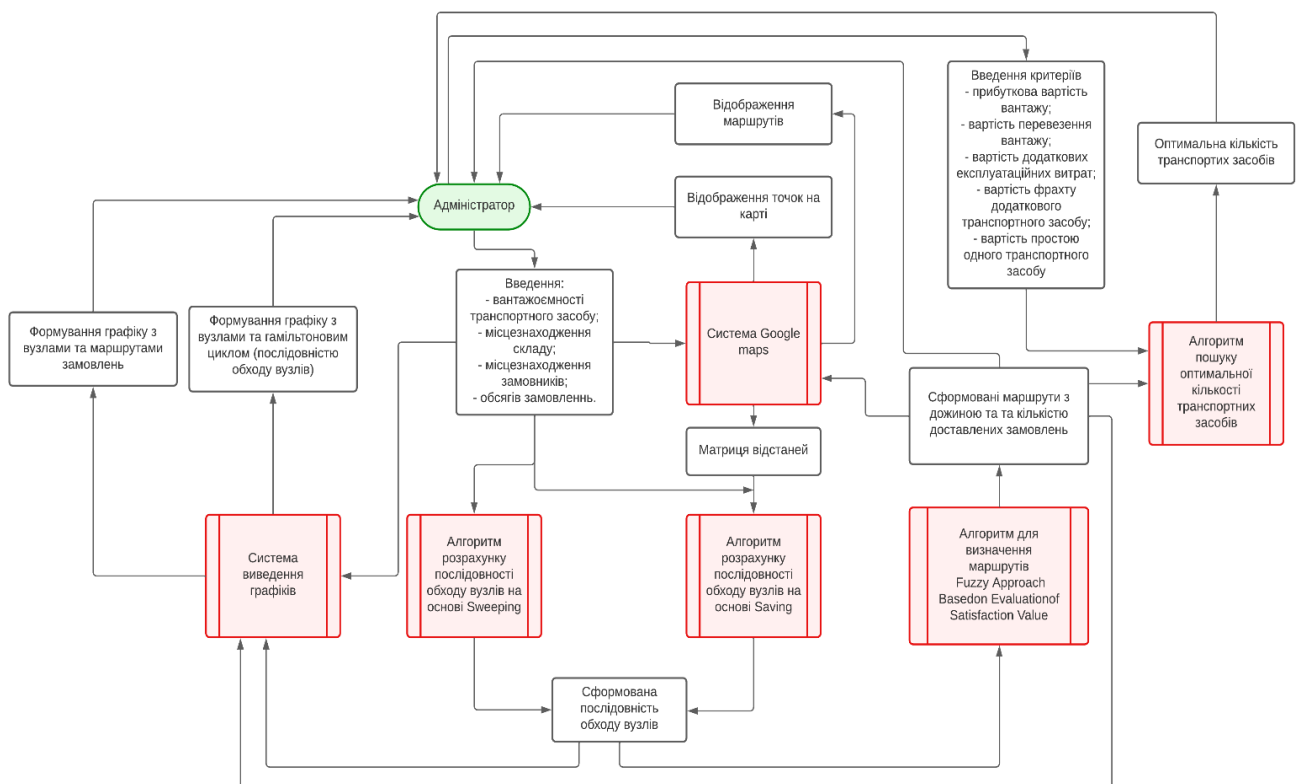


Рис. 3.2. Функціональна модель

В якості користувача виступає адміністратор.

В якості підсистем використовуються: система Google maps, система виведення графіків, алгоритм розрахунку послідовності обходу вузлів на основі Sweeping, алгоритм розрахунку послідовності обходу вузлів на основі Saving, Алгоритм для визначення маршрутів Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value, Алгоритм пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

В таблиці 3.1 визначено ролі користувача та його функції.

Таблиця 3.1

Роль адміністратора та його функції

Користувач	Функції
Адміністратор	<ol style="list-style-type: none"> 1. Введення вантажоемності транспортного засобу в тоннах; 2. Введення місцезнаходження складу з можливістю вибору точки на карти, або шляхом запису адреси; 3. Введення місцезнаходження замовників з можливістю вибору точки на карти, або шляхом запису адреси; 4. Редагування та видалення введених даних; 5. Введення обсягів замовлень у вигляді нечіткого числа трикутної форми; <p>Введення критеріїв для розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів та розрахунку відносного прибутку (прибуткова вартість 1 т вантажу; вартість перевезення вантажу на 1 км; вартість додаткових експлуатаційних витрат на 1 км; вартість фрахту додаткового транспортного засобу на 1 км; вартість простою одного транспортного засобу).</p>

Опис підсистем відображаємо в таблиці 3.2

Таблиця 3.2

Підсистеми програми та їх функції

Підсистема	Дані	Функції
Система Google maps	Координати вузлів замовників та складу, сформовані маршрути транспортних засобів з довжиною	Задання вузлів замовників за допомогою карти; Виведення місцезнаходження точок складу та замовників; Побудова сформованих маршрутів на карті; Перетворення адрес заданих в текстовому форматі на географічні координати; Отримання матриці відстаней між заданими точками на карті;
Система виведення графіків	Координати вузлів замовників та складу, послідовність обходу вузлів, сформовані маршрути транспортних засобів	Виведення на графіку послідовність обходу вузлів (гамільтоновий цикл); Виведення на графіку сформованих маршрутів.
Алгоритм розрахунку послідовності обходу вузлів на основі Saving	Координати вузлів замовників та складу, матриця відстаней між вузлами	Створення saving таблиці з послідовністю обходу вузлів.
Алгоритм розрахунку послідовності обходу вузлів на основі Sweeping	Координати вузлів замовників та складу, обсяг замовлень	Створення sweeping таблиці з послідовністю обходу вузлів.

Закінч. таблиці 3.2

Алгоритм для визначення маршрутів Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value	Послідовність обходу вузлів, обсяг замовлень	Формування маршрутів транспортних засобів на основі нечітких чисел з довжиною та кількістю доставлених замовлень.
Алгоритм пошуку оптимальної кількості транспортних засобів	Сформовані маршрути транспортних засобів з довжиною та кількістю доставлених замовлень, прибуткова вартість 1 т вантажу; вартість перевезення вантажу на 1 км; вартість додаткових експлуатаційних витрат на 1 км; вартість фрахту додаткового транспортного засобу на 1 км; вартість простою одного транспортного засобу	Пошук оптимальної кількості транспортних засобів на основі критеріїв, та розрахунок відносного прибутку.

На клієнтській частині (Frontend) відпрацьовують наступні системи: система Google maps, система виведення графіків, система введення даних.

На серверній частині (Backend) відпрацьовують: алгоритм розрахунку послідовності обходу вузлів на основі Saving та Sweeping, алгоритм для визначення маршрутів Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value, алгоритм пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

Висновки до розділу 3

В результаті написання третього розділу здійснено аналіз інформаційних технологій для створення Web-застосунку, зазначено їх переваги.

Використано наступні технології для розробки Web-додатку:

- платформа Node.js та фреймворк Express для серверної частини;
- мову розмітки HTML;
- мета-мову Scss;
- мову програмування JavaScript;
- Google Maps API.

Створено функціональну модель Web-застосунку з планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності В зазначеній моделі відображено інформаційні зв'язки між адміністратором та підсистемами. Визначено функції підсистем та здійснено їх опис. Відображено роль користувача та його функції.

4 МОДЕЛЮВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ WEB-ЗАСТОСУНКУ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

4.1 Формування вхідних даних

Виконуємо введення вантажомісткості транспортного засобу в тоннах.
Результат наведено на рисунку 4.1.

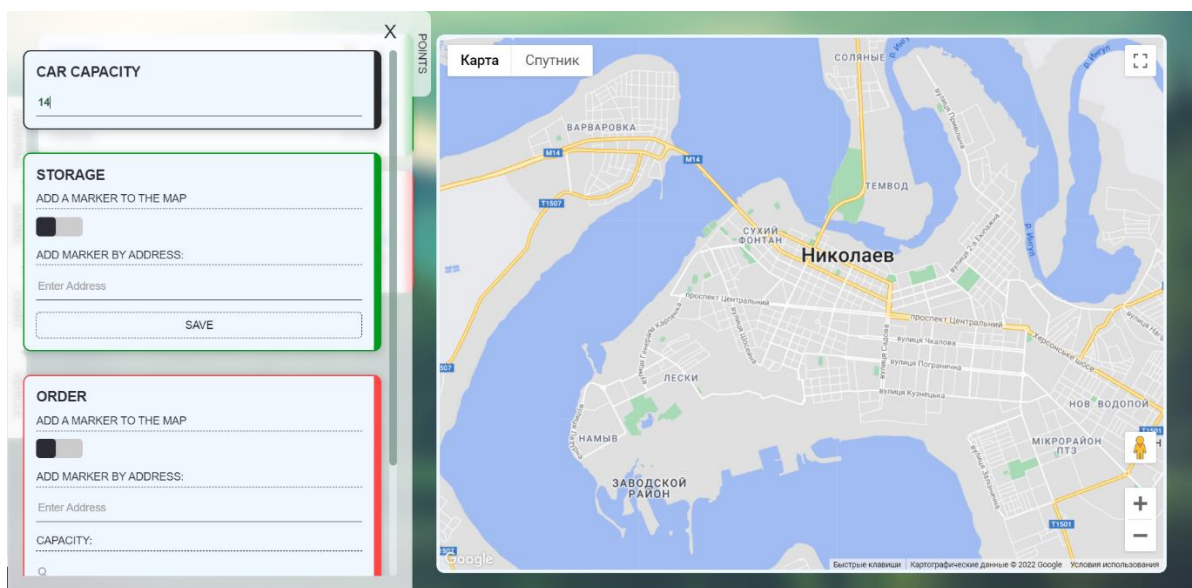


Рис. 4.1. Введення вантажомісткості

Додаємо координати складу за допомогою форми Storage. Результат наведено на рисунку 4.2.

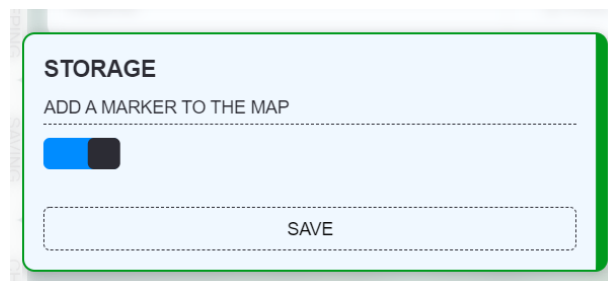


Рис. 4.2. Форма додавання координат складу

Додаємо координати замовлень та обсяг замовлень у вигляді нечіткого трикутного числа за допомогою форми Order. Результат наведено на рисунку 4.3.

ORDER

ADD A MARKER TO THE MAP

CAPACITY:

1

1.5

2

SAVE

Рис. 4.3. Форма додавання координат складу

На рисунку 4.4 зображено вузли замовників та складу.

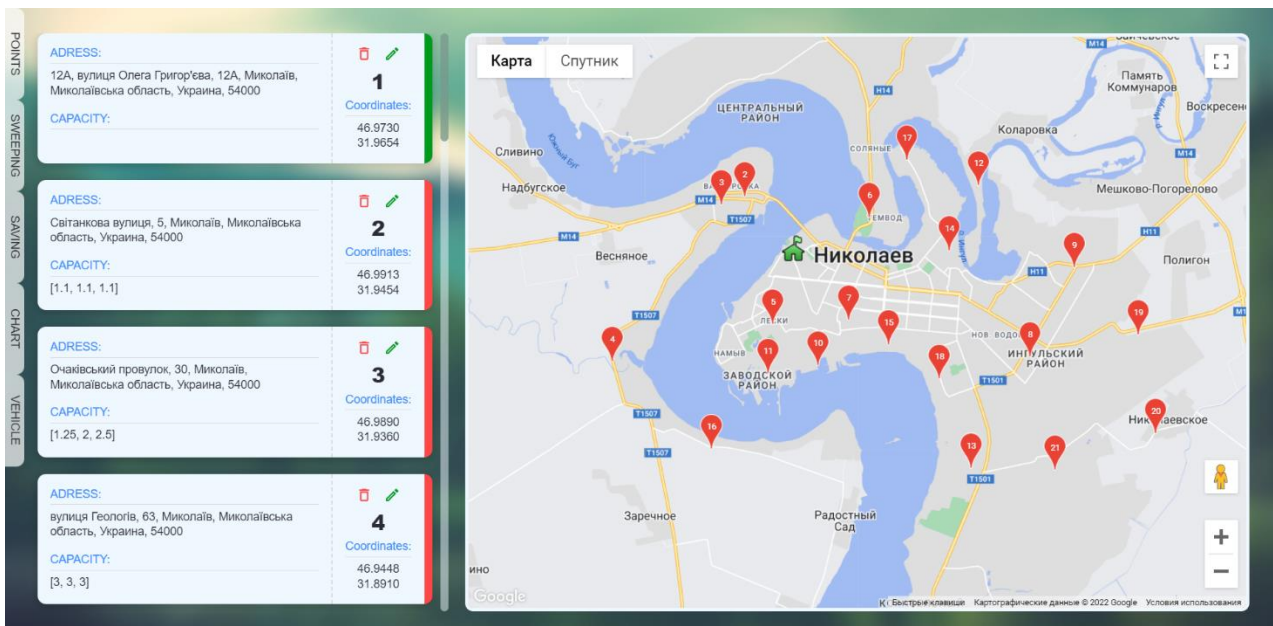


Рис. 4.4. Вузли замовників та складу

Для пошуку оптимальної кількості транспортних засобів та відносного прибутку заповнюємо на вкладці меню Vehicle в формі External states наступні критерії: прибуткова вартість 1 т вантажу; вартість перевезення вантажу на 1 км; вартість додаткових експлуатаційних витрат на 1 км; вартість фрахту додаткового транспортного засобу на 1 км; вартість простою одного транспортного засобу. Результат наведено на рисунку 4.5

Рис. 4.5. Введення критеріїв

В таблиці 4.1 наведено координати вузлів, в яких знаходяться задані координати замовників вантажів та складу та обсяги замовлення у вигляді нечіткого числа.

Таблиця 4.1

Координати вузлів розгалуженої транспортної системи

№	X_i	Y_i	Замовлення	№	X_i	Y_i	Замовлення
2	46.9913	31.9454	(1, 1, 1)	12	46.9943	32.0421	(3, 4, 6)
3	46.9890	31.9360	(1.25, 2, 2.5)	13	46.9149	32.0388	(5, 5, 5)
4	46.9448	31.8910	(3, 3, 3)	14	46.9760	32.0298	(1.5, 2, 2.5)
5	46.9555	31.9571	(1, 2, 3)	15	46.9496	32.0048	(6, 8, 10)
6	46.9855	31.9971	(2.3, 2.5, 3)	16	46.9202	31.9316	(1, 1, 1)
7	46.9567	31.9885	(5, 6, 7)	17	47.0015	32.0123	(1.7, 1.9, 2)
8	46.9463	32.0632	(2, 2, 4)	18	46.9399	32.0260	(3, 3.5, 4)
9	46.9713	32.0813	(3, 4, 5)	19	46.9524	32.1080	(1, 2, 2)
10	46.9438	31.9756	(5, 5.5, 6)	20	46.9247	32.1152	(2, 2, 3)
11	46.9416	31.9550	(2, 2.3, 2.5)	21	46.9144	32.0735	(1.3, 1.6, 1.9)
$XI = 46.9730, YI = 31.9654$ - координати базового вузла (№ = 1), в якому знаходиться складський комплекс і транспортна компанія							

Вантажомісткість D_{\max} транспортних одиниць в тоннах наведено в формулі (1.1).

$$D_{\max} = 14.0 \text{ тонн} \quad (4.1)$$

В таблиці 4.2 наведено критерії для розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів та відносного прибутку

Таблиця 4.2

Критерії для розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів та відносного прибутку

Параметр	Значення	Характеристика параметра
C_1	7000	Прибуткова вартість 1 т вантажу
C_2	30	Вартість перевезення на 1 км
C_3	1000	Вартість додаткових експлуатаційних витрат
C_4	3200	Вартість фрахту одного допоміжного транспортного засобу
C_5	200	Вартість простою одного транспортного засобу

4.1 Розрахунок на основі Saving алгоритму

Виконуємо розрахунок послідовності обходу вузлів за допомогою Saving алгоритму. Для цього переходимо на вкладку меню Saving, натискаємо кнопку Calculate saving routes наведену на рисунку 4.5.

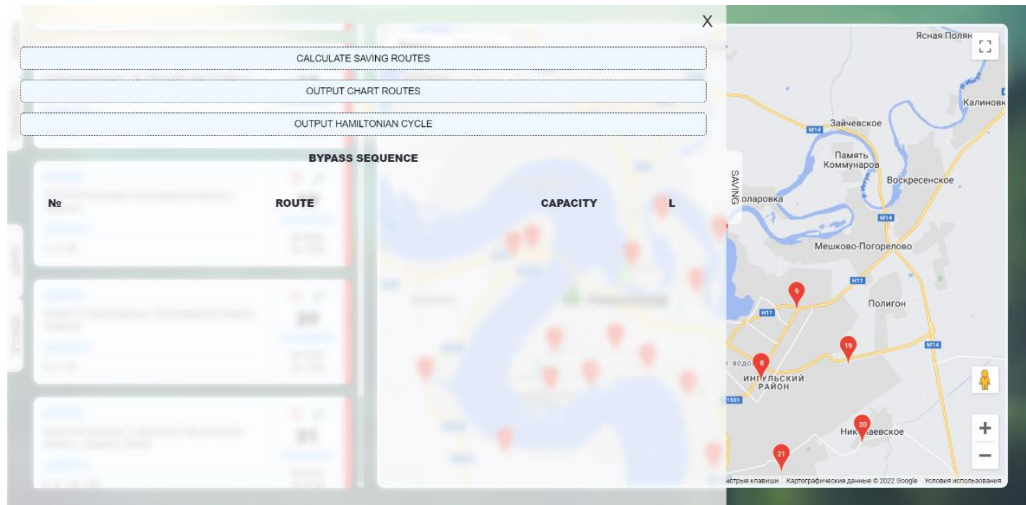


Рис. 4.5. Saving меню

З використанням заданих координат формується матриця відстаней за допомогою Google maps API. Дана матриця записується в файл DistanceMatrix.json.

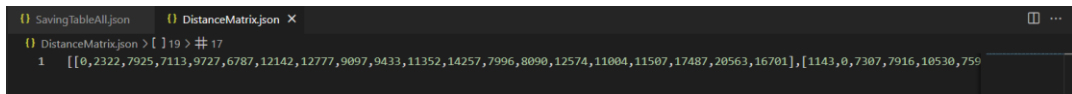


Рис 4.6. Вміст файлу DistanceMatrix.json

На рисунку 4.7 наведено матриця відстаней.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
2	0	2322	7925	7113	9727	6787	12142	12777	9097	9433	11352	14257	7996	8090	12574	11004	11507	17487	20563	16701
3	1143	0	7307	7916	10530	7590	12944	13580	9900	10235	12155	15060	8798	8892	11956	11807	12310	18290	21366	17503
4	7816	7094	0	14277	16892	13952	19306	19941	16262	16597	18516	21422	15160	15254	4650	18169	18672	24652	27728	23865
5	7067	9068	14387	0	10529	3212	10068	11952	3114	2015	11348	11162	7867	4673	19037	10703	8412	15279	17468	13605
6	5945	7947	13265	7057	0	5021	10375	11011	7331	9377	9586	12491	6229	6323	17915	8724	9741	15721	18797	14934
7	6997	8999	14317	3197	8457	0	7058	8942	2851	6436	8338	9039	4931	2034	18967	7676	6288	12269	15345	11482
8	12056	14058	19376	9763	13516	6771	0	3655	9418	13002	7438	5269	5916	6110	24026	9481	3606	6981	11575	7712
9	12691	14693	20012	12000	14151	9007	3655	0	11654	14879	6707	8212	4997	9659	24661	9235	6550	14716	18515	10656
10	9342	11343	16662	3122	10801	2874	9730	11614	0	1853	11010	10824	7529	4335	21311	10365	8074	14941	17130	13267
11	9446	11447	16766	2015	12908	6450	13306	14876	1853	0	14304	14401	10799	7912	21415	13634	11650	18517	20707	16844
12	11332	13334	18652	11333	12555	8341	7438	6707	10987	14240	0	10572	3965	8993	23302	8203	7822	13332	16878	13015
13	14418	16419	21738	11150	15877	9168	5302	8246	10804	14388	10448	0	8277	7085	26388	11842	4581	10513	7150	3287
14	8012	10014	15333	8180	9197	5188	5911	4948	7834	11105	3916	8223	0	5840	19982	3889	5473	11453	14529	10666
15	8288	10289	15608	4661	9747	2032	6143	9599	4315	7899	8995	7085	5514	0	20258	8350	3704	11354	13391	9528
16	12466	11744	4650	18927	21541	18601	23956	24591	20911	21247	23166	26072	19810	19904	0	22819	23321	29302	32378	28515
17	10637	12638	17957	11242	11859	7662	9474	9233	10340	13562	8201	11786	3903	8345	22607	0	9036	15016	18092	14229
18	11668	13669	18988	8399	13127	6418	3639	6583	8054	11638	7698	4581	5527	3704	23637	9092	0	8850	10887	7024
19	17563	19564	24883	15305	30336	12313	6889	15240	14959	18543	13616	10611	11422	11453	29532	14987	8949	0	6717	11306
20	20712	22714	28033	17444	22172	15462	11596	18649	17099	20683	16742	7138	14572	13380	32682	18137	10876	6716	0	4790
21	16849	18851	24170	13581	18309	11600	7733	10677	13236	16820	12880	3275	10709	9517	28819	14274	7013	11306	4790	0
22	4122	6124	11442	3245	7885	3614	9554	10189	5923	5565	9509	11823	6153	5346	16092	9162	9073	15053	18129	14266

Рис. 4.7. Сформована матриця відстаней

В результаті буде сформована Saving-таблиця, яка записана в файл SavingTableAll.json вміст файлу наведено на рисунку 4.8.

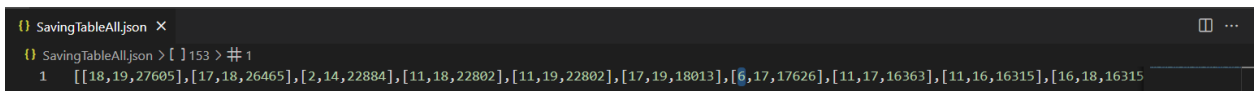


Рис. 4.8. Файл SavingTableAll.json

Для зручності конвертуємо в excel файл. Результат наведено на рисунках 4.9 - 4.10.

A	B	C	D	E	F	G	H	I
Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань	Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань	Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань
18	19	27605	7	17	10526	4	16	7217
17	18	26465	10	15	10468	4	17	7217
2	14	22884	1	14	10260	4	18	7217
11	18	22802	1	2	10259	4	19	7217
11	19	22802	7	15	10116	4	6	7064
17	19	18013	11	13	10084	4	7	7063
6	17	17626	13	18	10084	8	13	6934
11	17	16363	13	19	10084	5	13	6926
11	16	16315	7	18	9803	8	11	6922
16	18	16315	6	12	9791	8	16	6922
16	19	16315	12	16	9753	8	18	6922
6	11	16108	12	17	9753	8	19	6922
6	18	16108	12	18	9753	4	13	6908
6	19	16108	12	19	9753	3	9	6795
6	7	16088	11	12	9699	5	8	6686
16	17	15276	8	9	9635	4	5	6478
6	16	15021	6	15	9235	4	8	6477
7	11	13800	15	16	9199	5	16	6399
7	19	13799	15	17	9199	5	11	6398
7	10	12991	15	18	9199	5	17	6398
7	16	12712	15	19	9199	5	18	6398
10	12	11697	11	15	9143	5	19	6398
6	10	11625	13	17	9045	13	15	6158
12	15	11426	6	13	8790	5	6	6110
7	12	11345	4	15	8323	4	14	6062
10	17	11230	0	1	7924	6	8	6059
10	11	10760	4	12	7809	3	8	6054
10	16	10760	4	10	7808	8	17	6035
10	18	10760	0	14	7640	7	13	5876
10	19	10760	0	2	7639	10	13	5862
13	16	10715	4	11	7217	12	13	5659

Рис. 4.9. Сформована Saving таблиця. Частина 1

J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань	Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань	Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань	Вузол 1	Вузол 2	Saving відстань
5	15	5100	1	6	2734	0	11	1688	3	14	300
5	7	4861	1	7	2733	0	16	1688	0	3	254
5	12	4836	3	6	2731	0	17	1688	0	9	254
5	10	4785	1	13	2578	0	18	1688	9	14	242
8	15	4720	2	4	2435	0	19	1687			
8	12	4547	2	10	2435	6	14	1620			
7	8	4458	2	12	2435	7	14	1620			
8	10	4422	2	15	2435	0	6	1534			
4	9	4073	14	15	2435	0	7	1534			
3	13	3918	10	14	2299	2	13	1534			
3	11	3906	0	4	2280	3	12	1531			
3	16	3906	0	15	2280	11	14	1527			
3	18	3906	0	10	2279	3	7	1482			
3	19	3906	0	12	2279	1	9	1454			
3	5	3647	12	14	2263	1	3	1453			
1	4	3479	1	5	2148	3	10	1406			
1	12	3479	1	8	2147	0	13	1378			
1	15	3479	6	9	2117	13	14	1180			
1	10	3478	9	17	2101	2	5	1104			
3	17	3019	14	16	1844	2	8	1103			
9	13	2999	2	11	1843	9	15	1093			
9	16	2988	2	16	1843	0	5	949			
9	11	2987	2	17	1843	0	8	948			
9	18	2987	2	18	1843	9	12	919			
9	19	2987	2	19	1843	7	9	875			
1	11	2887	14	17	1843	9	10	770			
1	16	2887	14	18	1843	5	14	739			
1	17	2887	14	19	1843	8	14	704			
1	18	2887	3	15	1704	3	4	601			
1	19	2887	2	6	1690	2	3	410			
5	9	2743	2	7	1690	2	9	410			

Рис. 4.10. Сформована Saving таблиця. Частина 2

На рисунку 4.11 наведено розрахована послідовність вузлів на основі Saving-алгоритму.



Рис. 4.11. Послідовність обходу вузлів

На рисунку 4.12 зображено візуалізацію Гамільтонового циклу.

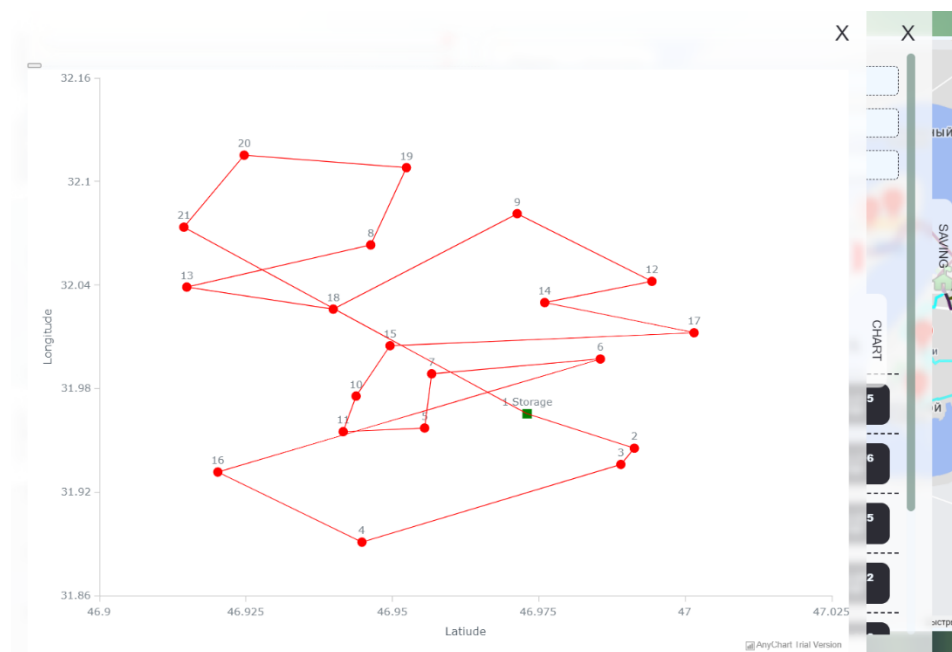


Рис. 4.12. Гамільтоновий цикл

На рисунку 4.13 наведено таблицю з інформацією про маршрути транспортних перевезень для програми сформованих на основі алгоритму Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value. Виведено номер маршруту, послідовність обходу вузлів, об'єм замовлень, довжина маршруту.

№	ROUTE	CAPACITY	L
0	1 21 20 19 8 1	Q : 6.30 Q ⁺ : 7.60 Q ⁻ : 10.90	42.215 KM
1	1 13 18 9 1	Q : 11.00 Q ⁺ : 12.50 Q ⁻ : 14.00	33.176 KM
2	1 12 14 17 1	Q : 6.20 Q ⁺ : 7.90 Q ⁻ : 10.50	26.525 KM
3	1 15 1	Q : 6.00 Q ⁺ : 8.00 Q ⁻ : 10.00	10.692 KM
4	1 10 11 5 1	Q : 8.00 Q ⁺ : 9.80 Q ⁻ : 11.50	13.036 KM
5	1 7 6 16 4 1	Q : 11.30 Q ⁺ : 12.50 Q ⁻ : 14.00	46.078 KM
6	1 3 2 1	Q : 2.35 Q ⁺ : 3.10 Q ⁻ : 3.60	11.389 KM

Рис. 4.13. Послідовність обходу вузлів на основі Saving алгоритму
 На карті виведено візуалізацію маршрутів. Результат наведено на
 рисунку 4.14.

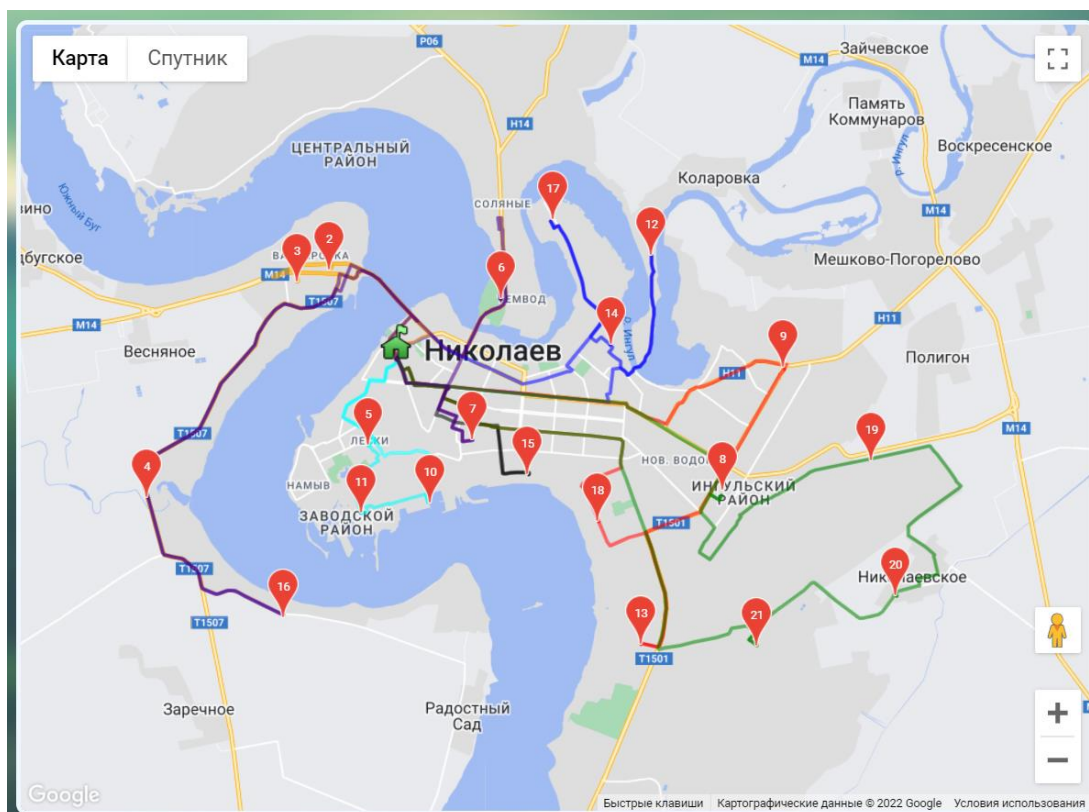


Рис. 4.14. Візуалізація маршрутів на основі Saving алгоритму

На рисунку 4.15 наведено графічну візуалізацію маршрутів.

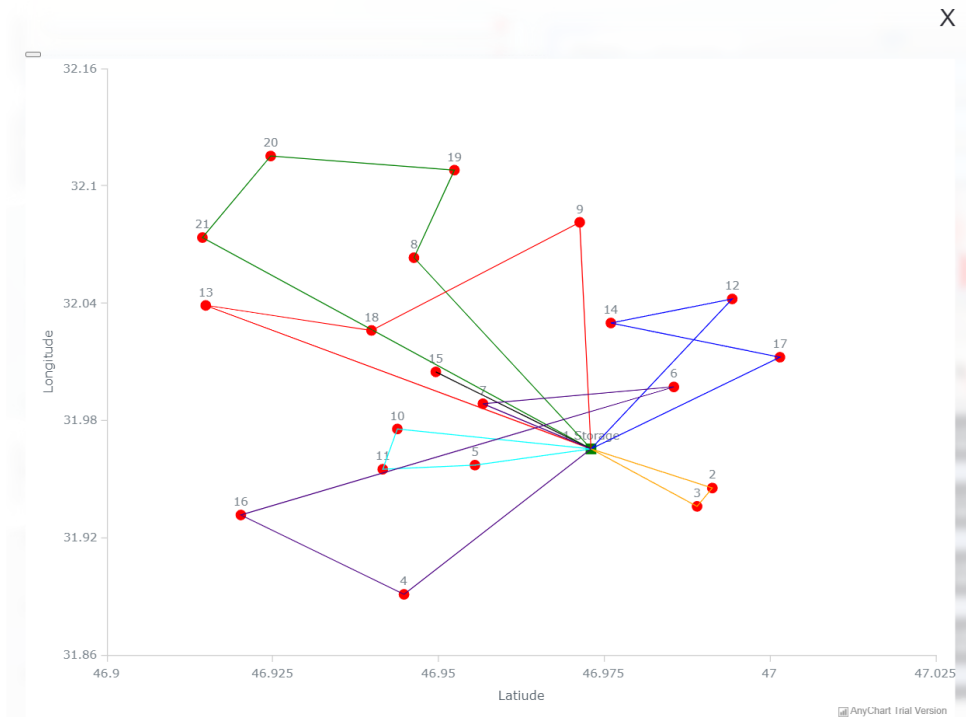


Рис 4.15. Графічна візуалізація маршрутів на основі Saving алгоритму

На вкладці Vehicle натискаємо на кнопку Calculate Saving. Можна дійти висновку, що оптимальна кількість транспортних засобів дорівнює 7. Також в матриці зображено прибуток в залежності від кількості транспортних засобів. Результат наведено на рисунку 4.16.

OPTIMAL NUMBER OF VEHICLES: 7	
NUMBER OF VEHICLES:	
E	E
4	457406.67
5	460606.67
6	463806.67
7	467006.67
8	466806.67
9	466606.67

Рисунок 4.16 результат розрахунку оптимальної кількості транспорту

4.3 Розрахунок на основі Sweeping алгоритму

Виконуємо розрахунок послідовності обходу вузлів за допомогою Sweeping алгоритму. Для цього переходимо на вкладку меню Sweeping, натискаємо кнопку Calculate sweeping routes наведену на рисунку 4.17.

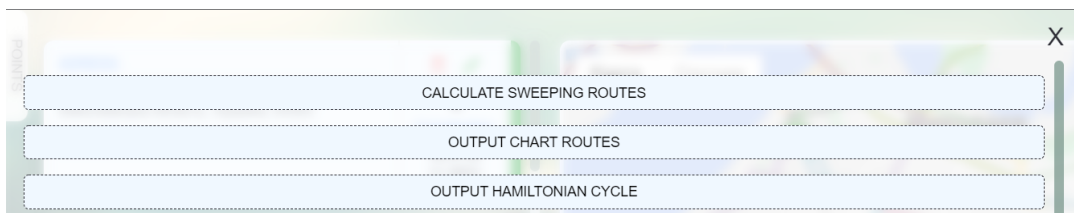


Рис. 4.17. Sweeping меню

В результаті буде сформована Sweeping-таблиця, яка записана в файл SweepingTable.json вміст файлу наведено на рисунку 4.18.

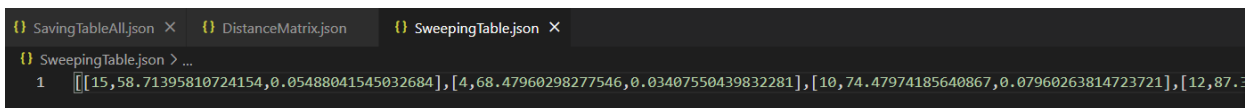


Рис. 4.18. Файл SweepingTable.json

Для зручності конвертуємо в excel файл. Результат наведено на рисунку 4.19

	A	B	C
1	Вузол	.Кут	Полярний радіус
2	15	58.71395811	0.054880415
3	4	68.47960298	0.034075504
4	10	74.47974186	0.079602638
5	12	87.33287011	0.064469838
6	7	90.84034375	0.115912467
7	17	98.22008387	0.144080255
8	6	105.2699891	0.10137914
9	18	107.8708736	0.157394187
10	19	118.4617074	0.122961661
11	16	118.643571	0.069050489
12	13	120.7064419	0.045824884
13	5	125.2078538	0.028271894
14	11	128.3634864	0.093611805
15	8	160.7449222	0.030930244
16	9	198.3253968	0.033077485
17	3	205.3743173	0.019368531
18	14	212.6254013	0.062691945
19	2	249.2416757	0.079565068
20	1	298.5558142	0.033471779
21	0	312.4585135	0.027108855

Рис. 4.19. Сформована Sweeping таблиця.

На рисунку 4.20 наведено розрахована послідовність вузлів на основі Sweeping-алгоритму.

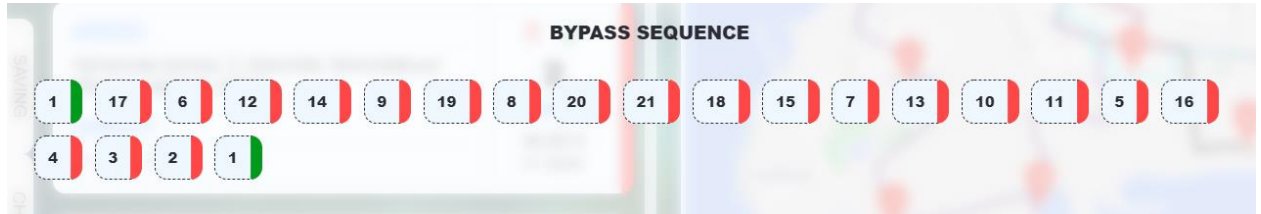


Рис. 4.20. Послідовність обходу вузлів

На рисунку 4.21 зображено візуалізацію Гамільтонового циклу.

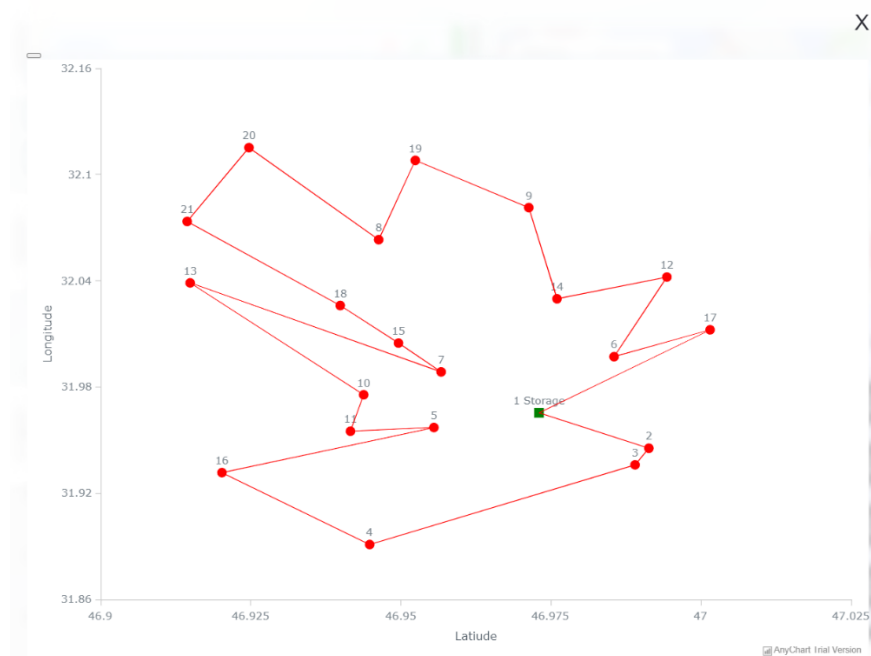


Рис. 4.21. Гамільтоновий цикл

На рисунку 4.22 наведено таблицю з інформацією про маршрути транспортних перевезень для програми сформованих на основі алгоритму Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value. Виведено номер маршруту, послідовність обходу вузлів, об'єм замовлень, довжина маршруту.

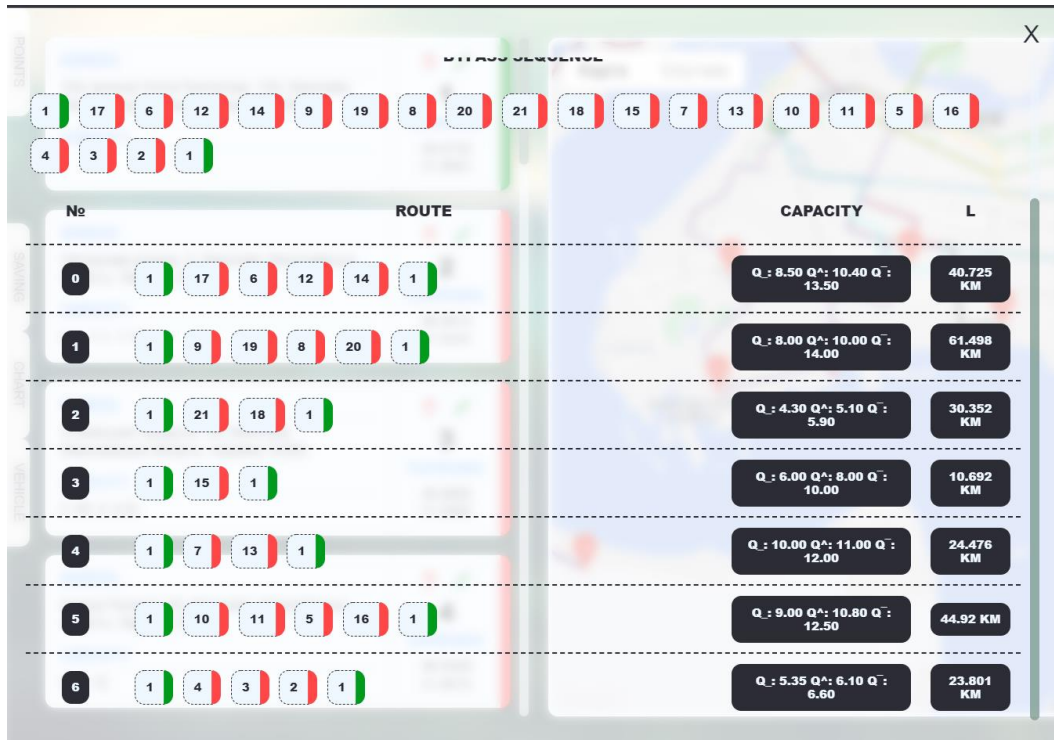


Рис. 4.22. Послідовність обходу вузлів на основі Sweeping алгоритму

На карті виведено візуалізацію маршрутів. Результат наведено на рисунку 4.23.

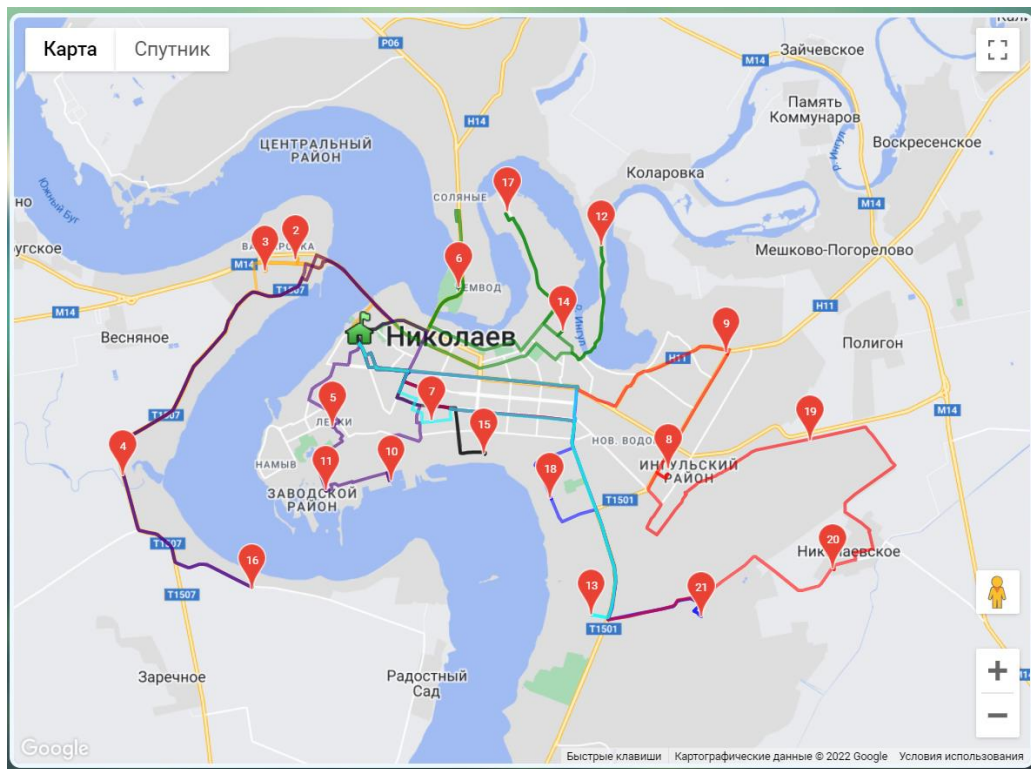


Рис. 4.23. Візуалізація маршрутів на основі Sweeping алгоритму

На рисунку 4.24 наведено графічну візуалізацію маршрутів.

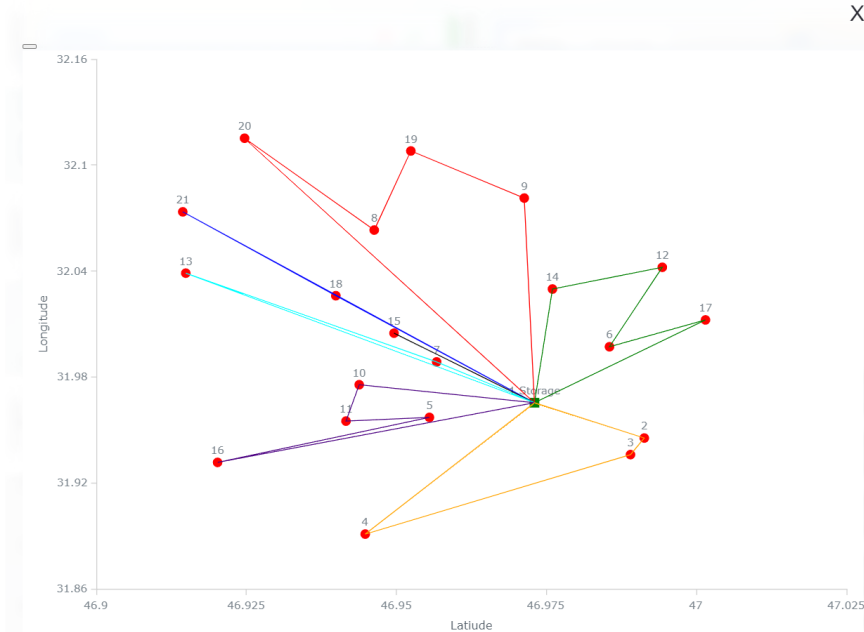


Рис. 4.24. Графічна візуалізація маршрутів на основі Sweeping алгоритму

На вкладці Vehicle натискаємо на кнопку Calculate Sweeping. Можна дійти висновку, що оптимальна кількість транспортних засобів дорівнює 7.

Також в матриці зображено прибуток в залежності від кількості транспортних засобів. Результат наведено на рисунку 4.25.

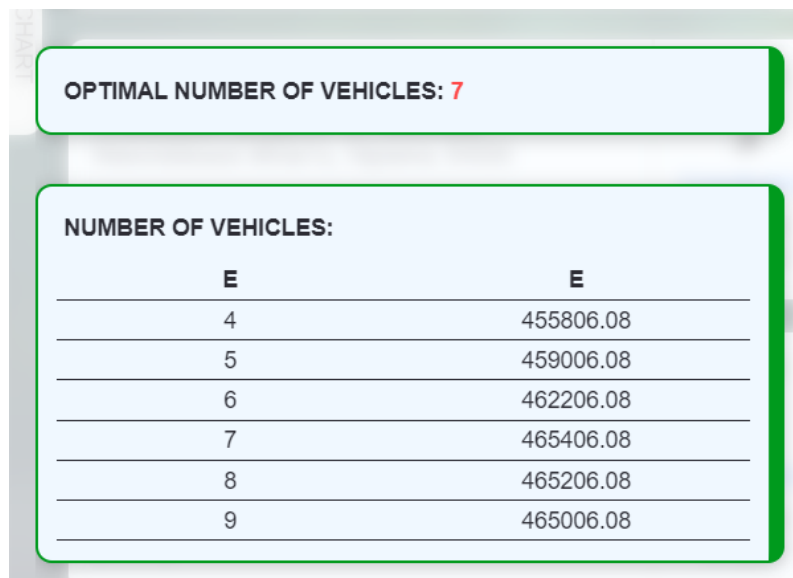


Рис. 4.25. Результат розрахунку оптимальної кількості транспорту

4.4 Порівняльний аналіз Saving та Sweeping алгоритмів.

Здійснюється порівняльний аналіз загальних довжин для визначення найкращого варіанту планування маршрутів всіх маршрутів, при реалізації кожної з програм вантажних перевезень.

На рисунку 4.25 наведено загальна довжина Saving маршруту.

183111 Saving

Рис. 4.25. Загальна довжина Saving маршруту

На рисунку 4.26. наведено загальна довжина Sweeping маршруту.

236464 Sweeping

Рис. 4.26. Загальна довжина Sweeping маршруту

Обираємо найкращий варіант планування маршрутів за критерієм мінімізації загальної довжини маршрутів при реалізації всіх програм. В даному випадку Saving-алгоритм показав кращий результат.

Висновки до розділу 4

В результаті написання розділу було сформовано вхідні дані для планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності.

Сформовано Saving та Sweeping таблиці

Здійснено розрахунки маршрутів та їх довжини, послідовність обходу вузлів, об'єми замовлень.

Виконано графічну візуалізацію маршрутів з використанням графіків та Google maps.

Визначено відносний прибуток на основі критеріїв, для Saving: 467006, для Sweeping: 465406.

Зроблено порівняльний аналіз Sweeping та Saving алгоритмів та визначено кращий результат показаний Saving алгоритмом. Було визначено оптимальну кількість транспортних засобів: 7 одиниць.

5 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ТА ОПИС WEB-ЗАСТОСУНКУ ПЛАНУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

5.1 Опис програмної реалізації

Web-застосунок складається з frontend та backend частини.

На рисунку 5.1 – 5.2 наведено структуру клієнтської частини. Даний код не скомпільований за допомогою builder, тому структура файлів зручна у відображенні.

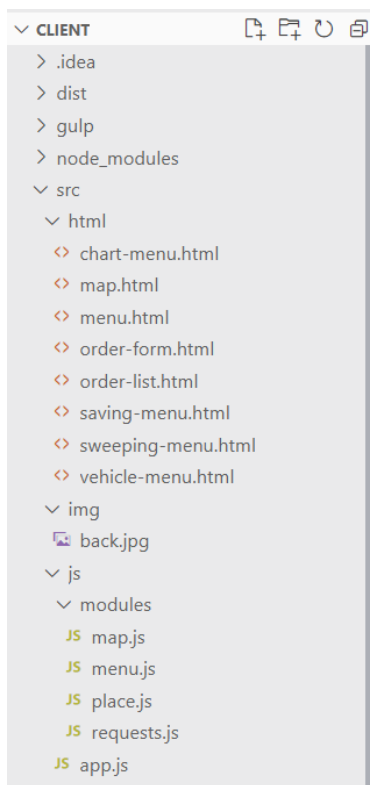


Рис. 5.1. Структура клієнтської частини. Частина 1.

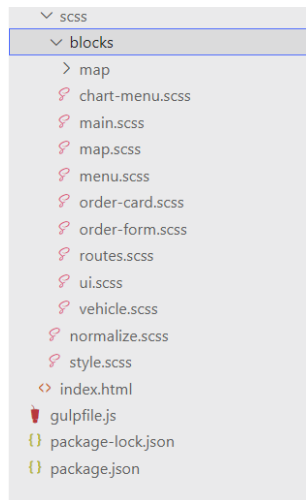


Рис. 5.2. Структура клієнтської частини. Частина 2.

Опис HTML файлів:

- index.html – головний файл у який підключаються другорядні файли;
- chart-menu.html – меню з графіком;
- map.html – блок з картою Google;
- menu.html – головне меню, у якому підключені форми введення основних даних;
- order-form.html – містить форми для ініціалізації складу, вузлів, вантажоємності транспорту;
- order-list.html – блок зі списком, який містить картки зі складом та замовниками;
- saving-menu.html – меню з елементами керування та виведення результатів за принципом Saving алгоритму;
- sweeping-menu.html – меню з елементами керування та виведення результатів за принципом Sweeping алгоритму;
- vehicle-menu.html – меню з елементами керування та виведення результатів розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів.

Опис SCSS файлів:

- style.scss – головний файл у який підключено другорядні файли;
- main.scss – глобальні стилі;

- map.scss – стилі Google map;
- menu.scss стилі меню;
- order-card.scss – стилі карток зі складом та замовниками;
- order-form.scss – стилі форм користувача;
- routes.scss – стилі маршрутів;
- vehicle.scss – стилі меню розрахунку оптимальної кількості транспортних засобів;
- ui.scss – стилі інтерфейсу користувача.

Опис JavaScript файлів:

- app.js – головний файл у який підключено основні модулі;
- menu.js – містить логіку відображення меню;
- place.js – містить Class Place, за допомогою якого виконується створення об'єктів замовлень та складу;
- requests.js – містить запити до серверної частини;
- map.js – глобальний файл, який відповідає за взаємодію користувача з Google maps.

На рисунку 5.3. наведено структуру серверної частини.

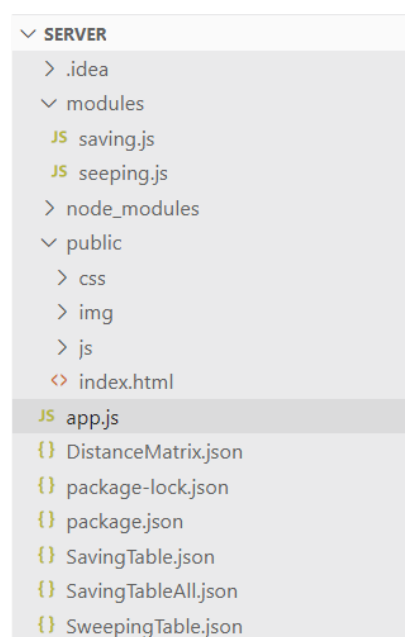


Рис. 5.3. Структура серверної частини.

Директорія modules містить 2 фаєли:

– saving.js – програмна реалізація алгоритму Saving, Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value, та алгоритму пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

– sweeping.js – програмна реалізація алгоритму Sweeping, Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value, та алгоритму пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

Директорія public містить скомпільовані фаєли для сторони клієнта.

Фаєл app.js – містить основні налаштування сервера, запити та підключення модулів.

5.2 Керівництво користувача

Для початку роботи веб застосунку необхідно виконати розгортання серверу за допомогою команди podemon app.js.

Перейти за посиланням <http://localhost:3000/>. За даним посиланням буде відкрита головна сторінка web-застосунку. Результат наведено на рисунку 5.4.

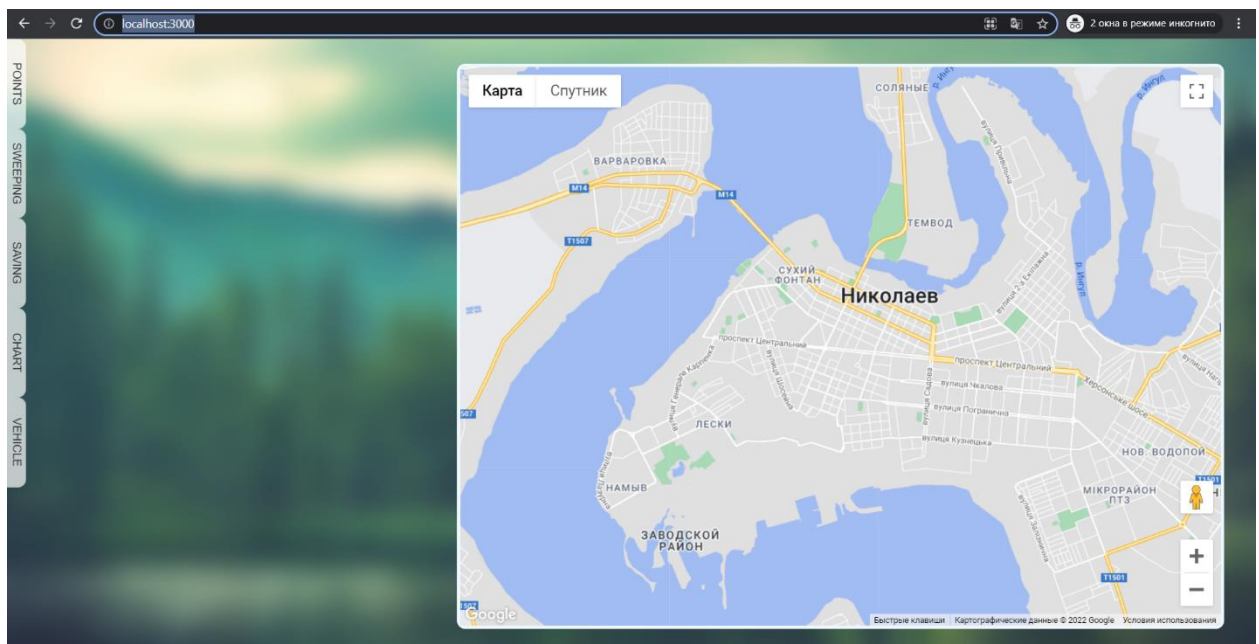


Рис. 5.4. Головна сторінка Web-застосунку

У лівій частині сторінки розміщено меню, яке складається з наступних пунктів: points, sweeping, saving, chart, vehicle.

Меню Points – містить інтерфейс для введення вантажоємності транспортного засобу, введення складу та замовників. Меню Points наведено на рисунку 5.5.

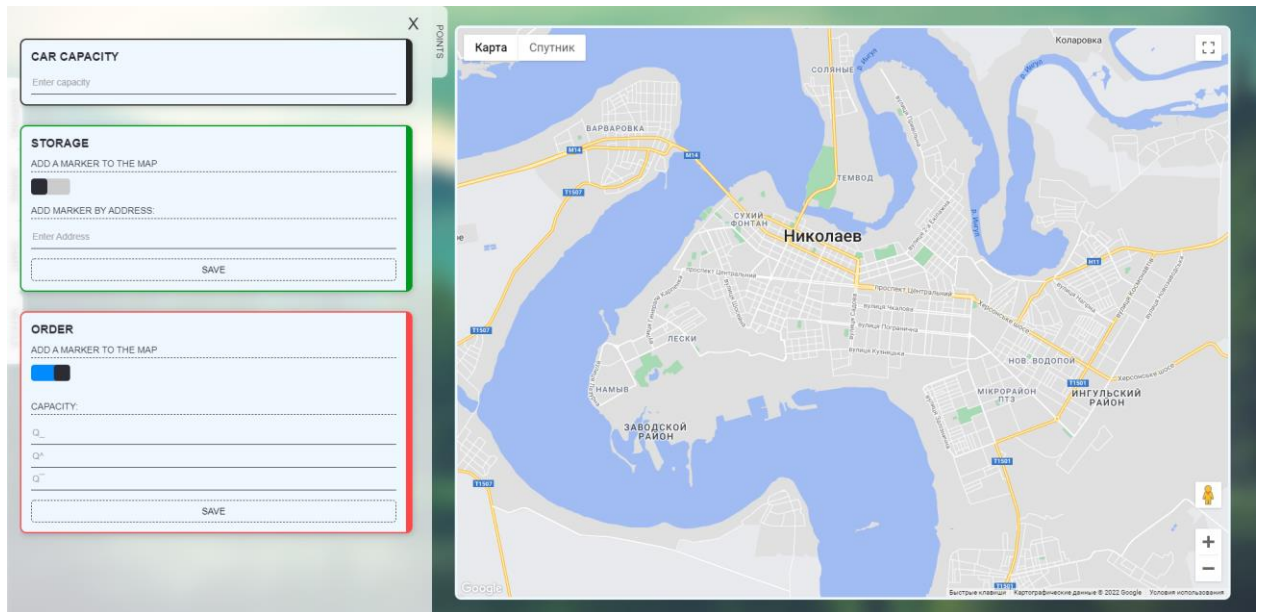


Рис. 5.5. Меню Points

Форма Car capacity містить поле для введення вантажоємності транспорту. Форма наведена на рисунку 5.6.

Рис. 5.6. Меню Points

Форма Storage містить checkbox для вибору способу введення даних. Форма наведена на рисунку 5.7.

STORAGE

ADD A MARKER TO THE MAP

ADD MARKER BY ADDRESS:

Enter Address

SAVE

Рис. 5.7. Меню Points

Якщо checkbox активний, для введення складу необхідно клікнути на карту в потрібному місці, після цього натиснути на кнопку Save. Результат наведено на рисунку 5.8 - 5.9.

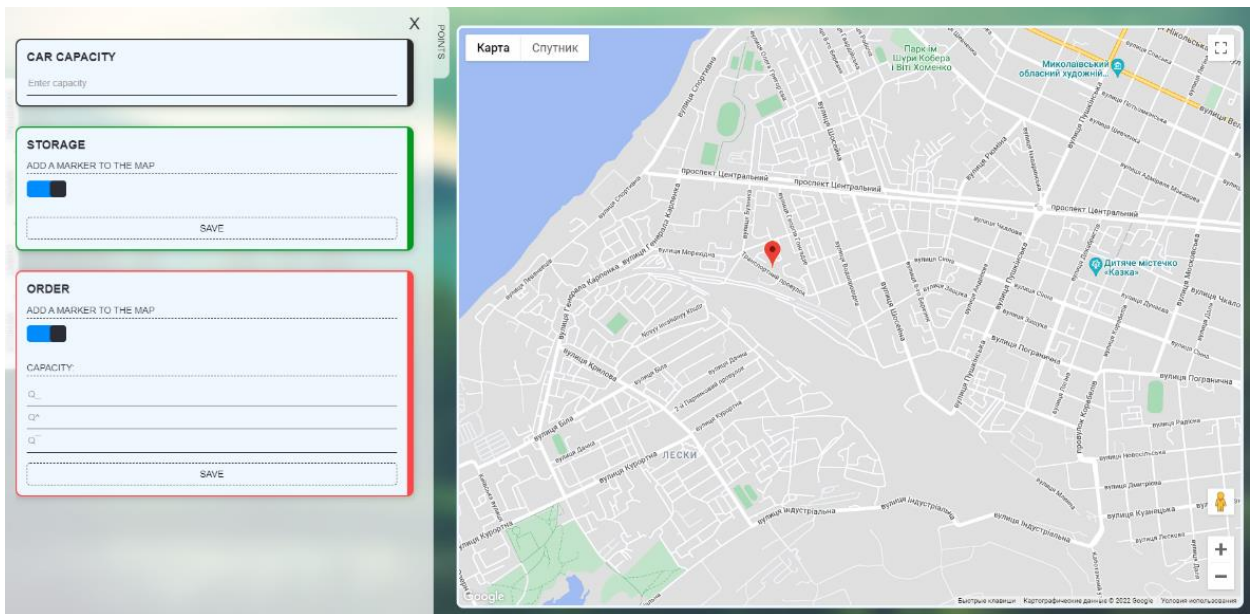


Рис. 5.8. Вибір складу на карті

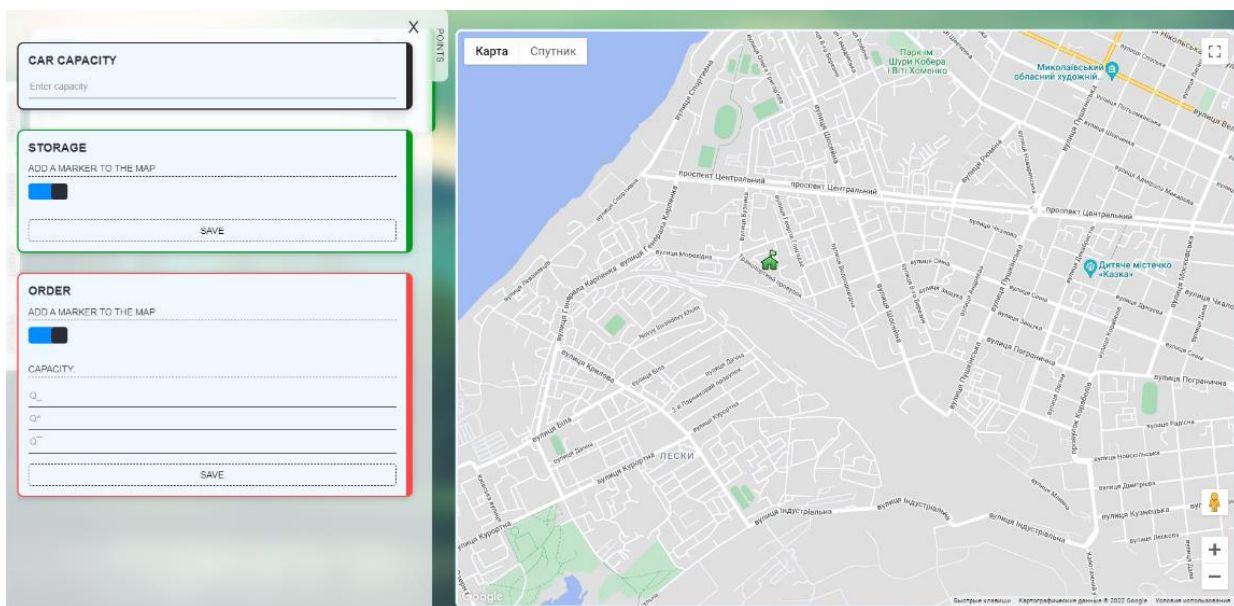


Рис. 5.9. Результат додавання складу

Якщо checkbox неактивний у поле Add marker by address можливо ввести необхідну адресу, далі додати склад. Результат зображено на рисунку 5.10.

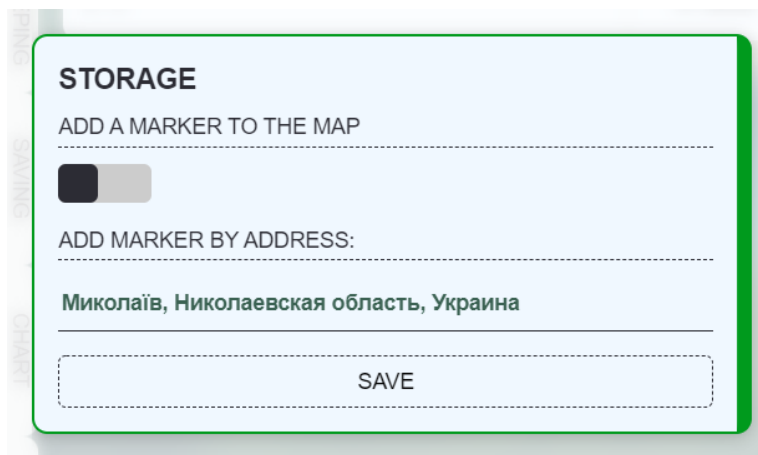


Рис. 5.10. Додавання складу шляхом введення адреси

Форма Order містить checkbox для вибору способу введення даних аналогічно до форми Storage. В даній формі потрібно обрати місцезнаходження замовників, та заповнити об'єм замовлень у вигляді нечіткого числа.

Форма наведена на рисунку 5.11

Рис. 5.11. Форма Storage

Після того, як будуть додані замовлення та склад, їм будуть присвоєні ідентифікатори, та вони будуть виведені на карті та в вигляді карток на головній сторінці. Результат наведено на рисунку 5.12.

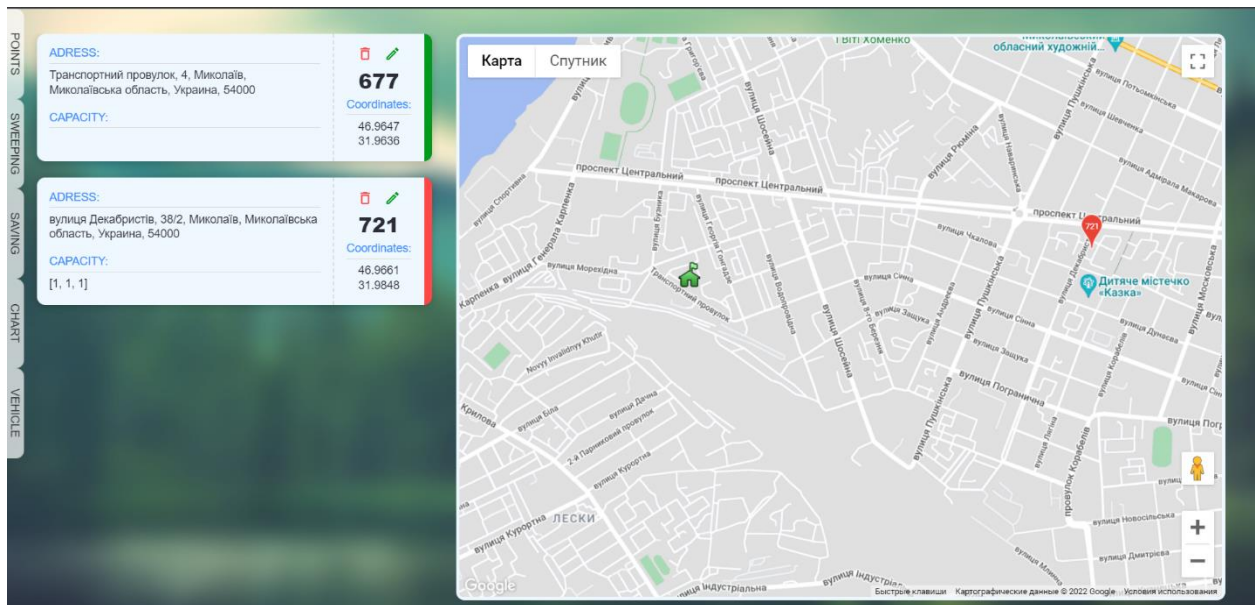


Рис. 5.12. Виведення замовлень та складу

В картках виводиться наступна інформація: id, адреса, об'єм замовлення, координати. Також наявна можливість редагування та видалення

замовлення. Червоним кольором позначені картки замовлень, зеленим – картка складу. Приклад картки наведено на рисунку 5.13.

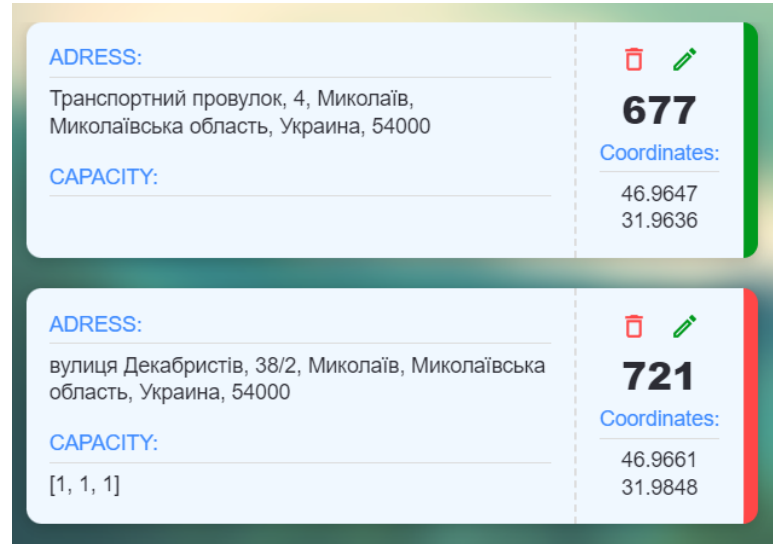


Рис. 5.13. Виведення замовлень та складу

Меню Saving та Sweeping містять наступні елементи керування: кнопки calculate routes, output hamiltonian cycle, output chart routes.

Кнопка calculate routes виконує розрахунок та виведення маршрутів з наступними параметрами номер маршруту, послідовність обходу вузлів, об'єм замовлень, довжина маршруту, візуалізація маршруту на карті. Результат наведено на рисунках 5.14 – 5.15.

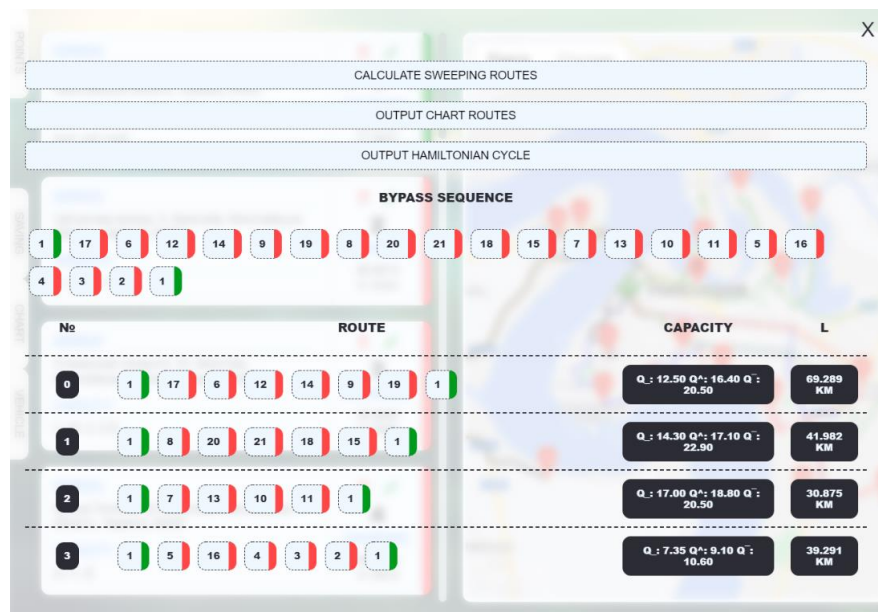


Рис. 5.14. Виведення маршрутів

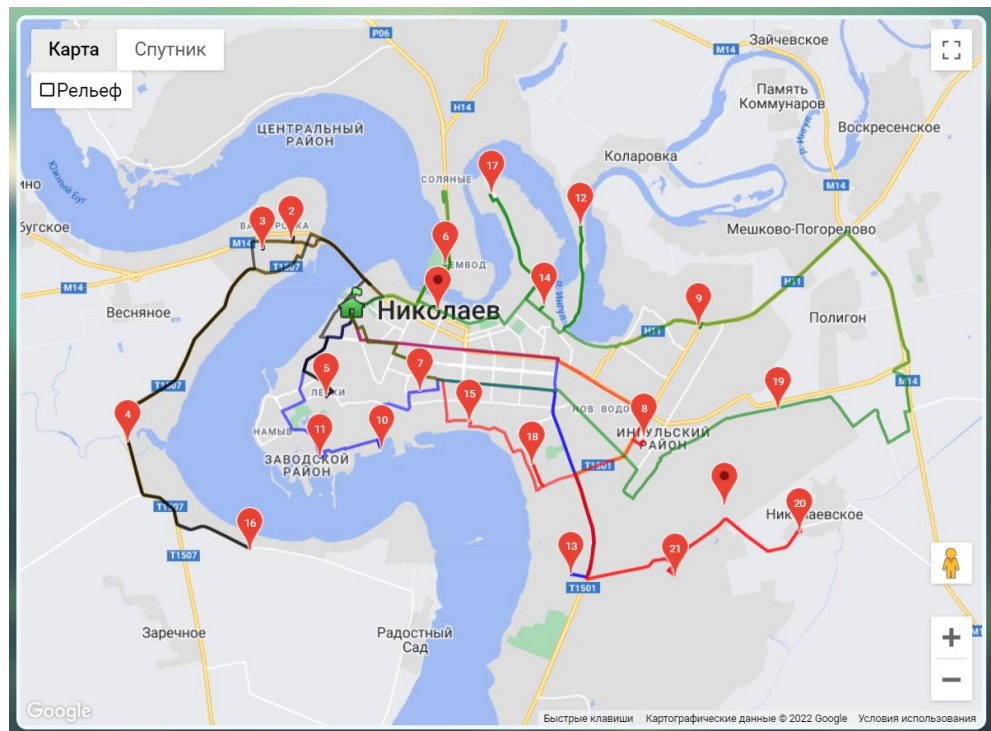


Рис. 5.15. Візуалізація маршрутів

Кнопка Output hamiltonian cycle виконує виведення Гамільтонового циклу. Результат наведено на рисунку 5.16.

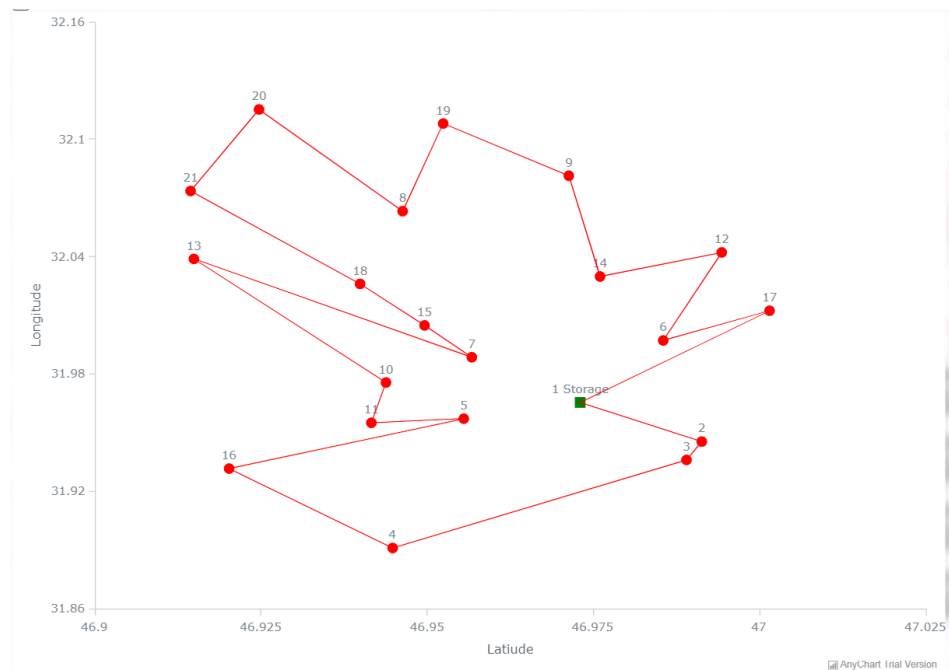


Рис. 5.16. Візуалізація Гамільтонового циклу

Кнопка Output chart routes виконує виведення маршрутів у вигляді графіку. Результат наведено на рисунку 5.17.

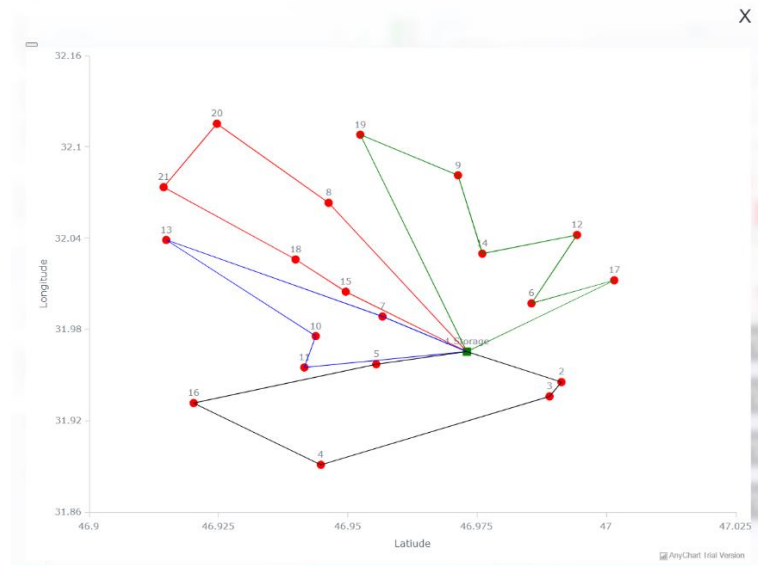


Рис. 5.17. Візуалізація маршрутів у вигляді графіку

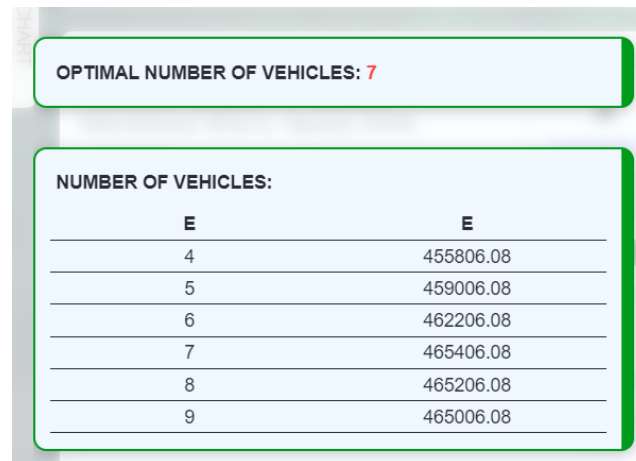
Меню Points – містить інтерфейс для введення критеріїв, які впливають на розрахунок оптимальної кількості транспортних засобів та відносного прибутку.

На рисунку 5.18 наведено форму.

EXTERNAL STATES	
C0 PROFITABLE VALUE OF 1 TON OF CARGO KM:	Profitable value of 1 ton of cargo
C1 COST OF TRANSPORTATION PER 1 KM:	Cost of transportation per 1 km
C2 COST OF OPERATING COSTS:	Cost of operating costs
C3 COST OF RENTING ONE AUXILIARY VEHICLE:	Cost of renting one auxiliary vehicle
C4 COST OF DOWNTIME FOR ONE VEHICLE:	Cost of downtime for one vehicle
<input type="button" value="CALCULATE SWEEPING"/>	
<input type="button" value="CALCULATE SAVING"/>	

Рис. 5.18. Форма для введення критеріїв

Результат розрахунку на рисунку 5.19.



The screenshot displays a software interface with two main components. At the top, a light blue box with a green border contains the text "OPTIMAL NUMBER OF VEHICLES: 7". Below this, a larger light blue box with a green border contains a table titled "NUMBER OF VEHICLES:". The table has two columns, both labeled "E", and six rows of data.

E	E
4	455806.08
5	459006.08
6	462206.08
7	465406.08
8	465206.08
9	465006.08

Рис. 5.19. Результат розрахунку оптимальної кількості транспорту

Висновок до розділу 5

У результаті написання п'ятого розділу було зроблено опис файлової структури серверної та клієнтської сторони Web-застосунка.

Крім того розроблено керівництво користувача, що включає опис роботи адміністратора транспортно-логістичної компанії з детальною інструкцією дій роботи з Web-застосунком.

ВИСНОВКИ

Транспортна логістика є одним із важливих складників розвитку економіки, виступає головною базою збільшення ефективності сфер обігу та виробництва та являє собою систему з організації доставки.

В ході дослідження було виявлено:

1. Низький рівень цифровізації та автоматизації транспортної галузі і сама сфера вантажоперевезень потребує створення цифрових продуктів для учасників вантажообігу.

2. Недостатньо розроблені алгоритми та математичні моделі транспортної логістики в умовах невизначеності.

В ході розробки web-застосунку планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності було:

1. Вивчено основні проблеми та визначено, що особливої уваги заслуговує автоматична розробка програми планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності.

2. Досліджено сучасні методи та алгоритми щодо планування транспортних маршрутів для задач CVRP в умовах невизначеності: Saving алгоритм; Sweeping алгоритм; Алгоритм Fuzzy Approach Based on Evaluation of Satisfaction Value; Алгоритм з пошуку оптимальної кількості транспортних засобів.

3. Створено функціональну модель web-застосунку з планування транспортних маршрутів в умовах невизначеності.

4. Здійснено розробку та програмну реалізацію інформаційної системи, яка забезпечує: розрахунок маршрутів та їх довжини, послідовність обходу вузлів, об'єми замовлень; виконання графічної візуалізації маршрутів з використанням графіків та Google maps; визначення відносного прибутку на основі критеріїв, визначення оптимальної кількості транспортних засобів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию - TD/B/68/2, 12 September 2018. Режим доступа: https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d17_ru.pdf (дата звернення: 15.11.2021)
2. Kondratenko, Y., Kondratenko, V.: Soft computing algorithm for arithmetic multiplication offuzzy sets based on universal analytic models. In: Ermolayev, V., et al. (eds.) Information andCommunication Technologies in Education, Research, and Industrial Application. Communications in Computer and Information Science, vol. 469, ICTERI'2014, pp. 49–77. SpringerInternational Publishing, Switzerland (2014)
3. Шрамко Я. И., Гуржий Н. Н. Перспективы создания транспортно-логистической инфраструктуры в Украине с использованием мирового опыта- Запорожский Национальный Университет 69600, Украина. г. Запорожье, ул. Жуковского, 66 Факультет менеджмента. Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-sozdaniya-transportno-logisticheskoy-infrastruktury-v-ukraine-s-ispolzovaniem-mirovogo-opyta/viewer>(дата звернення: 06.12.2021)
4. Масенко Т.Е., Шевченко С.Г. Проблемы управления транспортно-логистическими системами Украины и перспективы развития в контексте европейской интеграции // Вестник НЛТУУ. - 2007. - № 17.2. -С 301-305.
5. Каличева Н.Є. Роль транспорту у забезпеченні ефективності функціонування маркетингово-товарно-логістичної схеми підприємства. Вісник економіки транспорту і промисловості. 2016. Вип. 56. С. 93–96
6. Розпорядження КМУ «Про схвалення Національної транспортної стратегії України на період до 2030 року» від 30.05.2018р №430-р

7. Омельченко Т.Ю. Проблемы логистики и пути их решения в Украине - Вісник економіки транспорту і промисловості, 2011. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/problemy-logistiki-i-puti-ih-resheniya-v-ukraine> (дата звернення: 13.12.2021)
8. Euerologistika – drogadusukcesufirmi. Wyd. AE. Poznan, 2001. – p. 63
9. Тридід О.М. Логістика: навч. посіб. К.: Знання, 2008. 566 с.
10. Werners B., Kondratenko Y. Alternative Fuzzy Approaches for Efficiently Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem in Conditions of Uncertain Demands. - Springer International Publishing AG 2018.
11. Пожидаев М. С., Костюк Ю. Л. Сбалансированная эвристика для решения задач маршрутизации транспорта с учетом грузоподъемности. Вестник ТГУ. УВТиИ. 2010. № 3. С. 65-72.
12. Література: Toth P., Vigo D. Branch-and-bound algorithms for the capacitated VRP. / Toth P., Vigo, D. (Eds.) The Vehicle Routing Problem. SIAM Monographs on Discrete Mathematics and Applications // SIAM: Philadelphia. – 2002. – P. 29 – 51.
13. Lysgaard J., Letchford A.N., Eglese R.W. A New Branch-and-cut Algorithm for Capacitated Vehicle Routing Problems // Math. Program., Springer Berlin/Heidelberg. – 2004. – N 2(100). – P. 423 – 445.
14. Гуляницкий Л.Ф., Самусь А.В. Решение N-методом задачи оптимизации маршрутов транспортных средств с временными окнами // Компьютерная математика. – 2012. – № 2. – С. 147 – 155.
15. Cordeau J.-F., Laporte G., Mercier A. A unified tabu search heuristic for vehicle routing problems with time windows // Journal of the Operational Research Society. – 2001. – N 8(52). – P. 928 – 936.
16. Atanassov, K.: Intuitionistic fuzzy sets. International Journal Bioautomation 20(S1), S1–S6 (2016)

17. V. P. Singh, Kirti Sharma, Debjani Chakraborty. Solving Capacitated Vehicle Routing Problem with Demands as Fuzzy Random Variable.
18. От двери до двери - без проблем и лишних затрат: новая инициатива УСПП // Транспорт и логистика. - 2006. - № 6.
19. Cormen, T.H., Leiserson, C.E., Rivest, R.L., Stein, C.: Introduction to algorithms. MIT press (2009)
20. Kondratenko, Y., Kondratenko, V.: Soft computing algorithm for arithmetic multiplication of fuzzy sets based on universal analytic models. In: Ermolayev, V., et al. (eds.) Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Application. Communications in Computer and Information Science, vol. 469, ICTERI'2014, pp. 49–77. Springer International Publishing, Switzerland (2014)
21. Kondratenko, Y., Kondratenko, V.: Soft computing algorithm for arithmetic multiplication of fuzzy sets based on universal analytic models. In: Ermolayev, V., et al. (eds.) Information and Communication Technologies in Education, Research, and Industrial Application. Communications in Computer and Information Science, vol. 469, ICTERI'2014, pp. 49–77. Springer International Publishing, Switzerland (2014)
22. Oyola, J.: The capacitated vehicle routing problem with soft time windows and stochastic travel times. Revista Facultad de Ingeniería, 2019
23. P. Toth. and D. Vigo. The Vehicle Routing Problem, eds., SIAM, Philadelphia, 2002
24. Singh, S.K., Yadav, S.P.: Intuitionistic fuzzy multi-objective linear programming problem with various membership functions. Annals of Operations Research 269(1-2),(2018)
25. Toth, P., Vigo, D.: The vehicle routing problem. SIAM (2002)

26. V. P. Singh, Kirti Sharma, Debjani Chakraborty. Solving Capacitated Vehicle Routing Problem with Demands as Fuzzy Random Variable.

27. Баланов в. О. Розвиток контрейлерних перевезень в Україні та досвід перевезень в європейських країнах - 2018. Режим доступу: <https://cyberleninka.ru/article/n/rozvitok-kontreylernih-perevezen-v-ukrayini-ta-dosvid-perevezen-v-evropeyskih-krayinah/viewer> (дата звернення: 03.01.2022)

28. Кондратенко Ю.П. Оптимізація процесів прийняття рішень в умовах невизначеності. Навчальний посібник. – Миколаїв: МДГУ ім. Петра Могили, 2006.

29. Конференция Организации Объединенных Наций по торговле и развитию - TD/B/68/2, 12 September 2018. Режим доступу: https://unctad.org/system/files/official-document/cimem7d17_ru.pdf (дата звернення: 05.01.2022)

30. Постанова МОЗ України N 42. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень [Чинна від 1999-12-06]. Київ, 1999. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> (дата звернення: 17.11.2021)

31. Довідник спеціаліста з питань гігієни праці та профілактики професійних захворювань. Зб. нормат. – прав. док/ Упоряд.: В.В.Піддубний, О.І.Стовбун. –К.:Логос, 2007. – 528 с.

32. Наказ Міністерства надзвичайних ситуацій України № 67 від 25.01.2012 «Про затвердження Загальних вимог стосовно забезпечення роботодавцями охорони праці працівників» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0226-12> (дата звернення: 17.11.2021).

33. Буряк Т.Ю., Карпінський Б.А., Григор'єва М.І. Економіка праці й соціально – економічні відносини: Навчальний посібник. – Київ: Центр навчальної літератури, 2004. – 440 с.

34. Наказу Міністерства соціальної політики України № 207 від 14.02.2018 «Про затвердження Вимог щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> (дата звернення: 18.11.2021).

35. ДСанПІН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. №7 від 10.12.98 <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> (дата звернення: 18.11.2021).

36. ДБН В.2.5-28-2006. Природне і штучне освітлення. Мінрегіонбуд України 2008.

37. Практикум із охорони праці. Навчальний посібник / В.Ц. Жидецький, В.С. Джигирей, В.М. Сторожук та ін.; за ред. В.Ц. Жидецького. – Львів: Афіша, 2000. – 350 с.

38. Кодекс цивільного захисту України від 2 жовтня 2012 року № 5403-VI.

39. Порядок проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій: постанова Кабінету Міністрів України від 30 жовтня 2013 року № 841.

40. Положення про організацію оповіщення про загрозу виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій та зв'язку у сфері ЦЗ: постанова Кабінету Міністрів України від 27 вересня 2017 року № 733

41. Порядок здійснення навчання населення діям у надзвичайних ситуаціях: постанова Кабінету Міністрів України від 26 червня 2013 року № 444.