Національний авіаційний університет
Міністерство освіти і науки України

Національний авіаційний університет
Міністерство освіти і науки України

Кваліфікаційна наукова
праця на правах рукопису

КОНРАД ТЕТЯНА ІГОРІВНА

УДК 004.415.2

ДИСЕРТАЦІЯ
МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ДЛЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем

Подається на здобуття ступеня наукового ступеня кандидата технічних наук

Дисертація містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

_____Т.І. Конрад

Науковий керівник:
лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор,
ПИСАРЧУК Олексій Олександрович

Київ – 2021

АНОТАЦІЯ

Конрад Т.І. Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем. – Національний авіаційний університет, Міністерство освіти і науки України, Київ, 2021.

Уперше розроблено інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на методах евристичного аналізу предметної галузі і відрізняється формалізацією задачі визначення оптимального маршруту у багатокритеріальній формі ієрархії вкладених груп критеріїв, що забезпечує підвищення адекватності математичних моделей розв'язку оптимізаційних задач транспортного типу.

Удосконалено математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується і відрізняється багатокритеріальним вибором оптимального маршруту на графах з використанням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів, що забезпечує підвищення ефективності управління транспортними потоками за компромісним відношенням вектору показників ефективності до вартості.

Удосконалено архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на використанні в

розрахунковому блоці структурних елементів, що забезпечують отримання обумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, як результат синергетичного об'єднання розробленої інфологічної моделі факторів та показників і удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків. Архітектура програмної системи відрізняється удосконаленням структури розрахункового блоку завдяки формалізації транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур. Застосування удосконаленої архітектури дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень.

Ключові слова: мультимодальне перевезення, оптимальність, багатокритеріальна оптимізація, фактор, критерій, архітектура, система підтримки прийняття рішень.

АННОТАЦИЯ

Конрад Т.И. Математическая модель многокритериального распределения транспортных потоков для автоматизированных систем мультимодальных транспортных сетей. – Квалификационный научный труд на правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.03 – математическое и программное обеспечение вычислительных машин и систем. Национальный авиационный университет, Министерство образования и науки Украины, Киев, 2021.

Впервые разработана инфологическая модель факторов, показателей и критериев оптимальности маршрута перевозки грузов в мультимодальных транспортных сетях, которая базируется на методах эвристического анализа предметной области и отличается формализацией задачи определения оптимального маршрута в многокритериальной форме иерархии вложенных групп критериев, что обеспечивает повышение адекватности математических моделей решения оптимизационных задач транспортного типа.

Усовершенствована математическая модель многокритериального распределения транспортных потоков в мультимодальных транспортных сетях, которая базируется и отличается многокритериальным выбором оптимального маршрута на графах с использованием вложенных сверток по нелинейной схеме компромиссов, что обеспечивает повышение эффективности управления транспортными потоками по компромиссному отношением вектора показателей эффективности к стоимости.

Усовершенствована архитектура программной системы поддержки принятия решений многокритериального распределения транспортных потоков в мультимодальных транспортных сетях, основанная на использовании в расчетном блоке структурных элементов, обеспечивающих получение обусловленных решений про оптимальный маршрут перевозок, как результат синергетического объединения разработанной инфологической модели факторов и показателей и усовершенствованной математической модели оптимального распределения транспортных потоков. Архитектура программной системы отличается усовершенствованием структуры расчетного блока благодаря формализации транспортной задачи в многокритериальной форме и выбором оптимального маршрута по интегрированному показателю эффективности графов структур. Применение

усовершенствованной архитектуры позволяет повысить эффективность управления транспортными потоками по показателям оперативности и достоверности исходных решений.

Ключевые слова: мультимнодальне перевозки, оптимальность, многокритериальная оптимизация, фактор, критерий, архитектура, система поддержки принятия решений.

ABSTRACT

Konrad T.I. Mathematical model of multicriteria distribution of transport flows for automated systems of multimodal transport networks. – Manuscript.

Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences, Speciality 01.05.03 – Mathematics and Software for Computing Machines and Systems. – National Aviation University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kyiv, 2021

For the first time, an infological model of factors, indicators, and criteria of optimal route of cargo transportation in multimodal transport networks was developed, which is based on methods of a heuristic analysis of the subject area and differs in formalizing the problem of determining the optimal route in a multicriteria hierarchy of nested groups of criteria which improves an increase in the adequacy of mathematical models for solving transport-type optimization problems.

The mathematical model of multicriteria distribution of traffic flows in multimodal transport networks is improved, which is based on and differs in multicriteria choice of the optimal route on graphs using nested convolutions according to the nonlinear scheme of compromises which improves an increase in

the efficiency of traffic flow management by a compromise ratio of the vector of efficiency to cost.

Improved the architecture of the software system for decision support of the multicriteria distribution of traffic flows in multimodal transport networks, which is based on the use in the calculation block of structural elements that provide conditional decisions on the optimal route of transportation as a result of synergistic integration and an improved mathematical model of the optimal distribution of traffic flows. The architecture of the software system differs in the improvement of the structure of the calculation unit due to the formalization of the transport problem in a multicriteria form and the choice of the optimal route for the integrated efficiency of graph structures. The use of advanced architecture allows increasing the efficiency of traffic flow management in terms of efficiency and reliability of the original solutions

Keywords: multimodal transportation, optimality, multicriteria optimization, factor, criterion, architecture, decision support system.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Конрад Т. І. Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Мороз, М. Д. Стукач, А. М. Баланчук // Вісник інженерної академії. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2019. – №1. – С. 148-156.

2. Конрад Т. І. Технологія автоматизов аного управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук // Наукоємні технології. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2020. – №4 (48). – С. 451-459. DOI: 10.18372/2310-5461.48.15128.

3. Конрад Т. І. Аналіз сучасного стану організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. Ч. 2. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. – С. 363-369.

4. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення руху вантажних і пасажирських поїздів в Україні в контексті підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 541-553.

5. Конрад Т. І. Залучення іноземного досвіду розділення руху вантажних і пасажирських поїздів для підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2016. – Вип. 55. – С. 437-441.

Статті у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

6. Конрад Т. І. Методика багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Маранов, В. І. Воробей, М. Я. Коршунов, М. К. Пустовий // Новітні технології: зб. наук. праць. – Київ: Вид-во УНТ, 2018. – Вип. 3 (7). – С. 81-88. DOI: 10.31180/2524-0102/2018.3.07.09. Index Copernicus, Scientific Indexing Services (SIS), e-Library.

7. Конрад Т. І. Аналіз закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 10. – С. 292-297. Science Index, e-Library

8. Конрад Т.І. Аналіз сучасного стану автомобільних і залізничних перевезень швидкопсувних вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13 – С. 212-220. Science Index, e-Library

9. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 15. Ч. 1 – С. 48-56. Science Index, e-Library

Статті опубліковані в інших виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

10. Tetiana Konrad. Mathematical Model of Multicriterial Distribution of Transport Flows in The Multimodal Transport Network. International Journal

“INFORMATION THEORIES & APPLICATIONS” Vol. 26, Number 4, 2019. Printed in Bulgaria., pp. 334 – 358. ISSN 1310-0513 (printed).

11. Pysarchuk Oleksii, Konrad Tetiana. Assessment Of The Reliability Of Multicriterial Choosing The Optimal Route Of Cargo Transportation In The Multimodal Transport Network. POLISH JOURNAL OF SCIENCE №35, Vol. 1., 2021., Printed in Poland, pp. 25– 35. ISSN 3353-2389

Тези наукових конференцій:

12. Конрад Т. І. Підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2011. – С. 173.

13. Конрад Т. І. Технічне забезпечення взаємодії автомобільного і залізничного видів транспорту при перевезеннях вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2012. – С. 197.

14. Конрад Т. І. Мінімізація транспортних витрат на автомобільно-залізничні вантажні перевезення / Т. І. Конрад, С.В. Ширяєва // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2013. – С. 219.

15. Конрад Т. І. Аналіз стану контейнерних перевезень швидкопсувних вантажів в автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції

«Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 14-16 травня 2013 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 31-32.

16. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2014. – С. 205.

17. Конрад Т.І. Аналіз факторів, що впливають на час доставки швидкопсувних вантажів у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Луганськ, 5-8 травня 2014 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 42-43.

18. Конрад Т. І. Застосування закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних контейнерних перевезень до транспортної інфраструктури України / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2015. – С. 242.

19. Конрад Т. І. Дослідження впливу реформування галузі залізничного транспорту України на організацію автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т.І. Конрад // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 18-20 листопада 2015р., Харків /відп. ред. Н. Б. Чернецька-Білецька. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2015. – С. 50-52.

20. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення вантажного і пасажирського руху поїздів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2016. – С. 221.

21. Конрад Т. І. Дослідження архітектури мультимодальних інтелектуальних транспортних інформаційних систем / Т. І. Конрад // Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу: тези Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 24-25 жовтня 2017р., Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2017. – С. 10.

22. Конрад Т. І. Дослідження питання інформаційної безпеки в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (PCSITS): Збірник доповідей та тез І Міжнародної науково-практичної конференції; м. Київ,05-06 квітня 2018 р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка / Редкол.: Оксіюк О. Г. (голова) та ін. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2018. – С. 438-440.

23. Конрад Т. І. Дослідження механізму захисту інформації від вірусів в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Інженерія програмного забезпечення 2018: Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 04 – 08 червня 2018 р.; Національний авіаційний університет / М. М. Гузій, О. В. Чебанюк, Ю. В. Величко, К.: НАУ, 2018. – С. 40-43.

24. Konrad T. Research of Information Security Threats in Multimodal Transport Information Systems: International Conference on Software Engineering, June 03 – 06, 2019. Kyiv, p. 64-65.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ……. 16
ВСТУП…….. 17
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ…… 27
1.1 Мультимодальна транспортна мережа. Методи організації мультимодальних перевезень……. 27
1.1.1 Поняття мультимодальної транспортної мережі……... 27
1.1.2 Процеси та форми взаємодії видів транспорту в мультимодальній транспортній мережі…….. 30
1.1.3 Методи організації мультимодальних перевезень……. 33
1.1.4 Автоматизовані системи управління взаємодійючих видів транспорту……... 35
1.2 Наукові методи та математичні моделі виявлення та прогнозування транспортних потоків……. 40
1.2.1 Наукові методи аналізу транспортних потоків…….. 40
1.2.2 Особливості транспортного потоку як об’єкта моделювання…….. 44
1.2.3 Математичні моделі транспортних потоків…… 45
1.3 Математичні методи розвязку оптимізаційних задач……... 47
1.3.1 Однокритеріальні методи вирішення транспортних (розподільчих) задач …… 47
1.3.2 Методи багатокритеріальної оптимізації……..... 55
1.4 Постановка задач дослідження……... 59
Висновки до роділу 1……... 61

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ…….. 63

2.1 Обґрунтування доцільності розподілу транспортних потоків.. 63

2.2 Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах…… 65

2.2.1 Обґрунтування показників оптимальності маршруту перевезень…… 65

2.2.2 Розрахунок частинних критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів ……..... 74

2.3 Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків…… 82

2.3.1 Теоретичні основи побудови графу мультимодальної транспортної мережі ……..... 82

2.3.2 Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту……. 84

2.3.3 Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту…….. 92

Висновки до розділу 2…….. 93

РОЗДІЛ 3. АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ …… 94

1.1 Призначення та вимоги до СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків…… 94

1.2 Проектування архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків……... 97

1.3 Розрахунковий приклад вибору оптимального маршруту на графі мультимодальної транспортної мережі…….. 113
1.3.1 Побудова графу мультимодальної транспортної мережі……. 113
1.3.2 Розрахунок показників оптимальності альтернативних маршрутів…… 117
1.3.3 Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту…… 127
1.3.4 Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту……. 132
Висновки до розділу 3…….. 135
ВИСНОВКИ ……..... 137
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ……..….. 140
Додаток А. Список публікацій здобувача за темою дисертації……..... 155
Додаток Б. Відомості про апробацію результатів дослідження…….. 160
Додаток В. Блок-схема алгоритму функціонування СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків…….. 163
Додаток Г. Вантажні залізничні коридори RFCs країн ЄС…….. 165
Додаток Д. Характеристика ребер графа транспортної мережі……..... 166
Додаток Е. Альтернативні маршрути перевезень вантажів……. 167
Додаток Ж. Схеми конфігурацій альтернативних маршрутів……. 168
Додаток К. Розрахунок показника обсягу перевезень вантажу……..... 171
Додаток Л. Розрахунок показника вантажообігу ……. 177
Додаток М. Розрахунок показника пасажирообігу…….. 181
Додаток Н. Розрахунок показника середньої відстані перевезення вантажу…….. 185
Додаток П. Розрахунок показника середньої відстані перевезення одного пасажира……... 186

Додаток Р. Розрахунок показника приведеної вантажонапруженості…….. 187
Додаток С. Розрахунок показника собівартості вантажних перевезень…….. 190
Додаток Т. Розрахунок показника собівартості пасажирських перевезень…….. 191
Додаток У. Розрахунок показника плати за перевезення вантажів…..... 197
Додаток Ф. Розрахункові значення показників вершин та ребер графу транспортної мережі……. 198
Додаток Х. Узагальнена таблиця показників маршрутів……. 213
Додаток Ц. Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів М1-М14……... 227
Додаток Ш. Розрахунок узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М1-М14…….. 229
Додаток Щ. Критерії маршрутів нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень маршруту M_A..... 231

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСУ – автоматизована система управління;

АСК – автоматизована система керування;

ПП – пасажирські перевезення;

ВП – вантажні перевезення;

АС – автоматизована система;

АТП – автотранспортне підприємство;

ДР – дорожній рух;

СКБД – система керування базою даних;

ПЗ – програмне забезпечення;

АРМ – автоматизоване робоче місце;

ІТС – інтелектуальні транспортні системи;

ПРРС – пост регулювання руху суден;

ІС – інформаційна система;

ЛКМ – локальна комп'ютерна мережа;

ПР – повітряний рух;

УПР – управління повітряним рухом;

ОПР – особа що приймає рішення;

RFCs – мережа залізничних вантажних коридорів ЄС (Rail Freight Corridors);

СЗВП – системи залізничних вантажних перевезень;

СППР – спеціалізована програма підтримки прийняття рішень;

БД – база даних;

БЗ – база знань;

ОА – обчислювальний алгоритм;

СОІ – система обміну інформацією.

ВСТУП

Обґрунтування актуальності теми дослідження. Інтенсивне зростання попиту на вантажні перевезення «від дверей до дверей» обумовлює необхідність залучення до перевізного процесу двох та більше видів транспорту. За такої ситуації, різні види транспорту транспорту можуть розглядатись вантажовідправниками як альтернативні способи доставки, проте, у використанні кожного з видів транспорту існують певні ресурсні обмеження, що унеможливлюють здійснення перевезення від відправника до одержувача лише одним видом транспорту. За таких умов, доцільним є мультимодальне перевезення, що дає можливість максимально поєднати переваги взаємодіючих видів транспорту на окремих етапах перевізного процесу.

На більшості транспортних шляхів, зокрема залізничних коліях, автомагістралях, злітних смугах спостерігається спільне використання шляхів сполучення пасажирським та вантажним рухомим складом. Враховуючи те, що консолідовані вантажі, які прибувають у морські (річкові) та аеропорти потребують розконцентрації та доставки до кінцевого споживача наземними видами транспорту, виникає додаткове навантаження на транспортну мережу. Саме тому, неминучим є ускладнення руху транспортних засобів, відхилення від графіку (розкладу) доставки, збільшення часу та вартості перевезення як у пасажирському, так і вантажному сегменті. Під час мультимодального перевезення у внутрішньому та міжнародному сполученні, затримки та простої рухомого складу одного з взаємодіючих видів транспорту, спричинюють подальші складнощі з перевалкою та доставкою вантажу на взаємодіючому виді транспорту. Тому, для ефективної організації та управління транспортними потоками в мультимодальних транспортних

мережах важливим є визначення оптимального маршруту перевезення вантажів.

Обмеженість ресурсів окремих видів транспорту (шляхи сполучення, пункти взаємодії видів транспорту з можливістю пропуску певної кількості одиниць рухомого складу за одиницю часу) в поєднанні з вимогами відносно безпеки (координації рухомого складу), оперативності (реагування на детерміновані та стохастичні зміни в системі), точності (дотримання режимності роботи, часових інтервалів, графіків, розкладів руху) та достовірності (визначення маршруту), що пред'являються до перевізного процесу ускладнюють вибір оптимального маршруту мультимодального перевезення, що здійснюється диспетчером (особою що приймає остаточне рішення) за допомого автоматизованих систем управління перевезеннями.

Вибір диспетчером оптимального маршруту доставки з урахуванням наявних факторів, вимог та обмежень, здійснюється шляхом обробки вхідної інформації в автоматизованих системах управління перевезеннями. Забезпечення високої ефективності перевезень за якісними характеристиками вихідної інформації зазначених автоматизованих систем щодо визначення оптимального маршруту, можливо досягати шляхом удосконалення їх математичного та інформаційного забезпечення. Виходячи з вище викладеного на сучасному етапі функціонування транспортної галузі України для розподілу обмежених ресурсів та визначення оптимального маршруту доставки вантажів вирішення потребує актуальне наукове завдання удосконалення архітектури систем підтримки прийняття рішень з автоматизованого розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах. З огляду на це, побудова математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж спрямованої на розвиток основ побудови архітектури програмного забезпечення автоматизованих систем є

важливою науково-прикладною задачею, що дозволяє підвищити ефективність автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальних транспортних мережах.

Огляд літературних джерел. Дослідженню проблем і перспектив розвитку транспортних галузей взаємодіючих видів транспорту присвячено праці вітчизняних вчених: Стасюка О. М, що досліджує ринок вантажних та пасажирських перевезень в Україні [1]; Петренко О. І., Малахівської Г. В., Кірюхіної О. Ю., які досліджують стратегічні перспективи розвитку морських вантажних перевезень, ринку авіаційних, автомобільних та залізничних перевезень [2-4]; Березового М. І., Брайковської А. М., Підлісного І. П., Горяінова Н. А., дослідження впровадження контрейлерних та контейнерних перевезень вантажів та розвитку транспортних мереж [5-8]; Кадали В. В., який дає правовий аналіз поняттям та «цифровізації» послуг в галузі транспорту [9, 10]. Підвищенню ефективності організації вантажних перевезень за участі різних видів транспорту присвячено праці вчених: Кузнецова М. М., Сівченко І. В., Кухарчика О. Г. [11-12]. Дослідженню процесів та форм взаємодії видів транспорту, організації, управління перевезеннями та експлуатаційною роботою видів транспорту, модальності роботи видів транспорту присвячено праці Воркута А. І., Абрамова А. А., Правдіна М. В., Негрей В. Я, Подкопаєва В. Л., Галабурди В. Г., Тихомирова І. Г., Персіанова В. А, Жана-Поля Родріго [13-21]. Дослідження графіків руху, методології формування раціональних схем перевезень наведено в працях Каретникова А. Д., Логвінової Н. О. [22-23]. Аналіз праць показав, що зазначені підходи застосовують для підвищення ефективності організації перевізного процесу на окремих видах транспорту, що не забезпечує вирішення комплексної задачі розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

Дослідженню інформаційної взаємодії видів транспорту присвячено праці вчених: Волкової Т. В., Гайкова А. Р, Євсєєвої О. П., Баранова О. В., Баранова В. Ю., що досліджують інтелектуальні транспортні системи [24-25]. Дослідженню та проектуванню архітектури інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень присвячено праці Субача І. Ю, Микитюка А. В., Кубрака В. О., Герасимова Б. М., Дивизинюка М. М., Пушкар О. І., Нестеренко О. В., Савенко О. І., Фаловського О.О. [26-29]; дослідженню автоматизованих систем управління на транспорті наведене в працях Забари С. С., Дехтярук М. Т., Каменєва О. Ю. [30-31]. Аналіз наявних праць показав, що досі відкритим та актуальним залишається питання розробки архітектури систем підтримки прийняття рішень з автоматизованого розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

Аналіз існуючих традиційних підходів, що використовуються для вирішення задачі пошуку оптимального маршруту перевезень, показав переважне застосування однокритеріальних моделей. Питанням формалізації оптимізаційних задач за допомогою багатокритеріальних моделей присвячено праці вчених Цвіркуна А. Д., Зіатдінова Ю. К., Баранова Г. Л., Брахмана Т. Р., Бусленка М. П., Вороніна А. М., Вермішева Ю. Х., Антушева Г. С. [32-41]. Методи розв’язку багатокритеріальних задач розглянуті в працях Анкудінова Г. І., Писарчука О. О., Даника Ю. Г., Шестакова В. І., Харченко В. П., Кіні Р. Л., Райфи Х. [42-45].

Оскільки традиційна формалізація оптимізаційної задачі в однокритеріальній формі не забезпечує вирішення комплексної задачі розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, доцільним є розробка архітектури програмної системи підтримки прийняття рішень з автоматизованого розподілу транспортних потоків з формалізацією задачі вибору оптимального маршруту в багатокритеріальній формі.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основні дослідження за темою дисертації було виконано на кафедрі інженерії програмного забезпечення факультету кібербезпеки, комп’ютерної та програмної інженерії Національного авіаційного університету в рамках фундаментальних тем НДР № 29/09.01.02 «Онтології у інженерії програмного забезпечення»; № 58/09.01.02 «Методологія підвищення ефективності процесів життєвого циклу розробки програмного забезпечення у гнучких підходах його розробки»; «Експертна система ситуаційного синтезу програми технічного обслуговування регіональних транспортних літаків типу АН-32 на базі оптимізаційних нейронних мереж» (шифр «CALS-авіоніка»).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є підвищення ефективності автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальних транспортних мережах. Відповідно до сформульованої мети визначено основні завдання дослідження:

1. Провести аналіз принципів побудови та особливостей функціонування мультимодальної транспортної мережі з виявленням напрямків транспортних потоків з інтенсивним використанням шляхів спільного користування.

2. Провести аналіз існуючих методологічних підходів до розподілу транспортних потоків.

3. Обґрунтувати показники та критерії оптимальності маршруту перевезення вантажів. Побудувати інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах.

4. Розробити математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

5. Розробити архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

6. Провести оцінювання ефективності та адекватності розроблених підходів.

Об'єктом дослідження є процес оптимального планування розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

Предметом дослідження є архітектура системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу обмежених ресурсів.

Методи дослідження, проведені в дисертаційній роботі, ґрунтуються на використанні відомих методів: *теорії імовірності* – для аналізу принципів формування та розподілу транспортних потоків; *системного аналізу* – для вирішення транспортних (розподільчих) задач; *методи математичного моделювання та математичної логіки* – для побудови інфологічної моделі факторів, показників і критеріїв оптимальності маршруту перевезення; методики багатокритеріального розподілу обмежених ресурсів; методики багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення; *теорії графів* – для побудови маршрутів перевезення; *синтезу* – для побудови математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Наукова новизна одержаних результатів полягає у наступному:

1. *Уперше розроблено* інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на методах евристичного аналізу предметної галузі і відрізняється формалізацією задачі визначення оптимального маршруту у багатокритеріальній формі ієрархії вкладених груп критеріїв, що забезпечує підвищення адекватності математичних моделей розв’язку оптимізаційних задач транспортного типу.

2. *Удосконалено* математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується і відрізняється багатокритеріальним вибором оптимального маршруту на графах з використанням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів, що забезпечує підвищення ефективності управління транспортними потоками за компромісним відношенням вектору показників ефективності до вартості.

3. *Удосконалено* архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на використанні в розрахунковому блоці структурних елементів, що забезпечують отримання обумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, як результат синергетичного об'єднання розробленої інфологічної моделі факторів та показників і удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків. Архітектура програмної системи відрізняється удосконаленням структури розрахункового блоку завдяки формалізації транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур. Застосування удосконаленої архітектури дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень.

Обґрунтованість і вірогідність отриманих у роботі наукових результатів, висновків і рекомендацій підтверджується результатами; коректним використанням методів системного аналізу, теорії графів на етапах моделювання, обробки експериментальних даних та аналізу результатів досліджень, а також залученням широкої наукової громадськості до апробації результатів роботи на наукових конференціях і їх публікації у визнаних наукових фахових виданнях.

Практичне значення одержаних результатів

Розроблена архітектура програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах може бути використана для підтримки прийняття рішення про вибір оптимального маршруту перевезення вантажу диспетчером автоматизованої системи управління рухом на транспорті.

Отримані результати впроваджено на кафедрі інженерії програмного забезпечення факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії Національного авіаційного університету у навчальний процес при проведенні лабораторних робіт згідно з програмою навчальних дисциплін «Основи інженерії програмного забезпечення» та «Аналіз вимог і моделювання програмного забезпечення» зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення» та науково-дослідну роботу; у виробничий процес ПрАТ «РАЗНОБИТПРОДУКТ» (акти НАУ від 21.12.2020 та ПрАТ «РАЗНОБИТПРОДУКТ» від 16.11.2020).

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертації одержані автором самостійно.

У дисертаційній роботі автором особисто розроблена інфологічна модель факторів, показників і критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах; математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах; архітектура програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

Роботи [9, 10, 15, 17, 19, 21, 22, 23, 24] виконані одноосібно. Деякі роботи виконані у співавторстві з науковим керівником та іншими вченими. Зокрема, здобувачу належать: у роботі [1] – інфологічна модель факторів,

показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів; у роботі [2] – технологія автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі; у роботі [3, 7, 12, 13, 14] – аналіз особливостей взаємодії автомобільного та залізничного видів транспорту під час перевезення вантажів; у роботах [4, 5, 20] – аналіз та обґрунтування основних факторів впливу та причин доцільності розділення руху транспортних потоків пасажирського та вантажного рухомого складу на шляхах спільного користування з інтенсивним рухом транспортних засобів; у роботі [6] – методика багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі; у роботі [8] – аналіз стану автомобільних і залізничних перевезень швидкопсувних вантажів; у роботі [11] – оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту перевезення в мультимодальній транспортній мережі; у роботі [16, 18] – дослідження показника часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні.

Апробація результатів дисертаційної роботи.

Основні результати дослідження доповідалися на наступних наукових конференціях: LXVII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ, 2011р; LXVIII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ, 2012р.; LXIX науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ, 2013р.; IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 14-16 травня 2013р.; LXX науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ, 2014р.; V Міжнародній

науково-практичній конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Луганськ, 5-8 травня 2014р.; LXXI науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету, м. Київ, 2015р.; Науково-практичній конференції «Логістичне управління та безпека руху на транспорті», м. Харків, 18-20 листопада 2015р.; LXXII науковій конференції професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. м. Київ, 2016 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу», м. Київ, 24-25 жовтня 2017р.; І Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (PCSITS)», м. Київ, 05-06 квітня 2018 р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Інженерія програмного забезпечення 2018», м. Київ, 04 – 08 червня 2018 р.; International Conference on Software Engineering, June 03 – 06, 2019, Kyiv.

Публікації. За результатами дослідження опубліковано 24 наукових праці: з них 11 статей: 5 у наукових фахових виданнях України; 4 – у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних; 2 – в інших виданнях, що входять до міжнародних наукометричних баз даних, та 13 тез наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 115 найменувань та двадцяти одного додатку. Загальний обсяг дисертації становить 232 сторінки, з яких 139 сторінок основного тексту.

РОЗДІЛ 1
АНАЛІЗ ПРИНЦИПІВ ПОБУДОВИ ТА ОСОБЛИВОСТЕЙ ФУНКЦІОНУВАННЯ МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖ

1.1 Мультимодальна транспортна мережа. Методи організації мультимодальних перевезень

1.1.1 Поняття мультимодальної транспортної мережі

Конвенція Організації Об'єднаних Націй про міжнародні змішані перевезення вантажів [46], що була прийнята на Конференції Організації Об'єднаних Націй з торгівлі та розвитку UNCTAD (United Nation Conference on Trade and Development), 1996р. рекомендує використовувати в значенні мультимодального перевезення наступне визначення:

мультимодальним є перевезення вантажів декількома видами транспорту за умови, що особа, яка організовує перевезення, несе за нього відповідальність на всьому шляху слідування вантажу незалежно від кількості видів транспорту, що приймають участь в перевезенні при оформленні єдиного перевізного документа.

Законопроектом «Про мультимодальні перевезення» №2685 від 27.12.2019 [47] передбачено імплементацію Директиви Ради 92/106/ЄЕС від 07 грудня 1992 року про встановлення спільних правил для окремих видів комбінованих перевезень вантажів між державами-членами (згідно з додатком XXXII до глави 7 «Транспорт» розділу V «Економічне і галузеве співробітництво» Угоди про асоціацію Україна – ЄС). Даним законопроектом пропонується визначення основних принципів державного регулювання мультимодальних перевезень, а також введення в Україні понять мультимодальних перевезень та вживати їх в наступному значенні:

мультимодальне перевезення вантажів – перевезення вантажів двома або більше видами транспорту, яке організовується під відповідальністю оператора мультимодальних перевезень на основі єдиного договору про мультимодальне перевезення;

етап мультимодального перевезення – відрізок маршруту мультимодального перевезення вантажу одним видом транспорту;

маршрут мультимодального перевезення – визначений договором мультимодального перевезення шлях перевезення вантажу;

замовник послуг мультимодальних перевезень – вантажовідправник (фізична або юридична особа), який за договором про мультимодальне перевезення самостійно або через представника, що діє від його імені, доручає оператору мультимодальних перевезень організувати та виконати мультимодальне перевезення вантажу;

оператор мультимодальних перевезень – суб'єкт господарювання, який уклав договір мультимодального перевезення та діє у якості експедитора та перевізника під час його виконання;

документ мультимодального перевезення – наскрізний транспортний документ установленої форми, який підтверджує укладання договору мультимодального перевезення, оформлюється оператором мультимодального перевезення і за яким здійснюється перевезення вантажу на всьому маршруті мультимодального перевезення;

мультимодальний термінал – виробничо-перевантажувальний комплекс суб'єкта господарювання будь-якої форми власності, що забезпечує організацію мультимодальних перевезень вантажів.

Закон України «Про транспорт» [48] визначає складові єдиної транспортної системи. В Законі зазначено, що єдину транспортну систему України становлять: транспорт загального користування (залізничний, морський, річковий, автомобільний і авіаційний, а також міський

електротранспорт, у тому числі метрополітен); промисловий залізничний транспорт; відомчий транспорт; трубопровідний транспорт; шляхи сполучення загального користування.

Під мультимодальною трантспортною мережею слід розуміти пункти взаємодії видів транспорту та шляхи, що їх сполучають. Вимоги, що висуваються до єдиної транспортної системи, а саме: розгалуженість інфраструктури для надання комплексу транспортних послуг зі складування та технологічної підготовки вантажів до транспортування, а також забезпечення зовнішньоекономічних зв'язків України є аналогічними і для мультимодальної транспортної мережі. Взаємодіючими видами транспорту в мультимодальній транспортній мережі є залізничний, автомобільний, водний (морський, річковий) та авіаційний транспорт.

Залізничний транспорт. Закон України «Про залізничний транспорт» [49] дає наступне визначення залізничному транспорту: залізничний транспорт – виробничо-технологічний комплекс підприємств залізничного транспорту, призначений для забезпечення потреб суспільного виробництва і населення країни в перевезеннях у внутрішньому і міжнародному сполученнях та надання інших транспортних послуг усім споживачам без обмежень за ознаками форми власності та видів діяльності тощо. Пунктами взаємодії залізничного транспорту з іншими видами транспорту є залізничні станції, в тому числі вузлові.

Морський транспорт. До складу морського транспорту входять підприємства морського транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів, вантажів, багажу, та інші заклади, що забезпечують роботу морського транспорту. Пунктами взаємодії морського транспорту з іншими видами транспорту є морські порти, в тому числі майданчики, причали, вокзали.

Річковий транспорт. До складу річкового транспорту входять підприємства річкового транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів,

вантажів, багажу, тощо, які забезпечують роботу річкового транспорту. Пунктами взаємодії річкового транспорту з іншими видами транспорту є річкові порти, вокзали.

Автомобільний транспорт. Закон України «Про автомобільний транспорт» [50] дає визначення автомобільному транспорту наступним чином: автомобільний транспорт – галузь транспорту, яка забезпечує задоволення потреб населення та суспільного виробництва у перевезеннях пасажирів та вантажів автомобільними транспортними засобами. Пунктами взаємодії автомобільного транспорту з іншими видами транспорту є підприємства, автовокзали і автостанції.

Авіаційний транспорт. До складу авіаційного транспорту входять підприємства повітряного транспорту, що здійснюють перевезення пасажирів, вантажів, багажу, пошти, аерофотозйомки, а також аеропорти, аеродроми, аероклуби, транспортні засоби, системи управління повітряним рухом, ремонтні заводи цивільної авіації та інші підприємства, установи та організації незалежно від форм власності, що забезпечують роботу авіаційного транспорту. Пунктами взаємодії авіаційного транспорту з іншими видами транспорту є аеропорти, аеродроми.

1.1.2 Процеси та форми взаємодії видів транспорту в мультимодальній транспортній мережі

Процеси взаємодії видів транспорту під час мультимодальних перевезень поділяються на детерміновані, стохастичні та їхні комбінації [15].

Детермінованим є процес, в якому визначальні величини змінюються за певними закономірностями, а результат транспортного процесу є заздалегідь відомим або залежить від дій людини (наприклад, прибуття рухомого складу за графіком руху). Процес, в якому зміни визначальних величин здійснюються випадково, а умови в яких вони протікають можуть містити елемент

невизначеності, називаються стохастичними (наприклад час руху). Також, процеси взаємодії видів транспорту класифіковано за характером просторових зв'язків, тривалістю часових рівнів режимів взаємодії, за рангом взаємодіючих підсистем і за формою взаємодії, табл. 1.1.

Таблиця 1.1

Класифікація процесів та форм взаємодії видів транспорту

<table>
<tr><td colspan="5">За сутністю процесу взаємодії</td></tr>
<tr><td colspan="2">Детерміновані</td><td colspan="2">Стохастичні</td><td>Комбіновані</td></tr>
<tr><td colspan="5">За характером просторових зв'язків</td></tr>
<tr><td colspan="3">Взаємодія транспортних вузлів між собою та іншими елементами єдиної транспортної системи</td><td colspan="2">Взаємодія транспортних вузлів з системами розміщення виробничих потужностей і навколишнім середовищем</td></tr>
<tr><td colspan="5">За тривалістю часових рівнів режимів взаємодії</td></tr>
<tr><td>Довгострокове планування</td><td>Середньостроко ве планування</td><td>Поточне планування</td><td colspan="2">Оперативне планування</td></tr>
<tr><td colspan="5">За рангом взаємодіючих підсистем</td></tr>
<tr><td>нульовий</td><td>Перший</td><td>Другий</td><td colspan="2">Третій</td></tr>
<tr><td>Взаємодія між вхідними транспортними потоками і постійними пристроями транспортного вузла</td><td>Взаємодія між різними видами транспорту в транспортному вузлі (міжвидова взаємодія)</td><td>Взаємодія між основними підсистемами одного виду транспорту (внутрішньовидова взаємодія)</td><td colspan="2">Взаємодія між окремими елементами транспортного вузла</td></tr>
<tr><td colspan="5">За формою взаємодії</td></tr>
<tr><td>Технічна</td><td>Технологічна</td><td>Економічна</td><td>Інформаційна</td><td>Правова</td></tr>
</table>

Технічна форма взаємодії встановлює уніфікацію, стандартизацію та погодження параметрів технічних засобів різних видів транспорту, забезпечуючи прийнятні умови для обробки транспортних потоків. В цьому контексті, контейнер, як одиниця тари, є найбільш розповсюдженим прикладом уніфікованого засобу для зберігання і транспортування вантажів під час мультимодальних перевезень [15, 51].

Технологічна форма взаємодії встановлює єдність технології та стандартизацію технологічних норм, взаємопов'язаних графіків і комплексного планування роботи різних видів транспорту в транспортних вузлах, забезпечуючи оптимальні режими обробки і пропуску транспортних потоків. Технологічна єдність роботи різних видів транспорту в транспортних вузлах досягається завдяки плануванню норм подачі рухомих складів до пунктів взаємодії, календарного планування відвантаження вантажів і наукового обґрунтування системи технологічних резервів [15, 52].

Економічна форма взаємодії встановлює рівень координації і, як правило, визначає кінцевий вибір оптимальних режимів взаємодії. Ця форма в територіальному і часовому відношенні пов'язана із постановкою оптимізаційних задач з вибору варіантів реконструкції і розвитку вузлів на проектному і експлуатаційному рівнях [15, 53].

Інформаційна форма взаємодії встановлює сумісність інформації за формою, змістом, часом, класифікаторам і автоматизованим системам управління (АСУ) в транспортних вузлах. Технологічна координація взаємодії видів транспорту є практично неможливою без інформаційної взаємодії, оскільки швидкість і своєчасність прийняття рішень є надзвичайно важливою для ефективного функціонування всіх рівнів технологічної взаємодії, і своєчасного усунення всіх недоліків [15, 54-57].

Правова форма взаємодії визначає взаємні відносини між різними видами транспорту, а також між транспортними підприємствами і клієнтурою. Всі питання щодо роботи транспортних вузлів, перевезень вантажів, відповідальності та обов'язків сторін регулюються відповідними нормативно-правовими документами [47-50].

В дисертаційному досліджені розглянуто процеси та форми взаємодії видів транспорту під час мультимодального перевезення за наступними характеристиками: за сутністю процесу взаємодії – комбіноване; в

просторовому відношенні – взаємодія транспортних вузлів між собою та іншими елементами єдиної транспортної системи; за тривалістю часових рівнів режимів взаємодії – середньострокове, поточне та оперативне планування; за рангом взаємодіючих підсистем – нульовий, перший; за формою взаємодії – інформаційна.

1.1.3 Методи організації мультимодальних перевезень

Значна частина наявного потенціалу транспортної галузі України задіяна у виконанні транзитних перевезень вантажів, що пояснюється з вигідним географічним розташування країни та проходженням її територією міжнародних критських транспортних коридорів і транспортних осей у напрямках «Північ-Південь» і «Схід-Захід», коридорів TRACECA та нових міжконтинентальних транспортних маршрутів, зокрема швидкісних з Азії до Європи. Інтеграція національної транспортної інфраструктури України в єдину транснаціональну мережу є державним пріоритетом України [58].

Основними методами організації мультимодальних перевезень є наступні [59, 60]:

Контейнерні перевезення – перевезення контейнерів, а також знімних (обмінних) кузовів залізничним, автомобільним, водним, авіаційним транспортом. Контейнерні перевезення є одними з найбільш поширених типів комбінованих перевезень у світі та набули широкого розповсюдження завдяки роботі Міжнародної організації зі стандартизації (ISO), яка забезпечує уніфікацію контейнерів – засобів даного типу перевезень [61, 62].

Паромні системи. Паромна система включає спеціалізовані судна та перевантажувальні комплекси для транспортування залізничного та автомобільного рухомого складу.

Ліхтеровозні системи. Це перевезення що застосовують ліхтер (несамохідне судно), що за допомогою буксирів переміщається по водяних шляхах в одиничному виді або в составах, як правило застосовується для перевезень «ріка-море».

Ролкерні системи. Це перевезення на судах типу «rol on – rol of» із горизонтальним методом ведення вантажних операцій, як правило застосовується для перевезень легких автотранспортних засобів та контейнерів на морських та повітряних суднах.

Контрейлерні системи, технологія змінних кузовів. Контрейлерна система полягає у транспортуванні автомобільних вантажних модулів (автомобілі, причепи, напівпричепи, змінні кузови) залізницею. Основними типами засобів, що використовуються для контрейлерних перевезень «роллінг шосе» і вагон трансфер.

Трейлерна система. Переміщення залізничних вагонів на трейлерних возах (автомобільних причепах) по автомобільних шляхах від залізничної станції до адресата.

Бімодальна (роудлейлерна система) – перевезення здійснюються за допомогою спеціальних напівпричепів, пристосованих до експлуатації як на автомагістралях, так і на залізницях.

Касетна система застосовується на морському транспорті для перевезення укрупнених вантажних місць (касет – до 500 т, вантажопідйомністю 1000 - 2250 т).

Інтероперабельна система – система залізничних перевезень із стикуванням колій різної ширини. Технологія призначена для переходу поїздами пунктів стикування залізничних колій 1520 мм і колії 1435 мм.

1.1.4 Автоматизовані системи управління взаємодійючих видів транспорту

Для інформаційної (організаційної) та технологічної взаємодії видів транспорту під час мультимодальних перевезень використовуються АСУ взаємодіючих видів транспорту.

АСУ залізничного транспорту. За даними Головного інформаційно-обчислювального центру АТ «Укрзалізниця» (УЗ), [63], що займається впровадженням та експлуатацією автоматизованих систем, систем надання інформаційних послуг підприємствам залізничного транспорту та клієнтам залізниць України, а також підтримкою та розвитком мережі передачі даних Укрзалізниці, найважливішими автоматизованими системами та комплексами залізничного транспорту є наступні:

Автоматизована система керування (АСК) пасажирськими перевезеннями (АСК ПП УЗ) – забезпечує обслуговування пасажирів щодо перевізних документів, а саме бронювання місць та продаж квитків на пасажирські поїзди. АСК ПП УЗ прийшла на зміну автоматизованих систем Експрес 2 та Експрес УЗм. Автоматизована система керування пасажирськими перевезеннями працює на потужному серверному комплексі IBM Z9. Це дає змогу обслуговувати сотні запитів за секунду з мінімальною затримкою.

Єдина автоматизована система керування вантажними перевезеннями (АСК ВП УЗ-Є) була введена в експлуатацію 2012р. замість систем АСОУП та АСК ВП УЗ, які функціонували на рівні залізниць України. Архітектура система побудована для централізованого керування процесом вантажних перевезень.

Автоматизована система (АС) оформлення електронних перевізних документів (АС Клієнт УЗ) надає сучасний сервіс клієнтам залізничного транспорту України по оформленню електронної накладної. Електронні дані перевізних документів, що формуються в АС Клієнт УЗ, за структурою та

форматом відповідають чинним нормативним документам Укрзалізниці та вимогам автоматизованих систем, що застосовуються в організації автоматизації документообігу даної галузі.

Автоматизована система документообігу замовлень на перевезення вантажів та формування планів (АС Месплан) створена для керування вагонним парком Укрзалізниці та можливості більш зручного способу замовлення вагонів під навантаження клієнтами залізничного транспорту України.

Сервіс онлайн резервування та покупки квитків – дозволяє придбати квиток на пасажирське перевезення в режимі реального часу.

Автоматизована система керування електронним документообігом Укрзалізниці (АС СКЕДО) створена для переходу на безпаперовий обмін документами між Адміністрацією залізничного транспорту, підприємствами залізничного транспорту та залізницями України. Працює з цифровими підписами акредитованого центру сертифікації ключів та використовує алгоритми підпису згідно ДСТУ 4145-2002, що дає юридичну силу електронним документам.

Автоматизована система керування кадрами Укрзалізниці (АСК Кадри) створено для ефективного управління кадрами Адміністрацією залізничного транспорту, підприємствами залізничного транспорту та залізницями України.

АСУ автомобільного транспорту. З метою підвищення ефективності управління та використання рухомого складу, автотранспортні підприємства впроваджують АСК різних рівнів інтеграції [64]. До основних АСК належать: автоматизовані системи керування автотранспортними підприємствами (АСК АТП); автоматизовані системи керування дорожнім рухом (АСК ДР); системи безпеки автомобіля (активної та пасивної безпеки, охоронні системи).

До основних задач інформаційного обслуговування АСК АТП належать:

стратегічне та оперативне планування; надання інформації про структуру загальних і питомих витрат та забезпечення можливості перерозподілу ресурсів при оперативному плануванні; реалізація системи оперативного управління підприємством за ключовими показниками (собівартість, структура витрат, рівень прибутковості, ефективність використання транспортних засобів); безперервне забезпечення диспетчерських служб логістичного ланцюга достовірною, актуальною й адекватною інформацією про можливість і виконання замовлення на перевезення (про протікання матеріальних, транспортних та інформаційних процесів). Для потреб управління АТП можуть використовуватись додаткові програми, які інтегруються з основною системою керування базою даних (СКБД) АСК. До таких програм належать програми планування маршрутів, вибору транспортних засобів, диспетчерування маршрутів, дистрибуції.

Призначенням АСК ДР є моніторинг транспортних потоків населених пунктів для аналітичної обробки даних моніторингу та реалізації режимів «зелена вулиця» та «зелена хвиля», а також для адаптивного локального та магістрального керування. Дані АСК поєднують спеціальне програмне забезпечення (ПЗ) для створення моделі населеного пункту; відеосервер та ПЗ відеонагляду (відеокамери, контролери); створення автоматизованих робочих місць (АРМ) операторів (диспетчерів); світлофори; комплект детекторів транспорту [65].

Додаткові складові АСК ДР на принципах інтелектуальних транспортних систем (ІТС): метеостанції; керовані знаки; інформаційні табло; бортові контролери; система інформування про вільні місця на паркуваннях; системи WIM – зважування авто під час руху; автоматичний контроль швидкості; контроль в’їзду/виїзду на кордонах міста (класифікація транспортних засобів, номерний знак).

АСУ водного транспорту. За даними державного підприємства «Адміністрація морських портів України» [66], здійснення оперативного обміну інформацією постів регулювання руху суден (ПРРС) Одеси з базами даних інших ПРРС Північно-Західного регіону («Южний» та «Іллічівськ») відбувається по корпоративній мережі підприємства за допомогою інформаційної системи (ІС) ПРРС «Odessa», ІС керування рухом суден «VTMIS» та системи дальньої ідентифікації і контролю за місцеположенням суден «LRIT».

До складу технологічного обладнання ПРРС «Odessa» також входить устаткування локальної комп'ютерної мережі (ЛКМ) ІС ПРРС, яка складається з комп'ютерного та програмного забезпечення системи, баз даних «VTMIS Odessa», що служить для інформаційного забезпечення задач і функцій ПРРС, а також для оперативної взаємодії з службою Капітана порту, головною диспетчерською порту, диспетчерською порту флоту, Службою морської безпеки, Південним регіональним управлінням Прикордонної служби України і т. п. Операторський зал ПРРС та ІС ПРРС інтегрована з мережею радіолокаційного комплексу «Ізумруд».

Система дальньої ідентифікації та контролю розташування судів «LRIT» (Long Range Identification and Tracking of ships) призначена для передачі в автоматичному режимі наступних даних: розпізнавальний знак судна його місцезнаходженння (позиція); час передачі даних.

АСУ авіаційного транспорту. За розташуванням авіаційні автоматизовані системи управління поділяються на наземні та бортові. За даними Державного підприємства обслуговування повітряного руху України «Украероруx» [67], в установі впроваджено інтегровану систему управління, яка була сформована на основі сертифікованих систем управління, а саме системи управління безпекою польотів, системи управління якістю, системи екологічного управління, системи управління професійною безпекою та

здоров'ям (охороною праці) та системи управління безпекою в системі організації повітряного руху (охороною і захистом) у відповідності до рекомендацій Міжнародної організації цивільної авіації ICAO (International Civil Aviation Organization). Наступним кроком в розвитку інтегрованої системи Украероруху, заснованої на сертифікованих системах управління, є інтеграція до її складу інших систем (підсистем) управління, характерних для специфіки функціонування провайдерів аеронавігаційного обслуговування.

Аеродромні диспетчерські вишки України експлуатують автоматизовану система керування повітряним рухом (АСК ПР) «AIRCON-2100», що відповідає стандартам Євроконтролю відносно безпеки польотів під час управління повітряним рухом. Система дозволяє одночасне супроводження до 2500 повітряних суден, передбачена можливість використання до восьми джерел радіолокаційної інформації, що дає змогу забезпечувати безперервний радіолокаційний контроль за повітряними суднами в будь-якій точці зони відповідальності.

Планування повітряного руху здійснюється за рахунок обміну даними в форматах ICAO, ADEXP; автоматичному плануванні польотів; автоматичному / ручному коригуванні повідомлень; автоматичному обмеженні планів польотів на основі повідомлень NOTAM та повідомлень системи АС «Центр»; автоматичної і ручної активації планів польотів, зміни статусу планів; автоматичної кореляції трек-плану, коригування маршруту польоту (трек за планом); автоматичної міжсекторної і зовнішньої координації. АСК ПР є інтегруючою системою, що використовує системи спостереження (джерела інформації про повітряну обстановку), системи зв'язку (забезпечують передачу даних та голосовий зв'язок) та супутникові навігаційні системи (використовуються для синхронізації часу) і забезпечує обробку та відображення даних спостереження, польотних даних, аеронавігаційної та метеорологічної інформації, реалізує функції підтримки

прийняття рішень [68]. Основними групами якої є: обробка даних систем спостереження; обробка польотних даних; моніторинг повітряного руху, забезпечення безпеки польотів та підтримка прийняття рішень; відображення та управління інформацією; документування та відтворення інформації; моніторинг та контроль системи; забезпечення диспетчерів управління повітряним рухом (УПР) авіаційним повітряним та наземним голосовим зв'язком; відтворення та забезпечення функцій диспетчерського тренажера.

1.2 Наукові методи та математичні моделі виявлення та прогнозування транспортних потоків

1.2.1 Наукові методи аналізу транспортних потоків

Імовірнісний аналіз транспортних потоків

Дослідження коливань транспортних потоків, що ґрунтується на стохастичних методах та підходах теорії імовірності та математичної статистики, пояснюється тим, що коливання транспортних потоків в часі здійснюється під узагальненим впливом великої кількості незалежних випадкових факторів, тісно пов'язаних з процесом виробництва та переміщення вантажів [15].

Закон розподілу транспортних одиниць показує, яким чином сумарна імовірність розподілена між можливими значеннями числа транспортних одиниць, що прибувають за період часу. Закон розподілу є найбільш вичерпною характеристикою транспортного потоку при стохастичному підході до його аналізу. Для практичного застосування закону розподілу при аналізі транспортних потоків потрібно враховувати наступні числові характеристики.

Математичне очікування – середнє число транспортних одиниць, що прибуває за одиницю часу (1.1):

$$m_x(t) = E(x) = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i n_i, \tag{1.1}$$

де n – загальна кількість спостережень; x_i – абсциса середньої точки i-го інтервалу; n_i – число спостережень, що потрапили до i - го інтервалу.

Стандартне (середньоквадратичне) відхилення демонструє ступінь розсіювання величини математичного очікування. Середньоквадратичне відхилення для послідовності прибуваючих транспортних одиниць розраховується розрахунком математичного очікування $E(x)$, відхилення кожного значення $[x - E(x)]$, середнього значення його відхилення (дисперсії):

$$D = \frac{\sum_{i=1}^{N}[x - E(x)]^2}{1 - N},\ \sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}[x - E(x)]^2}{1 - N}}, \tag{1.2}$$

де N – число дослідних даних.

Також застосовується кореляційна (автокореляційна) функція, що характеризує ступінь зв’язку між січеннями випадкової функції, що відстають одна від одної на $\tau = t_1 - t_2$.

$$K(t_1, t_2) = M\{[x(t_1) - E_{t_1}(x)][x(t_2) - E_{t_2}(x_2)]\}. \tag{1.3}$$

Взаємокореляційна функція двох випадкових прцесів $X(t), Y(t)$

$$K_{xy}(t_1, t_2) = M[E_t(x), E_{t_1}(y)], \tag{1.4}$$

яка характеризує кореляційний зв’язок між двома січеннями випадкових функій $X(t), Y(t)$, що відстають одна від одної на $\tau = t_1 - t_2$.

Для опису потоку, вираз закону розподілу зазвичай задається аналітично. При цьому важливо, щоб аналітичний опис задовольняв наступні умови: відповідав дослідним даним, відображав фізичну структуру явища, та базувався на відповідній імовірнісній схемі та потребував найменший обсяг інформації для розрахунку числових характеристик.

Виявлення прихованих (циклічних) коливань транспортних потоків

На практиці сукупність окремих (одиничних) явищ має не тільки імовірнісний, але й причинний, детермінований характер, що виявляється в просторовій нерівномірності, а також добовій, тижневій, сезонній циклічності транспортних потоків, з наявним приростом транспортного навантаження. Тому важливо розглянути методи, якими можливо достовірно встановити чи являється дослідний процес виключно стохастичним, частково детермінованим, або повністю детермінованим. Тому з практичною метою дудь-який потік доцільно розглядати не як результат стохастичного або детермінованого процесу, а як результат наявного регулярного та нерегулярного процесів [15].

$$Y(t) = C(t) + U(t), \tag{1.5}$$

де $C(t)$ – планова регулярна складова; $U(t)$ – випадкова складова.

Для виділення регулярної складової використовуються методи згладжування. При простому згладжуванні знаходяться середні значення з k ординат для всієї сукупності n значень. Знайдені значення поєднуються кривою, що дозволяє виявити приховані циклічні коливання.

Циклічні коливання транспортних потоків у вузлах досліджуються за допомогою спеціальних методів, в яких регулярні потоки задаються багатомірною векторною функцією. Геометричною ілюстрацією такої функціє є не лінія, а поверхня. Застосування методу доцільне для аналізу даних коливань транспортних потоків за досліджуваний період (1.6):

$$W[I,k] = \frac{V[I+1,k]}{\sum_{k=1}^{12} V[I,k]}, \tag{1.6}$$

метод дозволяє отримати нові дані, де I – номер року, k – номер місяця. Даний номер місяця з коефіцієнтом $W[I,k]$ мають незначні коливання навколо свого середнього значення, що дозволяє використовувати їх для прогнозу

сезонної циклічності транспортних потоків. Аналогічним способом може досліджуватись добова, тижнева, та інші види циклічності транспортних потоків.

Аналіз транспортних потоків на основі теорії черг

При обслуговуванні вхідних транспортних потоків в транспортних вузлах можуть виникати перевантаження, що призводять до виникнення черг [15]. Тому для розрахунку вузлів важливо обирати таку пропускну спроможність елементів, яка при випадкових коливаннях транспортних потоків забезпечуватиме роботу без постійних перевантажень. Для вирішення поставленої задачі необхідно знати середній час очікування транспортної одиниці в черзі, час роботи елемента транспортного вузла, імовірність того, що всі елементи транспортного вузла зайняті. Для розрахунку цих показників застосовують два способи – теорію черг та моделювання.

Для наближеного розрахунку середнього розміру черги повинен задаватися розподіл вхідного транспортного потоку, дисципліна обслуговування (перши прибув – першим обслуговується, обслуговування з пріоритетом), структура обслуговуючої системи (одноканальна, багатоканальна тощо), розподіл часу на кожному каналі.

Розподіл вхідного потоку і часу на обслуговування може мати будь-який аналітичний опис, проте теорія черг оперує випадковим (пуассонівський вхідний потік), ерланівським і рівномірним розподілом.

Розрахунок черги в системі з одним каналом обслуговування і пуассонівським вхідним потоком виконується за виразом Хінчина і Поллачика (1.7):

$$E(\omega)=\frac{\rho^2}{2(1-\rho)}\left\{1+\left[\frac{\sigma_{t_{об}}}{E(t_{об})}\right]^2\right\}, \qquad (1.7)$$

де $E(\omega)$ – середнє число транспортних одиниць, що очікують на обслуговування; ρ – рівень завантаженості каналу; $\sigma_{t_{об}}$ – стандартне відхилення часу обслуговування; $E(t_{об})$ – середній час обслуговування транспортної одиниці.

Використовуючи даний вираз можливо записати:

$$E(g) = \rho + \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}\left\{1 + \left[\frac{\sigma_{t_{об}}}{E(t_{об})}\right]^2\right\}, \quad (1.8)$$

де $E(g)$ – загальне число транспортних одиниць, які знаходяться в черзі на обслуговування.

Середній час очікування $E(t_\omega)$ обслуговування розраховується за виразом (1.9):

$$E(t_\omega) = \frac{\rho E(t_{об})}{2(1-\rho)}\left\{1 + \left[\frac{\sigma_{t_{об}}}{E(t_{об})}\right]^2\right\}, \quad (1.9)$$

Середній час перебування транспортної одиниці в системі обслуговування $E(t_g)$:

$$E(t_g) = E(t_{об}) + E(t_\omega). \quad (1.10)$$

1.2.2 Особливості транспортного потоку як об’єкта моделювання

Під час моделювання транспортних потоків необхідно враховувати, що вони мають ряд особливостей, які ускладнюють їх формалізацію [69, 17].

Стохастичність транспортних потоків. Характеристики потоків допускають прогноз тільки з певною імовірністю, оскільки рух здійснюється транспортною мережею, яка також володіє певними нестаціонарними характеристиками.

Нестаціонарність транспортних потоків та коливання характеристик як мінімум в трьох циклах: добовому, тижневому і сезонному.

Неповна керованість, суть якої полягає в тому, що навіть при наявності повної інформації про потоки і можливості інформування водіїв про необхідні дії, ці вимоги носять рекомендаційний характер. Рішення про вибір маршруту та режиму руху за певних обставин проводиться водієм транспортного засобу або диспетчером за суб'єктивними факторами.

Складність виміру основних характеристик, що визначають якість управління. Тому, оцінка величини інтенсивності руху вимагає або наявності датчиків транспортних потоків на всіх напрямках руху, або використання даних аерофотозйомки, або проведення трудомісткого ручного обстеження.

Принципова неможливість проведення масштабних натурних експериментів. Ця зумовлено необхідністю забезпечення безпеки руху; матеріальними та трудовими затратами на проведення експерименту; відчутними змінами в комплексній схемі організації руху, які впливають на інтереси великої кількості учасників руху.

Транспортний потік і комплекс умов, в яких він протікає, являє собою типовий приклад складної системи, що містить велику кількість взаємно пов'язаних і взаємодіючих між собою елементів. Рух транспортного потоку є результатом безперервного взаємодії між окремими елементами системи, як в просторі, так і в часі. Особливістю цієї системи є функціонування в умовах дії великої кількості випадкових факторів. Таким чином, труднощі формалізації процесу руху транспортного потоку є серйозною проблемою забезпечення адекватності моделей транспортного потоку.

1.2.3 Математичні моделі транспортних потоків

Метою моделювання транспортних потоків є визначення та прогноз всіх параметрів функціонування транспортної мережі, таких як інтенсивність руху на всіх елементах мережі, обсяги перевезень, середні швидкості руху, затримки і втрати часу [69].

До математичних методів моделювання транспортних потоків належать:

Моделі опису, що передбачають побудову опису об'єкта або процесу, які містить функціональні або алгоритмічні зв'язки між входами (m,u) і виходами Y. Входами є зовнішні впливи на об'єкт (некеровані і керовані), виходами – реакція об'єкта або процесу.

Моделі оцінки, що дозволяють оцінити ті чи інші стани комплексу «об'єкт – орган управління – середовище». У структурі моделі на технологічні характеристики зв'язків між входами (m,u) і виходами Y об'єкта накладають укрупнені технологічні характеристики C_0. Для проведення оцінки прийнято використовувати цільові функції керованого об'єкта (або функції якості стану) $G = G(m,u)$. В якості критеріїв оцінки використовують економічні, екологічні та критерії безпеки.

Моделі оптимізації – припускають постановку оптимізаційної задачі, наприклад, визначити таке значення $m \in M$, яке забезпечує максимум (мінімум) $G = G(m,u)$. Дані моделі вирішують завдання оптимізації маршрутів пасажирських і вантажних перевезень, вибору оптимальної конфігурації мережі. В якості цільової функції зазвичай приймають функцію витрат на рух і проводять її мінімізацію. В якості обмежень виступають вимоги безпеки руху або забезпечення мінімальних потреб у пересуванні.

Прогнозні моделі призначені для моделювання транспортних потоків в мережах з відомою геометрією і характеристиками, при відомому розміщенні потокоутворюючих об'єктів. За їх допомогою прогнозуються наслідки в зміні транспортної мережі або розміщенні об'єктів. Моделі цього типу застосовуються при підтримці рішень в сфері планування розвитку регіону та для аналізу наслідків тих чи інших заходів щодо організації дорожнього руху.

Імітаційне моделювання ставить за мету відтворення всіх деталей руху і дозволяє визначити швидкість руху, затримки, динаміку і довжину черг, інші

характеристики руху. Моделі даного типу широко застосовуються при поліпшенні організації руху.

Прогнозні і імітаційні моделі доповнюють одна одну наприклад, прогноз інтенсивності руху служить в якості вихідних даних для імітаційного моделювання роботи системи координованого управління. У свою чергу поліпшення умов руху призводить до перерозподілу транспортних потоків у транспортній мережі, маршрут з кращими умовами руху привертає додатковий обсяг руху. Моделі прогнозу потоків за своєю суттю є моделями опису і розрізняються лише ступенем деталізації транспортної мережі.

1.3 Математичні методи розв'язку оптимізаційних задач

1.3.1 Однокритеріальні методи вирішення транспортних (розподільчих) задач

Постановка транспортної задачі. Задачі, що називаються транспортними, складають великий підклас розподільних задач. Зі змістовної сторони вони не обов'язково пов'язані з доставкою або перевезенням вантажів, а виділяються особливою структурою математичної моделі. Тому ще називаються моделями транспортного типу [70].

Найпростіша транспортна задача (Т-задача). У загальному вигляді основоположними вихідними даними для всіх транспортних задач є наступні: m – число пунктів відправлення (ПВ) або виробництва; n – число пунктів призначення (ППр.) або споживання; C_{ij} – витрати на перевезення одиниці вантажу з пункту i в пункт j, $\forall ij$; a_i – кількість вантажу в пункті i, $\forall i$ (можливості ПВ); b_j – потреба у вантажі в пункті j, $\forall j$. Критерієм завдання є сумарні витрати на перевезення. Безвідносно до значень a_i і b_j модель записується у вигляді (1.11):

$$L = \sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} C_{ij} X_{ij} \to \min;$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} \le a_i, i = \overline{1,m}; \qquad (1.11)$$

$$\sum_{i=1}^{m} X_{ij} \le b_j,\ j = \overline{1,n}; \forall X_{ij} \ge 0.$$

Однак такий запис моделі є коректним за умови $\sum_i a_i \ge \sum_j b_j$. Завдання, в якому сумарні потреби рівні сумарним можливостям, тобто $\sum_{i=1}^{m} a_i = \sum_{j=1}^{n} b_j$ називається збалансованою або закритою транспортною задачею.

Для формалізації задачі складаються матриці перевезень (1.12) та транспортних затрат (1.13):

$$X = \begin{bmatrix} X_{11} & X_{12} & \dots & X_{1n} \\ X_{21} & X_{22} & \dots & X_{2n} \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots & \dots\dots \\ X_{m1} & X_{m2} & \dots & X_{mn} \end{bmatrix}, \qquad (1.12)$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} \\ C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} \\ \dots\dots & \dots\dots & \dots & \dots\dots \\ C_{m1} & C_{m2} & \dots & C_{mn} \end{bmatrix}. \qquad (1.13)$$

$a = (a_1, a_2, \dots, a_n)$ – вектор можливостей ПВ; $b = (b_1, b_2, \dots, b_n)$ – вектор потреб ППр. Для отримання розв’язку задача має бути збалансованою.

Вирішення Т-задачі за критерієм часу.

При здійсненні перевезень визначальним показником можуть бути не витрати, а час доставки. Характерними прикладами є надзвичайні ситуації (перевезення поранених), швидкопсувних [71] або небезпечних вантажів. Тоді замість матриці транспортних затрат (1.13) складається матриця часу t_{ij} , а критерій виражає час завершення всіх перевезень:

$$T = \max t_{ij} \to \min, \tag{1.14}$$

де максимум береться з комунікацій, на яких перевезення більше нуля. Передбачається, що перевезення між усіма пунктами починаються одночасно і ведуться паралельно. Однак критеріальна функція нелінійна, що принципово відрізняє цю задачу від раніше розглянутих. У той же час задача легко перетворюється до лінійного вигляду, і рішення задачі може бути отримано будь-яким універсальним методом лінійного програмування.

Вирішення Т-задачі методом потенціалів. Концепція методу потенціалів полягає в пошуку оптимального рішення шляхом послідовних переходів від одного базисного рішення (опорного плану) до іншого з найкращим значенням критерію [71].

Розмірність базисного рішення або плану перевезень дорівнює $m+n-1$, де m і n – число ПВ і ППр. збалансованої задачі. Якщо задача відкрита, то спочатку її необхідно збалансувати. Для побудови початкового плану перевезень застосовують правила північно-західного кута, мінімального елементу і алгоритм Фогеля. Всі вихідні дані і змінні збалансованої Т-задачі зручно представити у вигляді таблиці (рис. 1.1).

	b_1	b_2	…	b_n
a_1	C_{11} X_{11}	C_{12} X_{12}	…	C_{1n} X_{1n}
a_2	C_{21} X_{21}	C_{22} X_{22}	…	C_{2n} X_{2n}
…	…	…	…	…
a_n	C_{m1} X_{m1}	C_{m2} X_{m2}	…	C_{mn} X_{mn}

Рис. 1.1 Початковий план перевезень

Побудова плану починається з північно-західної клітини таблиці, першим визначається значення змінної X_{11}. Так як воно повинно бути

максимально допустимим, $X_{11} = \min(a_1, b_1)$. При цьому обов'язково має виконуватись одне з рівнянь (1.11), що відповідає закриттю рядка або стовпчика. Основу алгоритму перерахунку складають матриці циклів перерахунку, що дають результуючу матрицю перевезень.

Вирішення Т-задачі в мережевій постановці. Транспортну задачу можна представити у вигляді орієнтованого графа з одним джерелом (в нього не входить жодна дуга) і з одним стоком (з нього не виходять дуги), який називають в цьому випадку мережею. Вершинам графа ставляться у відповідність пункти відправлення, призначення і проміжні пункти. Основний параметр вершини – кількість вантажу. Дуги відображають сполучення (комунікації). Їм можуть бути призначені параметри: кількість вантажу, витрати на перевезення, пропускна здатність.

Вихідний граф транспортної задачі легко зводиться до мережі з одним стоком і одним джерелом, шляхом введення фіктивних пунктів t (витік) і s (стік). Приклад мережі транспортної задачі без проміжних пунктів наведено на рис. 1.2.

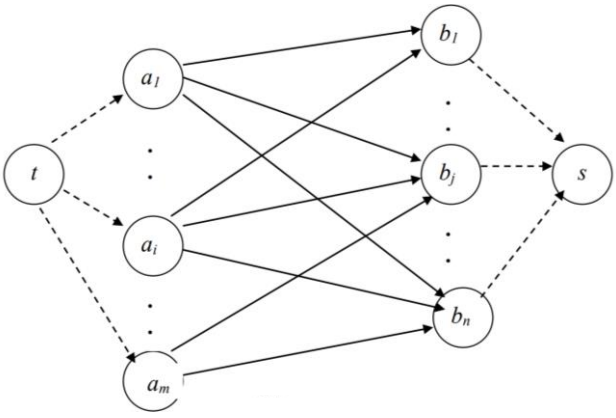


Рис. 1.2 Граф транспортної задачі

Найбільший інтерес представляє постановка задачі, в якій критерієм є потік мережі $Z \to \max$:

$$\sum_{lk \in U_k^+} x_{lk} = \sum_{kp \in U_k^-} k_{kp}, k \neq t, k \neq s;$$

$$\sum_{ti \in U_t^-} x_{lk} = \sum_{js \in U_s^+} x_{js} = Z. \qquad (1.15)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq d_{ij}.$$

Вирази (1.15) називаються задачею про максимальний потік. Вона має велике практичне значення. Для задачі розроблені алгоритми, які працюють безпосередньо з мережею як різновидом графів. Для знаходження розрізу графа (мережі), яке використовується в теоремі Форда-Фалкерсона, завдання формалізоване наступним чином: нехай дано орієнтований граф $G = (V, U)$ де $V, U -$ множина вершин і дуг відповідно. Розрізом мережі на підмножині вершин $A \subset V, A \neq \varnothing, \quad A \neq V, t \in A, s \in V \setminus A$ називається множина дуг $ij \in U$ таких, що $\in A, j \in V \setminus A$. Позначимо його $P(A)$. Сума пропускних спроможностей дуг розрізу називається величиною (пропускною спроможністю) розрізу (15):

$$d(A) = \sum_{ij \in P(A)} d_{ij}. \qquad (1.16)$$

Метод дискретної оптимізації. Задача комівояжера. Під завданням дискретного програмування (дискретної оптимізації) розуміється завдання математичного програмування в якому зазвичай необхідно мінімізувати (або максимізувати) значення деякої функції $f(x)$ на множину допустимих рішень G. Тобто необхідно знайти таке рішення $x^0 \in G$, що $f(x^0) = \min_{x \in G} f(x)$. При цьому множина допустимих рішень G є обмеженою, тобто $0 < |G| < \infty$, де $|G|$ – число елементів множини G [72].

Математична постановка задачі комівояжера наступна. Мандрівний торговець (комівояжер) повинен відвідати n міст. Міста пронумеровано від

1,...,*n*. Між кожною парою міст i та j задано відстань $c_{ij} \geq 0$, причому може бути ситуація, що $c_{ij} \neq c_{ji}$, тобто в різному напрямку відстані між містами можуть бути різними. У початковий момент часу комівояжер знаходиться в місті номер 0. Він виїжджає з цього міста, об'їжджає всі міста, відвідавши кожне з них рівно один раз, і повертається в місто 0. Необхідно знайти таку послідовність відвідування міст, при якій сумарна довжина пройденого шляху мінімальна. Замість відстаней можуть бути задані вартості переїздів з міста в місто.

Розв'язання цього завдання може бути зображено як вектор, що характеризує порядок відвідування міст, тобто у вигляді $(0, j1, j2,..., jn, 0)$, де $\{j1, j2,..., jn\} = \{1,2,...,n\}$. Цей порядок називають «маршрутом» і позначають буквою π. Для маршруту π сумарну довжину пройденої відстані $l(\pi)$ можна обчислити так:

$$l(\pi) = c_{0 j_1} \sum_{i=1}^{n-1} c_{j_i j_{i+1}} + c_{j_n 0}. \qquad (1.17)$$

Нехай G – множина можливих маршрутів. Тоді кількість рішень в цій множині $|G| = N!$. Величина $N!$ швидко зростає, тому алгоритм повного перебору явно не прийнятний.

Метод динамічного програмування. Задача пошуку найкоротшого шляху. Метод динамічного програмування (ДП) орієнтований на оптимізацію багатокрокових (багатостадійних, багатоетапних) процесів і використання електронний обчислювальних машин. Концепція методу полягає у наступному. Нехай оптимальний шлях з точки A в точку E проходить через точки B, C і D . Тоді будь-яка частина цього шляху є оптимальним шляхом. Дійсно, якби, наприклад, оптимальний шлях з C в E не проходив через D, то і повний шлях A, B, C, D, E не був би оптимальним (його можна було б

поліпшити за рахунок зміни переходу з С в Е), що суперечить вихідної посилці. Фундаментальною основою методу динамічного програмування є сформульований Р. Беллманом принцип оптимальності, згідно з яким оптимальне управління визначається кінцевою метою управління і станом системи в розглянутий момент, незалежно від того, яким чином вона прийшла в цей стан. Інакше кажучи, при фіксованому стані системи подальше оптимальне рішення не залежить від її передісторії [69].

Формулювання задачі про найкоротший шлях є наступним. Дано мережевий граф, в якому кожній дузі поставлено у відповідність її довжина L_{ij}. Порядок нумерації вершин не має значення. Подібні завдання виникають безпосередньо при мережевому плануванні та управлінні, при визначенні стратегії оренди обладнання, прокладання маршрутів та в інших випадках.

Модель задачі включає критерій – довжину шуканого шляху L.

$$L = \sum_{ij \in \pi_1} L_{ij} \to \min, \tag{1.18}$$

де π_1 – шлях від вершини i до вершини j, та граф мережі (або матриця). Застосування методу ДП правомірно, адже завдання представлене як багатокрокове: шуканий шлях є допустима графом послідовність дуг, а вибір дуги розглядається як один крок завдання. Параметр стану відсутній, стан повністю визначається номером вершини, а число кроків від конкретної вершини до j-ї невизначене. З огляду на ці особливості, вводимо послідовність функцій $\{f_i\}$ – мінімальна довжина шляху від i до j вершини:

$$f_i = \min_{\pi_i \in \Pi_i} \sum_{i,\, j \in \pi_i} L_{ij}, \tag{1.19}$$

де Π_i – множина всіх допустимих шляхів від i до j вершини.

Складенням функціонального рівняння приходимо до рекурентного співвідношенню завдання:

$$f_i = \min_j \left(L_{ij} + f_j \right), i, j \in I^- \qquad (1.20)$$

де I^- – довільна дуга з i вершини, що не є кінцевою вершиною маршруту.

Принципова відмінність отриманого співвідношення полягає в тому, що в ньому немає однозначної послідовності кроків, обчислювати можна ті функції f_i, для яких вже відомі всі $f_j, ij \in I^-$. Сам оптимальний шлях буде знайдено, за результатами умовної оптимізації в зворотному порядку.

Метод лінійного програмування. Загальна розподільча задача. У загальному випадку задачу розподілу сформульовано наступним чином. Є список робіт або операцій, кожна з яких вимагає витрат деяких видів обмежених ресурсів. Необхідно так розподілити ресурси за видами робіт, щоб отримати найкращий результат в сенсі прийнятого критерію. Вихідними даними до завдання є C_{ij} – дохід, прибуток або витрати при виділенні одиниці ресурсу i-го виду на j-у роботу. Якщо C_{ij} – прибуток або виграш, то маємо задачу максимізації, якщо C_{ij} – витрати або збитки, то завдання мінімізації. До розподільчих задач відносяться і транспортні задачі.

Загальна розподільча задача має вигляд: нехай із залізничної станції необхідно відправити n видів вантажів в кількості b_j, $j = 1,2,\ldots,n.$ Станція може використовувати m видів вагонів в кількості a_i, $i = 1,2,\ldots,m.$ Для кожного виду вагона відома норма завантаження i-го вагону j-м вантажем – B_{ij}. Відомі витрати на навантаження i-го вагону j-м вантажем – C_{ij}. Необхідно організувати відправку вантажу найкращим чином, тобто з мінімальними витратами на завантаження. Введемо змінні x_{ij} – кількість вагонів i-го типу, що відводяться під j-й вантаж. Критерієм вважаються сумарні витрати на навантаження всього вантажу. Модель завдання, яка включає критерій (1.21):

$$L = \sum_{i=1}^{m} \sum_{j=1}^{n} C_{ij} x_{ij} \to \min, \tag{1.21}$$

обмеження-рівності, що відображають необхідність відправити всі види вантажів в повному обсязі, та що враховують обмежену кількість вагонів кожного виду за умови невід'ємності змінних наведено (1.22):

$$\begin{gathered} \sum_{i=1}^{m} B_{ij} x_{ij} = b_j,\ j = \overline{1,n}, \\ \sum_{j=1}^{n} x_{ij} \le a_i, i = \overline{1,m}, \\ x_{ij} \ge 0, \forall i, j. \end{gathered} \tag{1.22}$$

Принципова відмінність даної моделі від транспортної міститься в першій групі обмежень – це наявність коефіцієнтів B_{ij} .

1.3.2. Методи багатокритеріальної оптимізації

Багатокритеріальна задача математичного програмування. У формальному поданні критерії (цільові функції), за якими оцінюється рішення X , буде записуватися у вигляді $f_i(X),\ i = \overline{1,m}.$ Для зручності міркувань вважається, що для всіх i значення критерію є збільшуваним, тоді задача багатокритеріального математичного програмування запишеться у вигляді (1.23):

$$\begin{gathered} \max\{f_1(X) = y_1\}, \\ \max\{f_1(X) = y_1\}, \\ \cdots\cdots \\ \max\{f_m(X) = y_m\}, \\ X \in D, \end{gathered} \tag{1.23}$$

де D – множина допустимих рішень. Інакше кажучи, завдання полягає в максимізації вектору критеріїв $f(X) = Y$ по $X \in D$.

Істотна відмінність цього завдання від традиційного однокритеріального полягає в понятті оптимальності. В однокритеріальних задачах під оптимальним розуміється рішення, що забезпечує максимальне значення критерію. При багатьох критеріях збільшення одних критеріїв призводить до зменшення інших.

Допустима множина D будується в n - вимірному просторі змінних. Кожне рішення $X \in D$ повністю характеризується відповідними значеннями всіх критеріїв, тобто вектором Y. Числовий m - мірний простір E^m, координатами якого є $y_i = f_i(X)$, називається критеріальним простором. Таким чином, векторна функція $f(X)$ відображає допустиму множину D на множині досяжності G; $G = \{Y \in E^m | Y = f(X), X \in D\}$ і завдання полягає у виборі вектору з цієї множини, найкращого з точки зору особи що приймає рішення (ОПР) [73].

Методи багатокритеріальної оптимізації. Залежно від того, на якій стадії процесу виявляються і використовуються переваги ОПР виділять три групи багатокритеріальних методів прийняття рішень:

1) засновані на тому, що ОПР може висловити свої переваги до початку процесу багатокритеріальної оптимізації;

2) інтерактивні (діалогові) методи;

3) методи побудови множини ефективних рішень з наступним поданням його ОПР.

У методах першої групи використовуються різні способи згортки критеріїв, лексикографічне впорядкування критеріїв, встановлення бажаних рівнів критеріїв і ін. Друга група методів заснована на безпосередній участі ОПР в процесі оптимізації, коли на кожній ітерації програмна система пропонує рішення, а ОПР їх оцінює, і з урахуванням цих оцінок система

здійснює пошук нових рішень. Методи третьої групи відрізняються способами побудови та представлення множини ефективних рішень.

Метод розв'язування багатокритеріальних задач оптимізації з використанням інтегрального критерію. Суть даного методу полягає в тому що критерії $F_1(X),\ i \in N_m$ певним чином об'єднуються в один інтегральний критерій $F_i = f_i(F_1(X), F_2(X), ..., F_m(X))$, а потім знаходиться максимум або мінімум даного критерію.

Якщо об'єднання частинних критеріїв виконується, виходячи з об'єднання взаємозв'язку частинних критеріїв і критерію узагальненого, то тоді оптимальний розв'язок буде коректним. Але таке об'єднання зробити дуже складно або неможливо, тому, що як правило, узагальнений критерій є результатом формального об'єднання частинних критеріїв.

В залежності від того, яким чином частинні критерії об'єднуються в узагальнений критерій розділяють наступні види узагальнених критеріїв: адитивний критерій; мультиплікативний критерій; мінімаксний (максимінний) критерій.

В адитивних критеріях цільову функцію отримаємо шляхом додавання нормованих значень приватних критеріїв. В загальному вигляді цільова функція має наступний вигляд:

$$F(X) = \sum_{i-1}^{m} C_i \frac{F_i(X)}{F^0{}_1(X)} = \sum_{i-1}^{m} C_i f_i(X) \to \max(\min), \qquad (1.24)$$

де n – кількість об'єднаних частинних критеріїв; C_i – ваговий коефіцієнт i - го частинного критерію; $F_i(X)$ – числове значення i - го частинного критерію; $F^0{}_1(X)$ – i - й нормуючий дільник; $f_i(X)$ – нормоване значення i - го частинного критерію.

Метод пріоритетів. В методі пріоритетів m частинних цільових функцій ранжуються в порядку їх важливості, так як їх оцінює ОПР.

Мінімізувати $f_1(X)=\rho_1$ (найвищий пріоритет), мінімізувати $f_i(X)=\rho_i$ (найнижчий пріоритет). Змінні ρ – це компоненти змінних, що відхиляються та визначають i - ту цільову функцію. В методі пріоритетів по черзі розв'язуються задачі з однією цільовою функцією, починаючи з задачі з цільової функції, яка має найвищий пріоритет, і закінчуючи задачею з цільовою функцією, яка має найнижчий пріоритет. В процесі розв'язання послідовних задач розв'язок задачі з цільовою функцією, яка має більш низький пріоритет, не може погіршити отримані раніше результати розв'язку задач з цільовою функцією, що має більш високий пріоритет. Це означає, що якщо x_i оптимальне значення цільової функції $f_i(x)$, то для всіх $i \geq 1$ оптимізація будь-якої цільової функції $f_j(x)(j \succ 1)$ з меншим пріоритетом не зможе погіршити результат x_i.

Метод послідовних поступок. Особливістю даного методу є те, що критерії багатокритеріальної задачі попередньо впорядковуються за зменшенням їх важливості, після чого вибір розв'язку задачі здійснюється шляхом виконання багатокрокової діалогової процедури. Діалогова процедура послідовних поступок складається з одного попереднього і m основних кроків, m – кількість критеріїв.

Треба зауважити що, якщо на перших кроках ОПР задає великі значення поступок, то ефективна альтернатива, яка отримується в кінці процедури, може мати більш високі показники за менш важливими критеріями. І навпаки, якщо ОПР, намагається отримати високі показники за більш важливим критерієм, то можна отримати ефективну альтернативу з неприпустимо малими показниками за менш важливим критерієм. Метод використовує два типи інформації від ОПР: інформацію про впорядкування критеріїв і про діапазони значень критеріїв.

1.4 Постановка задач дослідження

Аналіз традиційних підходів представлених однокритеріальними моделями з домінуючим показником (критерієм) оптимальності, а саме основних математичних методів вирішення транспортних (розподільчих) задач в однокритеріальній формі (за критерієм часу, пошуку найкоротшого шляху, мінімальної вартості) показав, що традиційна формалізація оптимізаційної задачі в однокритеріальній формі не забезпечує вирішення комплексної задачі розподілу транспортних потоків та вибору оптимального маршруту доставки вантажів в мультимодальних транспортних мережах. Спираючись на дані, отримані в результаті аналізу існуючих підходів до розподілу обмежених ресурсів та визначення оптимального маршруту, а також на вимоги, висунуті до них, встановлено що для досягнення високої ефективності розв'язку оптимізаційних задач доцільним є застосування багатокритеріальних моделей.

Основними недоліками традиційних підходів є:

домінуюче використання однокритеріальних моделей, що знижує адекватність опису задачі та якість остаточного результату;

значний суб'єктивізм у виборі критеріїв оптимальності потребує значного досвіду особи, яка приймає рішення;

дисбалансу складу критеріїв, за яким приймається рішення про оптимальність може призвести до зриву рішення задачі в цілому.

Саме тому, для розподілу обмежених ресурсів та визначення оптимального маршруту доставки за допомогою АСУ взаємодіючих під час мультимодального перевезення видів транспорту, вирішення потребує наукове завдання удосконалення архітектури систем підтримки прийняття рішень з автоматизованого розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, з формалізацію транспортної задачі вибору оптимального маршруту в багатокритеріальній формі, рис. 1.3.

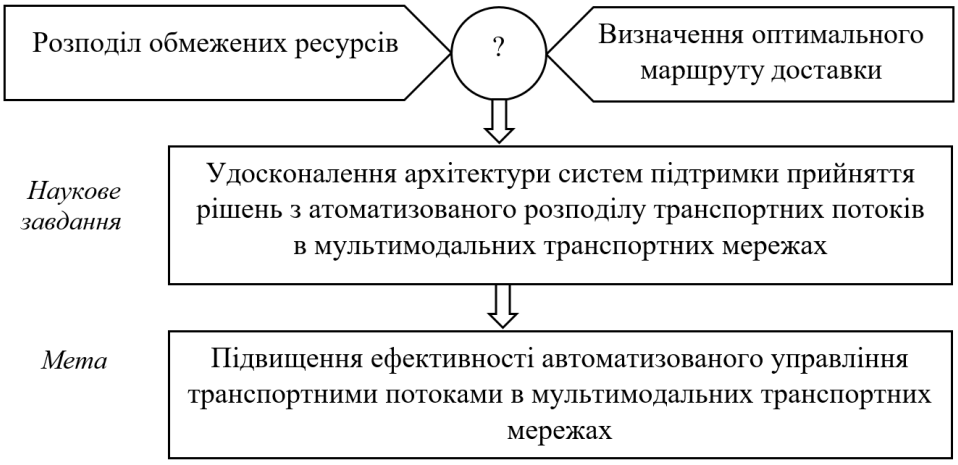


Рис. 1.3 Постановка наукового завдання дослідження

Метою дослідження є підвищення ефективності автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальних транспортних мережах. Для досягнення сформованої мети розв’язку потребують наступні наукові задачі:

1. Провести аналіз принципів побудови та особливостей функціонування мультимодальної транспортної мережі з виявленням напрямків транспортних потоків з інтенсивним використанням шляхів спільного користування.

2. Провести аналіз існуючих методологічних підходів до розподілу транспортних потоків.

3. Обґрунтувати показники та критерії оптимальності маршруту перевезення вантажів. Побудувати інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах.

4. Розробити математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

5. Розробити архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

6. Провести оцінювання ефективності та адекватності розроблених підходів.

Схема проведення дисертаційного дослідження зображена на рис. 1.4.

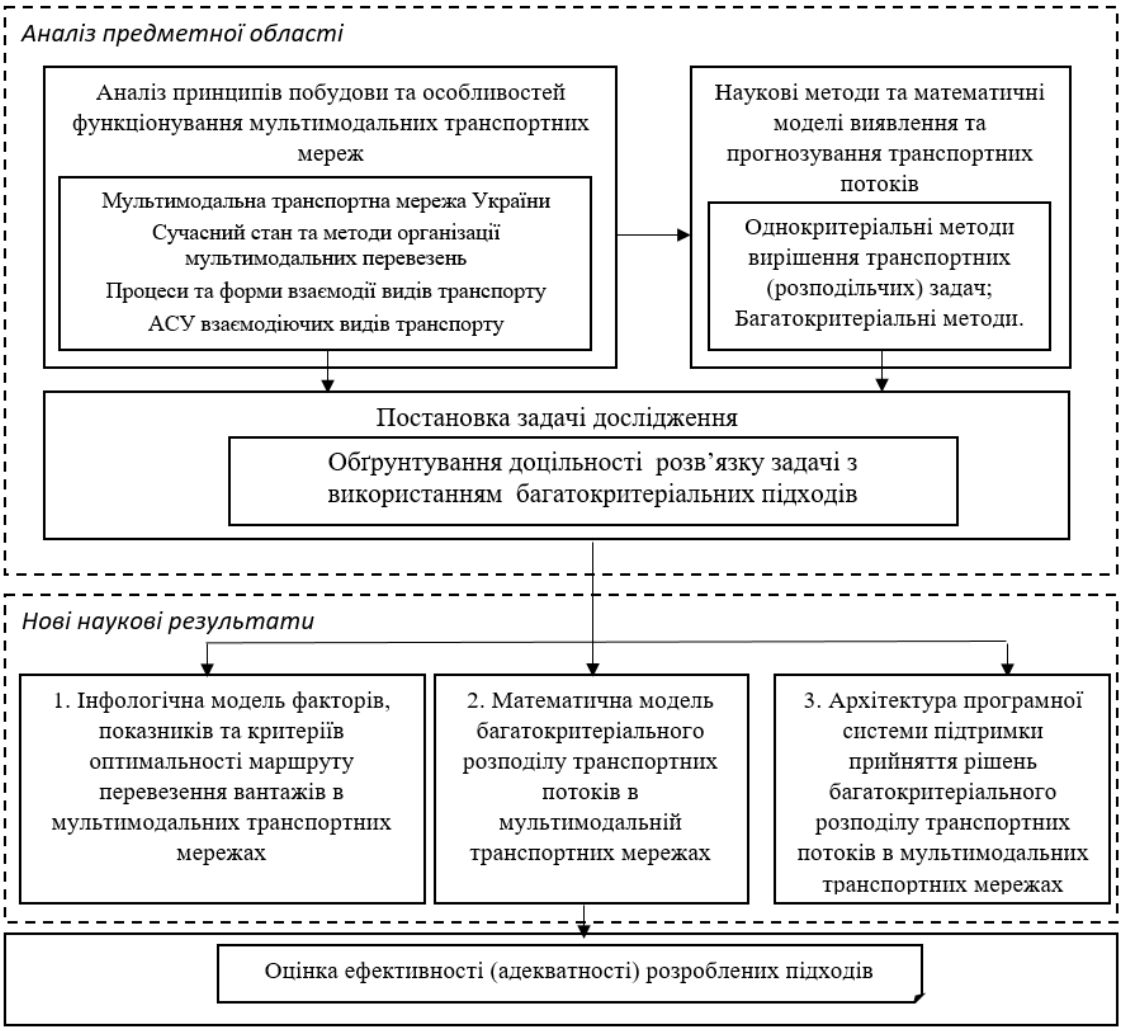


Рис. 1.4 Схема проведення дисертаційного дослідження

Висновки до розділу 1

В першому розділі дисертаційного дослідження проаналізовано принципи побудови, особливості організації та наукове підґрунтя функціонування мультимодальних транспортних мереж.

1. Аналіз принципів побудови та методів організації мультимодальних перевезень на основі інформаційної взаємодії видів транспорту за допомогою автоматизованих систем управління перевезеннями

виявив відсутність єдиного підходу до визначення оптимального маршруту перевезення вантажів під час мультимодального перевезення.

2. Дослідження наукових моделей виявлення та прогнозування транспортних потоків, а також аналіз транспортних потоків на основі теорії імовірності, виявлення прихованих (циклічних) коливань та теорії черг показав, що транспортний потік містить детерміновану та стохастичну складову і має певні особливості та характеристики, які варто врахувати під час формування критеріїв оптимальності маршруту перевезення, моделювання розподілу транспортних потоків та розробки архітектури програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

3. Аналіз теоретичних методів та математичних моделей розподілу транспортних потоків показав, що у вирішенні задачі пошуку оптимального маршруту переважають однокритеріальні моделі. Дослідження традиційних підходів представлених однокритеріальними моделями з домінуючим показником (критерієм) оптимальності та багатокритеріальних методів оптимізації показало, що для досягнення високої ефективності розв’язку оптимізаційних задач розподілу транспортних потоків та вибору оптимального маршруту доставки вантажів за допомогою АСУ взаємодіючих видів транспорту доцільним є застосування багатокритеріальних моделей.

4. Було сформульоване наукове завдання дисертаційного дослідження, що полягає в удосконаленні архітектури систем підтримки прийняття рішень з атоматизованого розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, та задачі дослідження.

РОЗДІЛ 2
РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ В МУЛЬТИМОДАЛЬНИХ ТРАНСПОРТНИХ МЕРЕЖАХ

2.1 Обґрунтування доцільності розділення транспортних потоків

Розподіл транспортних потоків розглядається на прикладі залізничних вантажних перевезень, що є показовим, оскільки вузлові залізничні станції є пунктами взаємодії залізничного з іншими видами транспорту, а курсування пасажирського та вантажного залізничного рухомого складу здійснюється коліями спільного користування, та потребує внутрішнього розподілу пасажиро- та вантажопотоків.

Для залізничного та інших видів транспорту, що взаємодіють під час мультимодальних перевезень, до переваг спільного використання шляхів сполучення та транспортних вузлів пасажирським і вантажним рухомим складом належать наступні: виправданими є великі капітальні затрати на побудову, облаштування та (або) модернізацію шляхів сполучення; єдині вкладення в розміщення та утримання транспортних вузлів [74].

Враховуючи ці переваги, транспортні системи багатьох країн, серед яких і українська, намагаються одночасно поліпшувати сегменти пасажирських і вантажних перевезень. Проте, зазвичай один з сегментів займає пріоритетне положення. В більшості випадків, пріоритет надається пасажирському сектору, тому основні капіталовкладення направлені на модернізацію та оснащення існуючих, або побудову нових шляхів сполучення з метою досягнення більш високих експлуатаційних швидкостей пасажирського рухомого складу. Також, значні інвестиції спрямовують на поліпшення сервісу пасажирських перевезень. Вивільнення шляхів для пасажирського або швидкісного пасажирського руху, призводить до дисбалансу вантажних

перевезень та додаткового навантаження на колії спільного користування. Тому, рух вантажних поїздів здійснюється коліями, які були оптимізовані для легких пасажирських потоків. Через низькі експлуатаційні швидкості, вантажні поїзди часто виключаються з денних графіків руху, а нічні перевезення не завжди можуть задовольнити потреби вантажовідправників. Така несумісність призводить до втрати значної частки обсягів вантажних перевезень.

Основні причинами, що спонукають до розділення руху пасажирських і вантажних поїздів з виділенням оптимального маршруту для руху вантажного рухомого складу наведено на рис. 2.1 [75, 76].

Рис. 2.1 Причини доцільності розділення потоків пасажирського і вантажного рухомого складу

Багато країн у світі серед яких держави-члени ЄС (Німеччина, Нідерланди, Польща), а також Мексика та США, Канада, Австралія, Китай мають досвід розділення транспортних потоків вантажних і пасажирських поїздів, з виділенням маршрутів виключно вантажного руху [21, 77-79]. Основою мультимодальної транспортної мережі Європейського Союзу є вантажні залізничні коридори – Rail Freight Corridors (RFCs), Додаток Г. Основна мета формування мережі RFCs – створення єдиного європейського простору залізничних вантажних перевезень, а також вирішення наступних завдань: зміцнення співпраці держав в галузі управління інфраструктурою, виділення та розподіл маршрутів, інтероперабельність взаємодіючих систем, розвиток інфраструктури; досягнення балансу вантажних і пасажирських перевезень; сприяння мультимодальності між залізничним та іншими видами транспорту за рахунок інтеграції терміналів у вантажний коридор [80, 81].

Розділення потоків пасажирського і вантажного руху за кордоном в цілому має позитивний ефект для галузі залізничних вантажних перевезень, мультимодальних перевезень, і для економіки цих країн. Воно сприяло збільшенню обсягів вантажних перевезень, підвищенню їхньої ефективності та рентабельності [75].

2.2 Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах

2.2.1 Обґрунтування показників оптимальності маршруту перевезень

Будь-яка складна система визначається трьома категоріями: елементом, відношенням, властивістю. Однозначний і повний опис цих категорій визначають систему, її структуру та ефективність [44].

Основним призначенням (функцією) системи залізничних вантажних перевезень (СЗВП) є задоволення попиту на перевезення вантажів, а саме своєчасна доставка вантажу в повному обсязі з мінімальними витратами на перевезення. Виходячи із призначення СЗВП, її структуру можна подати наступними компонентами – транспортна робота, матеріально-технічна база, експлуатаційна робота, економічна ефективність, рис. 2.2.

Рис. 2.2 Структура системи залізничних вантажних перевезень

Наведені компоненти структури СЗВП, у відповідності до основного призначення системи, визначаються сукупністю факторів, що впливають на її ефективність у цілому і формують систему показників та критеріїв оптимальності.

Фактори, що впливають на вибір маршруту перевезення вантажу залізничним рухомим складом: організаційні (технологічні), технічні (експлуатаційні) та економічні [82].

1. Організаційні (технологічні) фактори:

1.1 учасники перевізного процесу:

1.1.1 кількість видів транспорту, що задіяно в перевізному процесі;

1.1.2 спосіб перевалки вантажу між видами транспорту;

1.1.3 наявний рухомий склад та його відповідність для перевезень пред’явлених вантажів за групами;

1.1.4 відповідальність осіб, що організовують перевезення;

1.1.5 професійність осіб, що здійснюють перевезення:

1.1.5.1 вік;

1.1.5.2 кваліфікація;

1.1.5.3 досвід роботи.

1.2 маршрут перевезення:

1.2.1 географічне розташування пунктів відправлення і призначення (відстань);

1.2.2 завантаженість маршруту перевезення (кількість пасажирського і вантажного рухомого складу на дистанції слідування);

1.2.3 складність маршруту:

1.2.3.1 кількість пунктів заїзду;

1.2.3.2 швидкість руху транспортних засобів на маршруті;

1.2.3.3 походження та призначення вантажу;

1.2.3.4 перевезення вантажу у внутрішньому сполученні;

1.2.3.5 експорт, імпорт, транзит вантажу з необхідністю перетину кордону, митного оформлення, зміни ширини колії тощо;

1.2.3.6 завантаженість митних пунктів їх пропускна спроможність;

1.2.4 сезонність та форс-мажорні обставини:

1.2.4.1 пора року;

1.2.4.2 час доби;

1.2.4.3 погодні умови;

1.2.4.4 інші непередбачувані обставини, що можуть спричинити простій та затримку руху транспортного засобу на маршруті.

1.3 обробка рухомого складу та вантажу в пунктах відправлення / призначення / перевалки:

1.3.1 потужність транспортного вузла, станції чи підприємства (можливість одночасного формування відправок);

1.3.2 наявність календарного планування операцій, графіків прийому та відправлень рухомого складу;

1.3.3 узгодженість роботи вантажно-розвантажувальних засобів з графіком подачі рухомого складу під навантаження;

1.3.4 кількість та швидкість оформлення супровідної документації;

1.3.5 своєчасність оповіщення одержувача про дату і час прибуття рухомого складу на станцію (в залежності від наявності або відсутності попередньої домовленості).

2. Група технічних (експлуатаційні) факторів:

2.1 рухомий склад та обладнання:

2.1.1 кількість одиниць рухомого складу, технічний стан, вага рухомого складу, екіпірування;

2.1.2 вид тяги (локомотив, тепловоз, електровоз);

2.1.3 відповідність типу рухомого складу для транспортування вантажу (контейнера) і обладнання для енергозабезпечення (у випадку перевезення рефрижераторних контейнерів).

2.2 інфраструктура:

2.2.1 стан колій (ширина, допустиме осьове навантаження, градієнти, радіуси кривих, електрифікація, довжина приймально-відправних колій тощо), їхня кількість;

2.2.2 стан та кількість інших інфраструктурних об’єктів (ремонтних пунктів, пунктів екіпірування);

2.2.3 системи керування перевезеннями:

2.2.3.1 інформаційне та програмне забезпечення;

2.2.3.2 технічне забезпечення (засоби збору, передачі, обробки, накопичення і видачі даних).

2.3 вантаж, що пред’явлено до транспортування:

2.3.1 вид вантажу, стан;

2.3.2 кількість вантажу, розмір, вага;

2.3.3 транспортабельність пред’явленого вантажу;

2.3.4 тара, пакування тощо.

2.4 пункт обробки вантажу:

2.4.1 оснащення пункту обробки, а саме наявність та кількість спеціального вантажно-розвантажувального обладнання (в т.ч. механізованих засобів завантаження контейнерів на контейнеровоз), обладнання для зміни ширини колії тощо;

2.4.2 кількість під’їзних шляхів;

2.4.3 кількість рамп;

2.4.4 наявність складських приміщень.

3. Група економічних факторів:

3.1 собівартість перевезень;

3.2 тарифікація перевезень;

3.3 витрати:

3.3.1 матеріальні (паливо, електроенергія, придбання одиниць рухомого складу тощо);

3.3.2 оплата праці;

3.3.3 відрахування на соціальні заходи;

3.3.4 амортизація;

3.3.5 інші операційні витрати;

3.4 прибутки;

3.5 митні збори тощо.

Основні показники роботи кожного виду транспорту можна розділити на загальні для всіх видів транспорту та специфічні (притаманні певному виду транспорту). До загальних показників належать: обсяг перевезень (відправлень) вантажів та пасажирів; вантажообіг та пасажирообіг; середня дальність перевезень; густота мережі перевезень. До специфічних кількісних та якісних показників роботи залізниці відносять оборот вагона, середньодобовий пробіг вагона, продуктивність вагона та локомотива, використання пасажиромісткості вагона, середньодобова продуктивність вагону робочого парку, середньодобова продуктивність локомотива [83, 84]. До інших вагомих показників залізничних перевезень відносять середню фактичну масу вантажного поїзда, нормативну, або граничну масу поїзда, коефіцієнт використання місткості пасажирських вагонів, середню населеність вагона [19].

В загальному показники залізничних перевезень умовно поділено на групи: умовно-натуральні, експлуатаційно-технічні та економічні (вартісні), рис. 2.3.

Рис. 2.3 Показники залізничних перевезень

В системі залізничних вантажних перевезень та системах інших взаємодіючих під час мультимодального перевезення видів транспорту, для досягнення позитивного ефекту від функціонування організаційної (технологічної) і технічної (експлуатаційної) складової існує потреба у збільшенні певних витрат. Оскільки цей ресурс є обмеженим, тому природним є намагання зменшити витрати в системі. Отже, категорія економічних факторів впливає на ефективність функціонування системи, а зменшення економічних витрат найчастіше призводить до погіршення її властивостей. Обмеженим ресурсом також є інфраструктура (категорія технічних факторів), що спроможна пропустити певну кількість одиниць рухомого складу за одиницю часу (організаційні фактори), перевищення цього ліміту призводить до зношування основних фондів, та замість позитивного економічного ефекту призводить до збільшення витрат. Таким чином, спостерігається вплив технічних факторів на економічну та організаційну складову системи.

Зазначені категорії факторів та загальних показників для видів транспорту, що взаємодіють під час мультимодального перевезення упорядковані у вигляді інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах, рис. 2.4 [85].

Основними критеріями ефективності вибору маршруту перевезення вантажу визначено наступні:

F_1 – тривалість доставки вантажів;

F_2 – продуктивність рухомого складу та обладнання;

F_3 – спроможність транспортної мережі (інфраструктурних об’єктів);

F_4 – економічна ефективність.

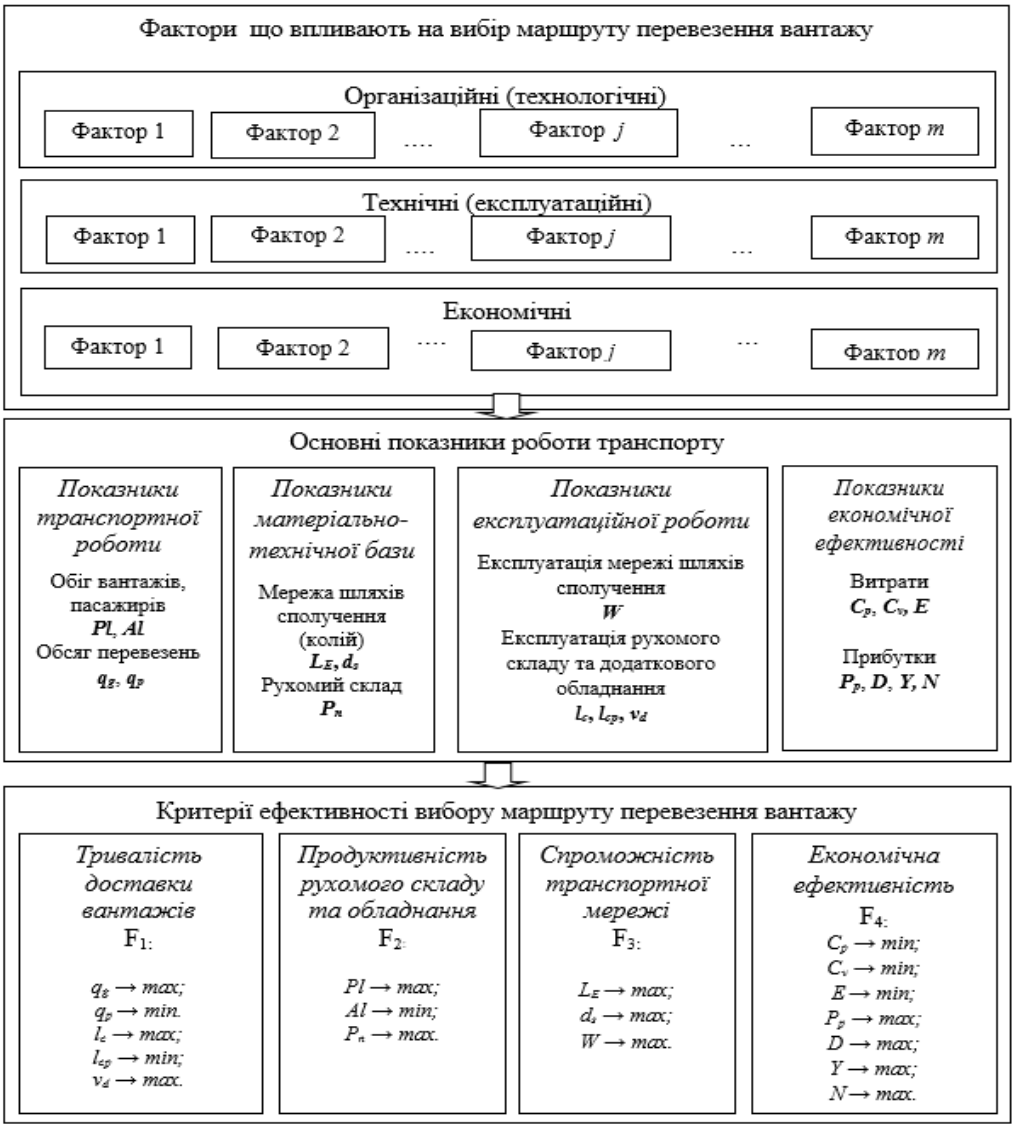


Рис. 2.4 Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажу

Модель, яка показана на рис. 2.4 дозволяє сформувати систему суперечних частинних критеріїв оптимальності маршруту, яка свідчить про отримання багатокритеріальної оптимізаційної задачі визначення оптимального маршруту перевезень, вираз (2.1):

$$\delta = \begin{cases} q_g \to \max; q_p \to \min; l_c \to \max; l_{cp} \to \min; \\ v_d - \max; Pl \to \max; Al \to \min; \\ P_n \to \max; L_E \to \max; d_s \to \max; \\ W \to \max; C_p \to \min; C_v \to \min; P_p \to \max; \\ D \to \max; E \to \min; Y \to \max; N \to \max. \end{cases} \quad (2.1)$$

Пояснення фізичної сутності встановлених показників і критеріїв оптимальності згідно з позначеннями, наведено в табл. 2.1.

Сформована система частинних критеріїв є суперечливою, що випливає з таких міркувань. Одночасне нарощування обсягів перевезень вантажів та пасажирів одними шляхами буде негативним чином впливати на пропускну та провізну здатність елементів транспортної мережі. Таким чином, сукупність суперечливих частинних критеріїв оптимальності маршруту, свідчить про зведення задачі синтезу до багатокритеріальної форми [32, 33]. Тоді формування математичної моделі розподілу транспортних потоків полягатиме у встановленні відношення між частинними критеріями оптимальності системи шляхом розв'язання багатокритеріальної оптимізаційної задачі.

Таблиця 2.1

Узагальнена таблиця показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажу

Узагальнений показник	Частковий показник	Напрям екстремуму	Фізична сутність
1	2	3	4
F_1	q_g	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	max	*Вантажообіг*
	Al	min	*Пасажирообіг*
	P_n	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	max	*Експлуатаційна довжина шляху між пунктами*
	d_s	max	*Густота мережі*
	W	max	*Інтенсивність перевезень*

Продовж. табл. 2.1

1	2	3	4
F_4	C_p	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_v	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	max	*Продуктивність праці*
	D	max	*Доходи*
	E	min	*Витрати*
	Y	max	*Прибуток*
	N	max	*Плата за перевезення вантажу*

2.2.2 Розрахунок частинних критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів

Відповідно до факторів, що впливають на вибір маршруту, наведено групи показників перевезень:

показники транспортної роботи (вантажообіг Pl, пасажирообіг Al, обсяг перевезення вантажів q_g, обсяг перевезення пасажирів q_p);

показники матеріально-технічної бази (довжина мережі залізниць L_E, густота мережі шляхів сполучення d_s, вантажопідйомність вагону P_n);

показники експлуатаційної роботи (середня дальність перевезення вантажів l_c (пасажирів l_{cp}), швидкість доставки v_d, приведена вантажонапруженість W);

показники економічної ефективності й фінансові (собівартість перевезення вантажів C_v (пасажирів C_p), продуктивність праці P_p, доходи D, витрати E, прибуток Y, плата за перевезення N.

Пояснення розрахунків, що описують зміну частинних критеріїв наведене для етапу транспортування вантажу залізничнит транспортом.

Розрахунок показників транспортної роботи.

Обсяг перевезеного вантажу, q_g, або перевезення вантажу в тонах по транспортному об'єкту й підрозділу за розрахунковий період складається з елементарних вантажопотоків q_E і визначається за виразом [86]:

$$q_g = \sum_{1}^{n} q_E \,. \tag{2.2}$$

Елементарним вантажопотоком називається одиничний об'єм перевезень, що являє собою потік вантажів певної якості, що має стійкі по тривалості напрямок і обсяг за одиницю часу.

Для залізниці характерні наступні елементарні вантажопотоки за видами сполучень: ввіз, вивіз, транзит та місцева робота (місцеве сполучення).

Ввіз – кількість вантажу в тонах q_1, що поступили за обліковий період для клієнтів, розміщених у межах даного транспортного об'єкта (підрозділу).

Вивіз – кількість вантажу в тонах q_2, вивезеного з підприємства-клієнтів за межі даного транспортного об'єкта (підрозділу).

Транзит – продукція в тонах q_3, що вироблена й споживається за межами даного транспортного об'єкта (підрозділу) і лише перевезена по його мережі.

Місцеве сполучення – перевезення продукції в тонах q_4, яке зроблене й спожите в межах даного об'єкта (організації).

Загальний обсяг перевезеного вантажу визначається за формулою [86]:

$$q_g = q_1 + q_2 + q_3 + q_4, \tag{2.3}$$

Обсяг перевезення пасажирів (відправлення пасажирів), q_p – показник, що характеризує обсяг роботи мережі, дороги або відділення доріг з перевезення пасажирів. Кількість відправлених пасажирів визначається за кількістю проданих білетів [87].

Вантажообіг, Pl, є синтетичним показником, що враховує не тільки масу (тоннаж) перевезеного вантажу, але й відстань його транспортування [86, 20]. Вантажообіг визначається за наступною формулою:

$$Pl = \sum ql = q_1 l_1 + q_2 l_2 + \ldots + q_i l_i, \tag{2.4}$$

де $q_1 l_1$, $q_2 l_2$, $q_i l_i$ – вантажообіг окремих партій вантажів (q_1, q_2, q_i) при відповідній відстані перевезення (l_1, l_2, l_i).

Вантажообіг визначається не тільки за загальною масою вантажів, але і за найважливішими видами вантажів.

Пасажирообіг, Al характеризує розміри роботи з перевезення пасажирів та визначається як сума добутків кількості пасажирів на відповідну відстань [86].

$$Al = A_1 l_1 + \ldots + A_i l_i, \tag{2.5}$$

де A_i – кількість відправлених пасажирів, що слідують на відстань l_i.

Розрахунок показників матеріально-технічної бази.

Експлуатаційна довжина шляху, L_E – загальна протяжність залізничних колій, що призначена виключно для руху залізничних транспортних засобів, довідкові дані [88, 89].

Густота мережі, d_s, визначається відношенням протяжності експлуатаційної довжини мережі L_E, до площі території S [86]:

$$d_S = \frac{1000 \cdot L_E}{S}, \tag{2.6}$$

Вантажопідйомність вагону, P_n – найбільша маса вантажу, що допускається до перевезень у вагоні [90, 91], визначається за формулою:

$$P_n = \frac{p_0 m_0}{1 + k_t}, \tag{2.7}$$

де p_0 – допустиме осьове навантаження, Кн; m_0 – кількість колісних пар в вагоні; k_t – технічний коефіцієнт тари в вагоні. Для розрахунків можуть використовуватись довідкові дані.

Розрахунок показників експлуатаційної роботи.

Середня дальність перевезення вантажу, l_c – це відстань, на яку перевозиться кожна тонна вантажу у середньому, тобто середня відстань від станції відправлення до станції призначення вантажу, визначається як відношення вантажообігу нетто Pl до обсягу перевезень q_g [86]:

$$l_c = \frac{Pl}{q_g}, \tag{2.8}$$

Середня дальність перевезення одного пасажира, $l_{ср}$, визначається як відношення пасажирообігу Al до обсягу перевезень пасажирів q_p [86]:

$$l_{ср} = \frac{Al}{q_p}, \tag{2.9}$$

Швидкість доставки вантажу, v_d – середня швидкість переміщення вантажу від моменту приймання його залізницею до моменту видачі одержувачу та визначається в км/год або в кілометрах за добу (км/добу) [86]:

$$v_d = \frac{l_g}{T_g}, \tag{2.10}$$

де l_g – дальність пробігу вантажу; T_g – загальний час знаходження вантажу на транспорті.

Розрізняють ходову, технічну, дільничну та маршрутну швидкості перевезень [92, 20]. При перевезеннях більшості звичайних вантажів в універсальних вагонах дрібними відправленнями швидкість умовно приймають у розмірі 180 км за добу; вагонними відправленнями — 330 км за добу, маршрутними — 550 км за добу; перевезення великою швидкістю (в

швидких поїздах в одному напрямку), застосовується для перевезень вантажів з обмеженими термінами зберігання, для перевезень цінних вантажів, інших вантажів за бажанням вантажовідправника і за узгодженням з залізницею. При таких перевезеннях норма пробігу вагона з вантажем становлять від 550 км за добу (при перевезеннях дрібними відправленнями) до 660 км за добу (при перевезеннях у вагоні рефрижераторі); перевезення багажною швидкістю (у вантажних вагонах пасажирських поїздів). У цьому разі швидкість перевезення залежить від розкладу руху конкретного пасажирського поїзда.

Приведена вантажонапруженість, W – це показник інтенсивності перевезень, що характеризує обсяг перевезень вантажів та пасажирів на розглянутій залізничній лінії за розрахунковий період та визначається за формулою:

$$W = \frac{\sum Pl + \sum Al}{L_E}, \tag{2.12}$$

де $\sum Pl$ – вантажообіг; $\sum Al$ – пасажирообіг; L_E – експлуатаційна довжина лінії, що дорівнює протяжності залізничних колій між станціями [93, 20].

Розрахунок показників економічної ефективності.

Собівартість перевезень, C_p, C_v (пасажирів, вантажів відповідно) [94, 95, 86, 20] визначається за формулою:

$$C_{p,v} = \frac{C_i}{l} + c_{p,v},$$

де C_i – собівартість початково-кінцевих операцій; $c_{p,v}$ – собівартість операцій з переміщення пасажирів (вантажів); l – дальність перевезення.

Також собівартість перевезень може бути визначено як добуток розрахункової ставки перевезень та пасажирообігу (вантажообігу):

$$C_{p,v} = Al(Pl) \cdot c_{r(p,v)}, \tag{2.13}$$

Ступінь впливу дальності перевезень на їхню собівартість залежить від технології виконання початково-кінцевих операцій та операцій з транспортування. Саме вони визначають співвідношення затрат на ці операції. Собівартість перевезень залізницею на короткі дистанції (до 50-100 км) значно вища ніж на середні (в 4-5 разів), оскільки такі перевезення здійснюються, як правило збірними поїздами, що мають меншу масу та дільничну швидкість через більшу кількість довготривалих зупинок на проміжних станціях. При збільшенні відстані до 500км та більше собівартість залізничних перевезень суттєво знижується, що визначає найбільш вигідну сферу застосування залізничного транспорту на середніх та дальніх дистанціях.

Продуктивність праці, P_P – це ефективність виробничої діяльності працівників, виражена співвідношенням витрат праці й кількості зроблених матеріальних благ, один з найважливіших показників ефективності виробництва [96]. Показник продуктивності праці визначають в тисячах приведених тонно-кілометрів на одного працівника [97]:

$$P_P = \frac{\sum Pl_c}{H_e}, \tag{2.14}$$

де $\sum Pl_c$ – річний обсяг транспортної роботи в приведених тонно-кілометрах; H_e – середньооблікова чисельність робітників, зайнятих в експлуатаційній роботі.

$$H_e = \frac{a}{b}, \tag{2.15}$$

де a – загальна чисельність співробітників; b – загальна кількість станцій залізниці.

Також існує інший підхід до визначення продуктивності праці на транспорті, як до частки доходу або прибутку, що припадає на одного

працівника. Враховуються робітників всіх сфер діяльності залізничного транспорту, а не тільки тих що зайняті в перевізному процесі:

$$P_P = \frac{\sum D}{H_O},$$
$$P_P = \frac{\sum R}{H_O}. \quad (2.16)$$

де $\sum D$, $\sum R$ – відповідно річний дохід та прибуток транспорту від всіх видів діяльності; H_O – загальна середньорічна чисельність робітників транспорту.

Доходи від перевезення, D – кошти, які належать залізниці за виконані в її межах перевезення і пов'язані з ними послуги. На підприємствах основної діяльності залізничного транспорту дохід складається із доходів від перевезень, доходів від підсобно-допоміжної діяльності, доходів від іншої операційної діяльності та інших доходів. Доходні надходження – платежі, нараховані за перевезення вантажів, пасажирів, багажу, вантажобагажу, пошти, і пов'язані з ними послуги, що підлягають розподілу між залізницями, які беруть участь у перевезеннях. Отримані дохідні надходження від перевезень вантажів і пасажирів акумулюються на рахунку Укрзалізниці, після чого розподіляються у відповідності, утворюючи доходи за відповідними групами [98, 95].

$$D = D_G + D_P \quad (2.17)$$

де D_G – доходи від вантажних перевезень та додаткових платежів та зборів; D_P – доходи від пасажирських перевезень формуються за рахунок доходних надходжень від продажу квитків та місцевих доходів і додаткових зборів, до яких належать доходи за попередній продаж квитків, користування камерою зберігання та кімнатами відпочинку, за послуги автостоянки та ін.

Доходи від підсобно-допоміжної діяльності можуть бути отримані за виконання ряду допоміжних операцій, до таких видів діяльності належать:

вантажно-розвантажувальні роботи на місцях загального користування, обслуговування та ремонт пристроїв, користування під'їзними коліями, утримання діяльності з громадського харчування, від надання послуг пасажирам у поїздах, надання послуг (локомотива, зв'язку) та ін. Доходи від іншої операційної діяльності на залізничному транспорті – реклама, оренда, цільове фінансування, реалізація дизельного палива та ін.

Витрати від перевезень, E визначаються на основі середніх показників собівартості на відповідний обсяг перевезень вантажів та пасажирів [95] за формулою:

$$E = E_G + E_P, \tag{2.19}$$

де E_G – витрати від вантажних перевезень; E_P – витрати від пасажирських перевезень.

Витрати від підсобно-допоміжної діяльності визначаються як поточні витрати на виконання відповідних допоміжних операцій та (або) організацію виробництва. Витрати від іншої операційної діяльності можуть виникати у зв'язку з дослідницькими роботами та розробками, реалізацією виробничих запасів, як результат дебіторської заборгованості, втрат від знецінення запасів та псування цінностей, виплат штрафів, пені, витрат на виплату матеріальної допомоги, на утримання об'єктів соціально-культурного призначення та ін.

Прибуток, Y – це показник, що характеризує всю господарську діяльність залізниць і підприємств транспорту [87, 95]. Він визначається як різниця між доходами і експлуатаційними витратами:

$$Y = D - E, \tag{2.20}$$

де D – сумарні доходи за вироблену і реалізовану продукцію, роботу і послуги; E – експлуатаційні витрати.

Плата за перевезення вантажів N, визначається за Тарифним керівництвом №4 залізниць України наступним чином: визначається відстань

перевезення (далі – тарифна відстань); встановлюються характерні особливості перевезення вантажу (швидкопсувний, наливний, небезпечний, великоваговий, негабаритний, спеціальний, військовий, з окремим локомотивом, на зчепі тощо); визначається, до якого виду відправки належить вантаж, що пред'являється для перевезення – вагонної, збірної вагонної, контрейлерної або контейнерної; підбір та застосування відповідної тарифної схемами розрахунку [95, 99].

2.3 Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків

2.3.1 Теоретичні основи побудови графу мультимодальної транспортної мережі

Для розв'язку оптимізаційної задачі розподілу транспортних потоків з вибором оптимального маршруту перевезення в багатокритеріальній формі, альтернативні маршрути описуються графом мультимодальної транспортної мережі. По суті задача вибору маршруту формалізується та вирішується як задача багатокритеріального вибору варіанту обходу графа.

Теорія графів – розділ дискретної математики, що вивчає властивості графів [100]. Графом зазвичай прийнято називати таку конструкцію: задані n точок, довільно розташованих на площині (в просторі). Від деяких точок до інших точок проведені стрілки (або лінії), які часто називають ребрами. Графи позначаються як $G=(V,E)$, де V – множина вершин (точок), а E – множина пар (i,j), де $(i,j \in V)$, які подаються графічно як стрілки або лінії. Пара (i,j) називається дугою (зображується як стрілка) якщо напрямок задано; якщо напрямок не задано, при цьому вершини (точки) пов'язані не стрілкою, а лінією, то пара (i,j), називається ребром. Граф, де всі пари (i,j) – дуги

називається орієнтованим, а де всі пари є ребрами – неорієнтованим. Шляхом в орієнтованому графі $G=(V)$ називається послідовність дуг $e1,e2...,em \in E$, коли кінець кожної попередньої дуги співпадає з початком наступної, тобто коли послідовність дуг має вигляд $(v1,v2),(v2,v3),...,(vk-1,vk)$, де $v_i \in V, i=1,2,...,k$. Для неорієнтованого графа існує аналогічне поняття шляху. Якщо існує шлях (або ланцюг) виду $(v1,v2),(v2,v3),...,(vk-1,v1)$, тобто початок і кінець якого збігаються, то кажуть, що в графі є цикл.

Для побудови графу мультимодальної транспортної мережі, рис. 2.5 вершинами обираються пункти взаємодії видів транспорту, ребрами – шляхи сполучення. Характеристиками ребер графа є реальні відстані між вершинами. Граф мультимодальної транспортної мережі є неорієнтованим, оскільки перевезення може здійснюватись як у прямому так і в зворотньому напрямках. Під маршрутом розуміється незациклена послідовність ребер, з вектором показників і критеріальних вимог для кожного конкретного варіанту маршруту. Часткові показники станцій прокладених маршрутів вносяться до табл. 2.2.

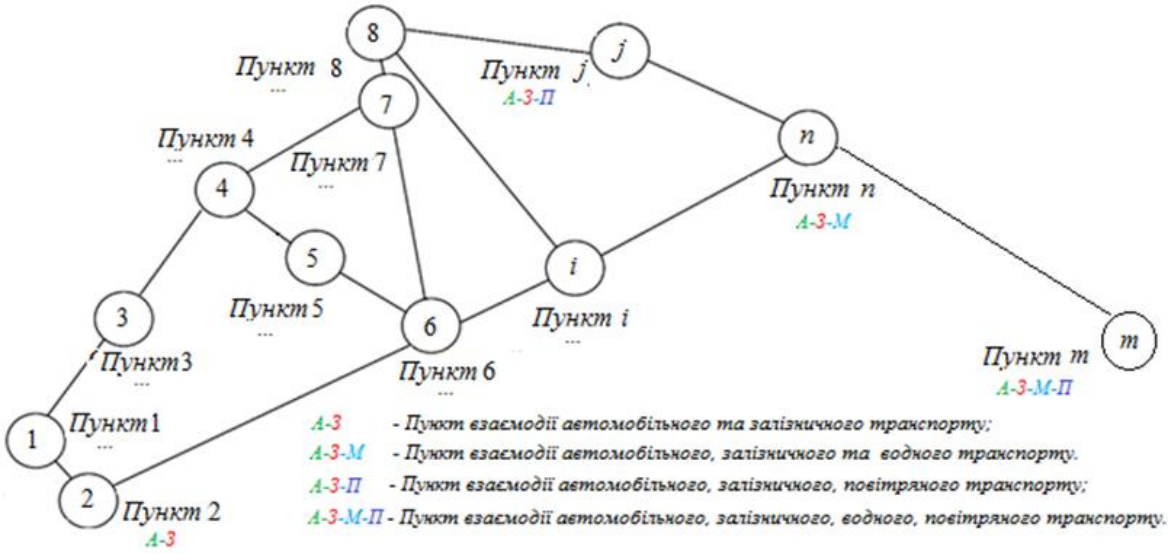


Рис. 2.5 Граф мультимодальної транспортної мережі

Таблиця 2.2

Узагальнена таблиця показників маршрутів перевезення

Маршрут / Показник		M1			Σ_1	…	Mn			Σ_n
		Вершина i_1	…	Вершина j_1		…	Вершина i_n	…	Вершина j_n	
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	q_g^{i1}	…	q_g^{j1}	Σq_g^{ij1}	…	q_g^{in}	…	q_g^{jn}	Σq_g^{ijn}
	q_p	q_p^{i1}	…	q_p^{j1}	Σq_p^{ij1}	…	q_p^{in}	…	q_p^{jn}	Σq_p^{ijn}
	l_c	l_c^{i1}	…	l_c^{j1}	Σl_c^{ij1}	…	l_c^{in}	…	l_c^{jn}	Σl_c^{ijn}
	l_{cp}	l_{cp}^{i1}	…	l_{cp}^{j1}	Σl_{cp}^{ij1}	…	l_{cp}^{in}	…	l_{cp}^{jn}	Σl_{cp}^{ijn}
	v_d	v_d^{i1}	…	v_d^{j1}	Σv_d^{ij1}	…	v_d^{in}	…	v_d^{jn}	Σv_d^{ijn}
F_2	Pl	Pl^{i1}	…	Pl^{j1}	ΣPl^{ij1}	…	Pl^{in}	…	Pl^{jn}	ΣPl^{ijn}
	Al	Al^{i1}	…	Al^{j1}	ΣAl^{ij1}	…	Al^{in}	…	Al^{jn}	ΣAl^{ijn}
	P_n	P_n^{i1}	…	P_n^{j1}	ΣP_n^{ij1}	…	P_n^{in}	…	P_n^{jn}	ΣP_n^{ijn}
F_3	L_E	L_E^{i1}	…	L_E^{j1}	ΣL_E^{ij1}	…	L_E^{in}	…	L_E^{jn}	ΣL_E^{ijn}
	d_s	d_s^{i1}	…	d_s^{j1}	Σd_s^{ij1}	…	d_s^{in}	…	d_s^{jn}	Σd_s^{ijn}
	W	W^{i1}	…	W^{j1}	ΣW^{ij1}	…	W^{in}	…	W^{jn}	ΣW^{ijn}
F_4	C_v	C_v^{i1}	…	C_v^{j1}	ΣC_v^{ij1}	…	C_v^{in}	…	C_v^{jn}	ΣC_v^{ijn}
	C_p	C_p^{i1}	…	C_p^{j1}	ΣC_p^{ij1}	…	C_p^{in}	…	C_p^{jn}	ΣC_p^{ijn}
	P_p	P_p^{i1}	…	P_p^{j1}	ΣP_p^{ij1}	…	P_p^{in}	…	P_p^{jn}	ΣP_p^{ijn}
	D	D^{i1}	…	D^{j1}	ΣD^{ij1}	…	D^{in}	…	D^{jn}	ΣD^{ijn}
	E	E^{i1}	…	E^{j1}	ΣE^{ij1}	…	E^{in}	…	E^{jn}	ΣE^{ijn}
	Y	Y^{i1}	…	Y^{j1}	ΣY^{ij1}	…	Y^{in}	…	Y^{jn}	ΣY^{ijn}
	N	N^{i1}	…	N^{j1}	ΣN^{ij1}	…	N^{in}	…	N^{jn}	ΣN^{ijn}

2.3.2 Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту

Формування критеріальних вимог

Відповідно до моделі підсистемами частинних критеріїв (2.1), система критеріїв, що характеризує оптимальність вибору маршруту перевезення вантажу залізничним рухомим складом F_M для показників унітарного типу у вигляді (2.21), комбінаторні показники оптимального маршруту характеризуватимуться розширенням системи критеріїв (2.22).

$$F_{м} = \begin{cases} F_1 \to \min; \\ F_2 \to \min; \\ F_3 \to \min; \\ F_4 \to \min. \end{cases} \tag{2.21}$$

$$F_1 = \begin{cases} q_g \to \max; \\ q_p \to \min; \\ l_c \to \max; \\ l_{cp} \to \min; \\ v_d \to \max. \end{cases} \quad F_2 = \begin{cases} Pl \to \max; \\ Al \to \max; \\ Pn \to \max. \end{cases} \quad F_3 = \begin{cases} L_E \to \max; \\ d_s \to \max; \\ W \to \max. \end{cases} \quad F_4 = \begin{cases} C_v \to \min; \\ C_p \to \min; \\ P_p \to \max; \\ D \to \max; \\ E \to \min; \\ Y \to \max; \\ N \to \max. \end{cases} \tag{2.22}$$

Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту перевезення за суперечливими критеріями (2.1) реалізується їх зведення до інтегрованої оцінки за нелінійною схемою компромісів відповідно до згортки професора А.М. Вороніна [33, 34-37], із застосуванням технології вкладених згорток. Порівняно з іншими схемами оптимізації згортка має низку переваг. У згортці використовується нелінійна схема компромісів, що дозволяє одержати парето-оптимальне рішення при невеликих обчислювальних витратах. Оптимізаційна задача розв'язується за наявності обмежень, що забезпечує унімодальність функції узагальненого критерію і у будь-якому випадку гарантує отримання єдиного рішення. Згортка дозволяє використовувати мінімаксний підхід, тобто концентруватись на екстремізації домінуючого частинного критерію оптимальності.

Критерій згортки для дискретно заданих частинних критеріїв оптимальності має вигляд [33]:

$$Y(y_0) = \sum_{l=1}^{b} \gamma_{0l} \left(1 - y_{0l}\right)^{-1} \to \min, \tag{2.23}$$

де $l = 1...b$ кількість включених у згортку частинних критеріїв оптимальності; γ_{0l} – нормований ваговий коефіцієнт; y_{0l} – нормативний частинний критерій.

Вимогою застосування згортки (2.23) є нормування параметрів, що входять до їх складу. Нормування забезпечує зведення до єдиної безрозмірної

шкали оцінок частинних критеріїв оптимальності з різною фізичною сутністю та різними за абсолютною величиною значеннями. Це дозволяє рівноправно впливати на результат розв'язання оптимізаційної задачі кожного із частинних критеріїв.

Вагові коефіцієнти нормуються за виразом:

$$\gamma_{0l} = \frac{\gamma_l}{\sum_{l=1}^{b} \gamma_l}, \tag{2.24}$$

де γ_l – поточне (ненормоване) значення вагового коефіцієнта.

Оскільки згортка (2.23) є мінімізованою, тобто включатиме критерії з вимогою їх мінімізації, тоді частинні дискретні критерії оптимальності нормуються відносно суми поточних значень окремо для тих, що мінімізуються (2.25), та для критеріїв, що максимізуються (2.26):

$$\varphi_{0l}^{\min} = \frac{\varphi_l^{\min}}{\sum_{i=1}^{N} \varphi_{li}^{\min}}, \tag{2.25}$$

$$\varphi_{0l}^{\max} = \left(\varphi_l^{\max} \cdot \sum_{i=1}^{N} \frac{1}{\varphi_{li}^{\max}} \right)^{-1}. \tag{2.26}$$

Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів вносяться до табл. 2.3.

Таблиця 2.3

Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів

Показник / Маршрут			M1	M2	…	Mn
Узагальнений показник	Нормований частковий показник	Напрям екстремуму				
1	2	3	4	5	6	7
F_1	q_{g0}	*max*	q_{g0}^1	q_{g0}^2	…	q_{g0}^n
	q_{p0}	*min*	q_{p0}^1	q_{p0}^2	…	q_{p0}^n
	l_{c0}	*max*	l_{c0}^1	l_{c0}^2	…	l_{c0}^n

Продовж. табл. 2.3

1	2	3	4	5	6	7
	l_{cp0}	*min*	l_{cp0}^1	l_{cp0}^2	…	l_{cp0}^n
	v_d	*max*	v_d^1	v_d^2	…	v_d^n
F_2	Pl_0	*max*	Pl_0^1	Pl_0^2	…	Pl_0^n
	Al_0	*min*	Al_0^1	Al_0^2	…	Al_0^n
	P_{n0}	*max*	P_{n0}^1	P_{n0}^2	…	P_{n0}^n
F_3	L_{E0}	*max*	L_{E0}^1	L_{E0}^2	…	L_{E0}^n
	d_{s0}	*max*	d_{s0}^1	d_{s0}^2	…	d_{s0}^n
	W_0	*max*	W_0^1	W_0^2	…	W_0^n
F_4	C_{v0}	*min*	C_{v0}^1	C_{v0}^2	…	C_{v0}^n
	C_{p0}	*min*	C_{p0}^1	C_{p0}^2	…	C_{p0}^n
	P_{p0}	*max*	P_{p0}^1	P_{p0}^2	…	P_{p0}^n
	D_0	*max*	D_0^1	D_0^2	…	D_0^n
	E_0	*min*	E_0^1	E_0^2	…	E_0^n
	Y_0	*max*	Y_0^1	Y_0^2	…	Y_0^n
	N_0	*max*	N_0^1	N_0^2	…	N_0^n

Формування узагальнених критеріїв оптимальності.

Узагальнені критерії оптимальності (2.27) формуються з частинних критеріїв (2.1) згідно із згорткою (2.23) з урахуванням їх нормування та нормування вагових коефіцієнтів за виразами (2.24) – (2.26), [101].

$$F_M = \begin{cases} F_1 \to \min; \\ F_2 \to \min; \\ F_3 \to \min; \\ F_4 \to \min. \end{cases} \tag{2.27}$$

$$F_{1_i} = \left(1 - q_{g_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - q_{p_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - l_{c_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - l_{cp_i 0}\right)^{-1} + \\ + \left(1 - v_{d_i 0}\right)^{-1} \to \min; \tag{2.28}$$

$$F_{2_i} = \left(1 - Pl_{i_0}\right)^{-1} + \left(1 - Al_{i_0}\right)^{-1} + \left(1 - P_{n_i 0}\right)^{-1} \to \min; \tag{2.29}$$

$$F_{3_i} = \left(1 - L_{E_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - d_{s_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - W_{i_0}\right)^{-1} \to \min; \tag{2.30}$$

$$F_{4_i} = \left(1 - C_{v_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - C_{p_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - P_{p_i 0}\right)^{-1} + \left(1 - D_{i_0}\right)^{-1} + \left(1 - E_{i_0}\right)^{-1} + \\ \left(1 - Y_{i_0}\right)^{-1} + \left(1 - N_{i_0}\right)^{-1} \to \min; \tag{2.31}$$

У виразах (2.28) – (2.31) індекс $i = 1 \ldots N$ характеризує відповідні частинні й узагальнені критерії для різних варіантів побудови маршруту, індексом нуль позначені нормовані критерії. Узагальнені критерії оптимальності маршрутів вносяться до табл. 2.4.

Таблиця 2.4

Формування узагальненених критерів оптимальності маршрутів

Маршрут / Показник		M1	M2	…	Mn
Показник	Напрям екстремуму				
$(1-q_{g0})^{-1}$	*max*	$(1-q_{g0})^{-1}{}_1$	$(1-q_{g0})^{-1}{}_2$	…	$(1-q_{g0})^{-1}{}_n$
$(1-q_{p0})^{-1}$	*min*	$(1-q_{p0})^{-1}{}_1$	$(1-q_{p0})^{-1}{}_2$	…	$(1-q_{p0})^{-1}{}_n$
$(1- l_{c0})^{-1}$	*max*	$(1- l_{c0})^{-1}{}_1$	$(1- l_{c0})^{-1}{}_2$	…	$(1- l_{c0})^{-1}{}_n$
$(1- l_{cp0})^{-1}$	*min*	$(1- l_{cp0})^{-1}{}_1$	$(1- l_{cp0})^{-1}{}_2$	…	$(1- l_{cp0})^{-1}{}_n$
$(1- v_d)^{-1}$	*max*	$(1- v_d)^{-1}{}_1$	$(1- v_d)^{-1}{}_2$	…	$(1- v_d)^{-1}{}_n$
		$F_1{}^1$	$F_1{}^2$	…	$F_1{}^n$
$(1- Pl_0)^{-1}$	*max*	$(1- Pl_0)^{-1}{}_1$	$(1- Pl_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- Pl_0)^{-1}{}_n$
$(1- Al_0)^{-1}$	*min*	$(1- Al_0)^{-1}{}_1$	$(1- Al_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- Al_0)^{-1}{}_n$
$(1- P_{n0})^{-1}$	*max*	$(1- P_{n0})^{-1}{}_1$	$(1- P_{n0})^{-1}{}_2$	…	$(1- P_{n0})^{-1}{}_n$
		$F_2{}^1$	$F_2{}^2$	…	$F_2{}^n$
$(1- L_{E0})^{-1}$	*max*	$(1- L_{E0})^{-1}{}_1$	$(1- L_{E0})^{-1}{}_2$	…	$(1- L_{E0})^{-1}{}_n$
$(1- d_{s0})^{-1}$	*max*	$(1- d_{s0})^{-1}{}_1$	$(1- d_{s0})^{-1}{}_2$	…	$(1- d_{s0})^{-1}{}_n$
$(1- W_0)^{-1}$	*max*	$(1- W_0)^{-1}{}_1$	$(1- W_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- W_0)^{-1}{}_n$
		$F_3{}^1$	$F_3{}^2$	…	$F_3{}^n$
$(1- C_{v0})^{-1}$	*min*	$(1- C_{v0})^{-1}{}_1$	$(1- C_{v0})^{-1}{}_2$	…	$(1- C_{v0})^{-1}{}_n$
$(1- C_{p0})^{-1}$	*min*	$(1- C_{p0})^{-1}{}_1$	$(1- C_{p0})^{-1}{}_2$	…	$(1- C_{p0})^{-1}{}_n$
$(1- P_{p0})^{-1}$	*max*	$(1- P_{p0})^{-1}{}_1$	$(1- P_{p0})^{-1}{}_2$	…	$(1- P_{p0})^{-1}{}_n$
$(1- D_0)^{-1}$	*max*	$(1- D_0)^{-1}{}_1$	$(1- D_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- D_0)^{-1}{}_n$
$(1- E_0)^{-1}$	*min*	$(1- E_0)^{-1}{}_1$	$(1- E_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- E_0)^{-1}{}_n$
$(1- Y_0)^{-1}$	*max*	$(1- Y_0)^{-1}{}_1$	$(1- Y_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- Y_0)^{-1}{}_n$
$(1- N_0)^{-1}$	*max*	$(1- N_0)^{-1}{}_1$	$(1- N_0)^{-1}{}_2$	…	$(1- N_0)^{-1}{}_n$
		$F_4{}^1$	$F_4{}^2$	…	$F_4{}^n$

Максимальні та мінімальні значення мінімізуючого і максимізуючого критеріїв групуються у формі абстрактного (найгіршого) маршруту M_A, табл. 2.5.

Таблиця 2.5

Показники абстрактного (найгіршого) маршруту

Маршрут	Показники
M_A	min $q_{g0}^{\max}$; max $q_{p0}^{\min}$; min $l_{c0}^{\max}$; max $l_{cp0}^{\min}$; min $v_d^{\max}$; min $Pl_0^{\max}$;max $Al_0^{\min}$; min $P_{n0}^{\max}$; min $L_{E0}^{\max}$; min $d_{s0}^{\max}$; min $W_0^{\max}$; max $C_{v0}^{\min}$; max $C_{p0}^{\min}$; min $P_{p0}^{\max}$; min $D_0^{\max}$; max $E_0^{\min}$; min $Y_0^{\max}$; min $N_0^{\max}$.

Частинні критерії нормуються відносно максимальних (мінімальних) значень сформованого абстрактного маршруту:

$$\varphi_{0l}^{\min} = \frac{\varphi_l^{\min}}{\max \varphi_l^{\min} + \Delta}, \qquad (2.32)$$

$$\varphi_{0l}^{\max} = \frac{\min \varphi_l^{\max} - \Delta}{\varphi_l^{\max}}, \qquad (2.33)$$

де $\max \varphi_l^{\min}$, $\min \varphi_l^{\max}$ – максимальні та мінімальні значення мінімізуючого і максимізуючого критеріїв на інтервалі їх розгляду; Δ – коефіцієнт запасу, $\Delta = 0{,}03$.

Критерії, нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень абстрактного маршруту M_A за виразами (2.32), (2.33) вносяться в табл. 2.6.

Таблиця 2.6

Критерії нормовані відносно значень маршруту M_A

Маршрут / Нормований показник	M1	M2	…	Mn
1	2	3	4	5
$q_{g0}^{\max}$	$q_{g0}^{\max}{}_1$	$q_{g0}^{\max}{}_2$	…	$q_{g0}^{\max}{}_n$
$q_{p0}^{\min}$	$q_{p0}^{\min}{}_1$	$q_{p0}^{\min}{}_2$	…	$q_{p0}^{\min}{}_n$
$l_{c0}^{\max}$	$l_{c0}^{\max}{}_1$	$l_{c0}^{\max}{}_2$	…	$l_{c0}^{\max}{}_n$
$l_{cp0}^{\min}$	$l_{cp0}^{\min}{}_1$	$l_{cp0}^{\min}{}_2$	…	$l_{cp0}^{\min}{}_n$
$v_d^{\max}$	$v_d^{\max}{}_1$	$v_d^{\max}{}_2$	…	$v_d^{\max}{}_n$
$Pl_0^{\max}$	$Pl_0^{\max}{}_1$	$Pl_0^{\max}{}_2$	…	$Pl_0^{\max}{}_n$

Продовж. табл. 2.6

1	2	3	4	5
$Al_0^{\min}$	$Al_0^{\min}{}_1$	$Al_0^{\min}{}_2$	…	$Al_0^{\min}{}_n$
$P_{n0}^{\max}$	$P_{n0}^{\max}{}_1$	$P_{n0}^{\max}{}_2$	…	$P_{n0}^{\max}{}_n$
$L_{E0}^{\max}$	$L_{E0}^{\max}{}_1$	$L_{E0}^{\max}{}_2$	…	$L_{E0}^{\max}{}_n$
$d_{s0}^{\max}$	$d_{s0}^{\max}{}_1$	$d_{s0}^{\max}{}_2$	…	$d_{s0}^{\max}{}_n$
$W_0^{\max}$	$W_0^{\max}{}_1$	$W_0^{\max}{}_2$	…	$W_0^{\max}{}_n$
$C_{v0}^{\min}$	$C_{v0}^{\min}{}_1$	$C_{v0}^{\min}{}_2$	…	$C_{v0}^{\min}{}_n$
$C_{p0}^{\min}$	$C_{p0}^{\min}{}_1$	$C_{p0}^{\min}{}_2$	…	$C_{p0}^{\min}{}_n$
$P_{p0}^{\max}$	$P_{p0}^{\max}{}_1$	$P_{p0}^{\max}{}_2$	…	$P_{p0}^{\max}{}_n$
$D_0^{\max}$	$D_0^{\max}{}_1$	$D_0^{\max}{}_2$	…	$D_0^{\max}{}_n$
$E_0^{\min}$	$E_0^{\min}{}_1$	$E_0^{\min}{}_2$	…	$E_0^{\min}{}_n$
$Y_0^{\max}$	$Y_0^{\max}{}_1$	$Y_0^{\max}{}_2$	…	$Y_0^{\max}{}_n$
$N_0^{\max}$	$N_0^{\max}{}_1$	$N_0^{\max}{}_2$	…	$N_0^{\max}{}_n$

Нормування узагальнених критеріїв здійснюється за умов їх мінімізації згідно з виразом (2.24):

$$F_{i_0} = F_i / F_{\max} \qquad (2.34)$$

де $F_{\max}$ – найгірша оцінка певного варіанта побудови системи.

Параметр $F_{\max}$ визначається окремо для кожного узагальненого критерію (2.28) – (2.31) і формується із найгірших (для нормованих – максимальних) значень, що описують зміну частинних критеріїв при розгляді всіх сформованих варіантів її побудови.

Розрахункові значення нормованих узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів вносяться в табл. 2.7

Таблиця 2.7

Значення нормованих узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів

Критерій / Маршрут	F_{10}	F_{20}	…	F_{40}
M1	F_{10}^1	F_{20}^1	…	F_{40}^n
M2	F_{10}^2	F_{20}^2	…	F_{40}^n
…	…	…	…	…
Mn	F_{10}^{14}	F_{20}^{14}	…	F_{40}^n

Інтегрований критерій оптимальності визначається за нормованими узагальненими критеріями, що являє собою багатокритеріальну оптимізаційну модель (2.35).

$$F_{Mi} = (1 - F_{10})^{-1} + (1 - F_{20})^{-1} + (1 - F_{30})^{-1} + (1 - F_{40})^{-1} \to \min. \qquad (2.35)$$

Розрахункові значення нормованих узагальнених критеріїв маршрутів вносяться до табл. 2.8.

Таблиця 2.8

Розрахункові значення нормованих узагальнених критеріїв маршрутів

Критерій / Маршрут	$(1 - F_{10})^{-1}$	$(1 - F_{20})^{-1}$	$(1 - F_{30})^{-1}$	$(1 - F_{40})^{-1}$
M1	$(1 - F_{10}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{20}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{30}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{40}^{n})^{-1}$
M2	$(1 - F_{10}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{20}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{30}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{40}^{n})^{-1}$
…	…	…	…	…
Mn	$(1 - F_{10}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{20}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{30}^{n})^{-1}$	$(1 - F_{40}^{n})^{-1}$

Розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності вносять до табл. 2.9

Таблиця 2.9

Розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності маршрутів

Критерій / Маршрут	F_{Mi}
M1	F_{M1}
M2	F_{M2}
…	…
Mn	F_{Mn}

Вибір оптимального маршруту полягає в аналізі значень, що описують зміну інтегрованого критерію оптимальності. У цьому випадку оптимальним припускатиметься маршрут $i = 1...N$, для якого буде виконуватись вимога мінімізації критерію (2.36).

$$N_{opt} = i, \quad якщо \quad F_{M\,i} \to \min. \qquad (2.36)$$

2.3.3 Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту

Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту і прийняття остаточного рішення здійснюється за інтегрованою оцінкою (2.35), яку слід пронормувати до найгіршого варіанта оцінювання ефективності системи загалом відповідно до виразу:

$$F_{M0} = 1 - \frac{F_{Mi}}{\max F_M}; \tag{2.37}$$

Розрахунок $\max F_M$ за виразом (2.38):

$$\max F_M = (1-[\max F_{1_0} - \Delta])^{-1} + (1-[\max F_{2_0} - \Delta])^{-1} + (1-[\max F_{3_0} - \Delta])^{-1} + (1-[\max F_{4_0} - \Delta])^{-1}. \tag{2.38}$$

Після нормування інтегрованої оцінки матимемо її зміну у межах від нуля до одиниці з найвищою оцінкою – наближеною до одиниці, а найнижчою – наближеною до нуля. Рішення приймається суб'єктивно на підставі інтегрованої оцінки у вигляді лінгвістичної категорії «добре – погано» із застосуванням фундаментальної шкали оцінок [102].

Розподіл показника інтегрованої оцінки ефективності F_{M0} від максимального до мінімального значення в межах лінгвістичної категорії, дозволяє ранжувати маршрути за пріоритетом, P^i, де i – порядковий номер пріоритету. Маршруту з пріоритетом P^1 вважається оптимальним, табл. 2.10.

Таблиця 2.10

Фундаментальна шкала оцінок

Інтегрована оцінка ефективності F_{M0}	Лінгвістична категорія ефективності	Ранг маршруту (пріоритет)
1,0 – 0,7	Висока	P^1
0,7 – 0,5	Добра	…
0,5 – 0,4	Задовільна	…
0,4 – 0,2	Низька	…
0,2 і менше	Незадовільна	P^n

Результати математичного моделювання доводять, що отримана згідно із запропонованим підходом математична модель забезпечує вибір оптимального достовірного маршруту перевезення.

Висновки до розділу 2

В другому розділі дисертаційного дослідження розроблено математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

1. Наведено основні причини, що провокують конфлікт вантажних та пасажирських транспортних потоків за умови інтенсивного використання шляхів сполучення спільного користування. Проаналізовано закордонний досвід та обґрунтовано доцільність розділення руху транспортних потоків з визначенням оптимального маршруту доставки вантажів.

2. Для формалізації задачі визначення оптимального маршруту перевезення в багатокритеріальній формі розроблено інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажу в мультимодальних транспортних мережах. В основу моделі покладено ієрархією вкладених груп критеріїв.

3. Для розв’язку оптимізаційної задачі в багатокритеріальній формі з метою підвищення ефективності управління транспортними потоками за компромісним відношенням вектору показників ефективності до вартості розроблено математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах. В основу моделі покладено багатокритеріальний вибір оптимального маршруту на графах з використанням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів.

РОЗДІЛ 3

АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОГО РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ

3.1 Призначення та вимоги до СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків

Для підвищення ефективності управління транспортними потоками за допомогою АСУ взаємодіючих видів транспорту за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень виникає потреба в розробці архітектури програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах. Програмна система багатокритеріального розподілу транспортних потоків належить до класу експертних систем спеціального призначення, підклас – система підтримки прийняття рішень (СППР).

За визначенням СППР – це програма, що забезпечує ОПР рекомендаціями і рішеннями в близькому до реального масштабу часу перебігу контрольованої ситуації на основі наявних бази даних, бази знань і зовнішніх даних, що змінюються. Основна властивість СППР полягає в оперативному отриманні актуальних та своєчасних рішень за динамічно оновленими даними [27, 28].

Призначенням СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків є підтримка прийняття рішення диспетчера автоматизованих систем управління перевезеннями про вибір оптимального маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах. Реалізація архітектурних рішень відносно розробки програмно-алгоритмічного забезпечення СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків передбачає

впровадження системи на програмно-апаратних комплексах АСУ взаємодіючих видів транспорту, рис. 3.1. Система базується на використанні в розрахунковому блоці структурних елементів, що забезпечують отримання обумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, як результат синергетичного об'єднання розробленої інфологічної моделі факторів та показників і удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків [103].

Рис. 3.1. Реалізація архітектурних рішень СППР на АСУ взаємодіючих видів транспорту

Вимоги до СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

1. Необхідність забезпечення розрахункових операцій у відповідності до розроблених математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

2. Розрахунки слід проводити в режимі реального часу.

3. Вихідні дані для розрахунків повинні бути своєчасно автоматизовано поповнюваними і поновлюваними в on-line режимі із достовірних джерел, що

досягатиметься динамічними технологіями побудови і оновлення бази даних із зв'язком з глобальною мережею Internet.

4. Сформовані рішення мають носити як односкладний характер так і мати можливість тлумачення з формуванням певних рекомендацій і пояснень зрозумілою користувачеві (диспетчеру АСУ) термінологією.

Виконання сформованих вимог забезпечується проектуванням архітектури спеціалізованих інтелектуальних СППР. Для цього здійснено розподіл функцій між диспетчером – ОПР та інтелектуальною спеціалізованою розрахунковою програмою наступним чином, рис. 3.2:

Рис. 3.2. Розподіл функцій між диспетчером АСУ та СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків

Функції підготовки та введення вихідних даних, інтерпретація результатів розрахунків згідно розробленої інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажу і математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків, та остаточне прийняття рішення про вибір оптимального маршруту покладатиметься на диспетчера АСУ.

Розрахункові операції у масштабі реального часу, оперативна автоматизована актуалізація вихідних даних для розрахунків, вироблення рішення та рекомендацій вибору оптимального маршруту здійснюватиметься СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

3.2 Проектування архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків

Для реалізації визначеного розподілу функцій між диспетчером АСУ перевезеннями та СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків у відповідності до вимог, що пред'явлено до системи, необхідним є проектування архітектури системи. Архітектура визначає логіку системи через окремі компоненти системи, а також визначає зв'язки між компонентами. Проектування архітектури ПЗ проводиться архітектурним стилем, заснованим на визначенні основних елементів структури – підсистем, компонентів, об'єктів і зв'язків між ними. Представити опис об'єкта (елемента) ПЗ і його структуру, а також поведінку системи за цим об'єктом дозволяють нотації проектування: структурні і поведінкові. Структурні нотації – це структурне, блок-схемне або текстове подання аспектів проектування структури ПЗ з об'єктів, компонентів, їх інтерфейсів і взаємозв'язків. Поведінкові нотації демонструють динамічний аспект роботи системи та її компонентів [104]. Проектування архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків здійснюється на основі структурної нотації проектування.

Узагальнено структура інтелектуальних системи підтримки прийняття рішень містить такі блоки [27, 28]: база даних (БД), база знань (БЗ), обчислювальний алгоритм (ОА), система обміну інфомацією (СОІ), рис. 3.3.

Рис. 3.3 Загальна структура інтелектуальних системи підтримки прийняття рішень

БД містить числову (статистичну) інформацію для прийняття рішень. БЗ акумулює лінгвістичну інформацію (знання) мовою зрозумілою для людини про поточну інформацію прийняття рішень з урахуванням знань про вміст бази даних та тлумачення результатів розрахунків. ОА реалізує розрахунки, відповідно до запропонованих чи розроблених математичних методів (методик, моделей) на підставі даних БД, трансформує отримані результати відповідно до вмісту БЗ та надає альтернативне рішення користувачу програми – ОПР. Сценарій спілкування з визначеними компонентами програми закладено в системі обміну інформацією (СОІ).

Проектування архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків передбачає реалізацію завдань:

розробка структурної схеми програми відповідно до її функцій і розподілу повноважень;

розробка математичного забезпечення обчислювального алгоритму;

розробка блок-схеми алгоритму функціонування СППР.

Розробка структурної схеми СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Структурна схема СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків базується на узагальненій структурі інтелектуальних системи

підтримки прийняття рішень (рис. 3.3), розподіленні функцій між диспетчером АСУ та СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків (рис. 3.2) та сформованих вимог до спеціалізованої програми. Конкретна структура СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків є унікальною через специфіку запропонованого математичного наповнення обчислювального алгоритму та унікальності сформованих функцій і вимог до СППР. Враховуючи вищезазначене запропоновано структуру СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків, рис. 3.4.

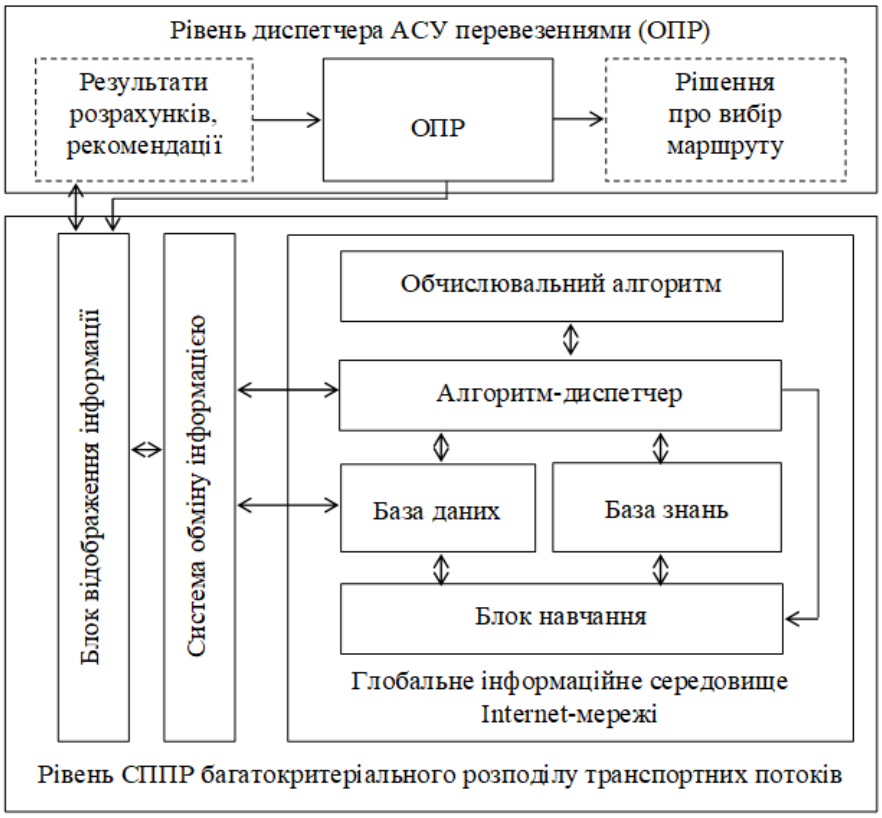


Рис. 3.4 Структурна схема СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків

Складові запропонованої структурної схеми СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків в комплексі реалізують

визначені специфічні функції і вимоги до програми та відокремлено мають певне призначення.

Рівень диспетчера АСУ перевезеннями призначений для реалізації основних функцій ОПР (рис. 3.2). Функція формування часткових показників та критеріїв оптимальності маршруту (табл. 2.1) та введення початкових даних здійснюється ОПР через інтерфейс користувача (блок відображення інформації) за допомогою системи обміну інформацією, що реалізує безпосередній доступ до БД. Подальший вибір даних ОПР здійснює за допомогою звернення до БД за допомогою блоку для відображення інформації та СОІ. Ознайомитись та проаналізувати отримані результати розрахунків та рекомендацій відносно вибору оптимального маршруту, а також ранжування маршрутів за пріоритетом ОПР може за допомогою блоку для відображення інформації. Прийняття ОПР остаточного рішення про вибір маршруту перевезення базуватиметься на інтерпретації отриманих результатів розрахунків.

Рівень СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків призначений для реалізації основних функцій покладених на систему (рис. 3.2) за допомогою функціональних блоків: ОА, БД, БЗ, СОІ, блоку навчання, алгоритму-диспетчера.

Обчислювальний алгоритм реалізує розрахункові операції відповідно до розробленої математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах. На базі математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків розроблено методику багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів та методику оптимального розподілу обмежених ресурсів, які покладено в основу математичного забезпечення ОА. Алгоритм реалізує функцію зведення усіх розрахунків до єдиного результату – інтегрованої оцінки оптимальності. Розрахунки за маршрутами здійснюються

у відповідності до табл. 2.2, порядку розрахунку часткових показників оптимальності маршрутів за виразами (2.2) - (2.20) та математичних виразів методик багатокритеріального вибору оптимального маршруту та оптимального розподілу обмежених ресурсів, а тлумачення отриманих результатів у лінгвістичній формі, табл. 2.10 здійснюється за вмістом БЗ. Інформація БЗ використовується також для отримання ОПР рекомендацій стосовно прийняття остаточного рішення про вибір маршруту та альтернативних маршрутів. ОА має виконувати розрахункові операції з поданими даними у близькому до реального часі.

База даних поточного виду транспорту має містити інформацію для розрахунків за етапом маршруту мультимодального перевезення, що виконується вказаним видом транспорту, а саме параметри (величини) показників, наведених у табл. 2.1, а також виконувати функцію оперативної актуалізація вихідних даних. БД має будуватись за клієнт-серверною технологією з інтерактивним зв’язком із БД взаємодіючих видів транспорту з ідентичною архітектурою СППР та інформаційними ресурсами глобальної мережі Internet де міститься інформація необхідна для розрахунків маршрутів мультимодального перевезення. Цим досягається динамічна актуалізація даних для розрахунків у реальному часі.

База знань реалізує функцію тлумачення ОПР результатів розрахунків і містить інформацію у вигляді лінгвістичних директив про оптимальність маршруту, та ранжування альтернативних маршрутів за пріоритетом, у відповідності до фундаментальної шкали, табл. 2.10. Також БЗ містить лінгвістичні правила щодо тлумачення результатів розрахунків та рекомендації у відповідності до проміжних результатів обчислень часткових показників ефективності та їх груп.

Алгоритм-диспетчер реалізує функції приведення уведених ОПР даних до зрозумілою для електронно-обчислювальної машини форми та узгодження

різних форм подання інформації, що циркулює у блоках СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Блок навчання призначений для первинного наповнення БД, БЗ довідковими даними, тестовими прикладами, налаштовування зв'язків внутрішнього і зовнішнього інформаційних полів.

Система обміну інформацією та блок відображення інформації слугують інтерфейсом програми СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків та користувача системи, а саме диспетчера АСУ управління перевезеннями, та реалізують алгоритм спілкування людини з програмою, втому числі надання ОПР інформації про визначений оптимальний маршрут.

Розміщення СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків можливо реалізувати у спеціалізованому професійному середовищі на обчислювальних засобах диспетчера АСУ перевезеннями взаємодіючих видів транспорту з відповідною політикою розмежування доступу.

Розробка математичного забезпечення обчислювального алгоритму.

Обчислювальний алгоритм реалізує сукупність розрахункових операцій відповідно до розробленої інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажу, рис. 2.4, табл. 2.1., (2.1) та математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах (2.21) - (2.36). В основу математичного забезпечення обчислювального алгоритму покладено методику багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів та методику оптимального розподілу обмежених ресурсів. Структурна схема блоку обчислювального алгоритму зображена на рис. 3.5.

Рис. 3.5 Структурна схема блоку обчислювального алгоритму

Структурні елементи, що використано в розрахунковому блоці обчислювального алгоритму, а саме методика багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів та методика оптимального розподілу обмежених ресурсів, забезпечують отримання обумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень вантажів в мультимодальних транспортних мережах. Удосконалення структури розрахункового блоку досягається завдяки формалізації транспортної задачі в багатокритеріальній формі (2.1) та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур (2.35). Застосування розробленого математичного забезпечення в обчислювальному алгоритмі архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень.

Вхідні дані. Вхідними даними 1 для розрахунків за методикою багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів є числові значення часткових показників оптимальності сформованих маршрутів, табл. 2.1. *Вхідними даними 2* для розрахунків за методикою оптимального розподілу обмежених ресурсів є кількість споживачів послуг перевезення (вантажовідправників); категорія групи важливості за пріоритетом обслуговування споживача; категорія споживача в межах групи важливості, табл. 3.1, табл. 3.2; кількість наявних альтернативних маршрутів, табл. 2.2; часткові показники маршрутів, табл. 2.1.

Методика багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів призначена для реалізації завдання вибору оптимального маршруту доставки вантажів в мультимодальних транспортних мережах. Методика базується на поданні задачі в багатокритеріальній формі із застосуванням нелінійної схеми компромісів.

` Сутність розробленої методики пояснюється структурною схемою етапів методики, рис. 3.6.

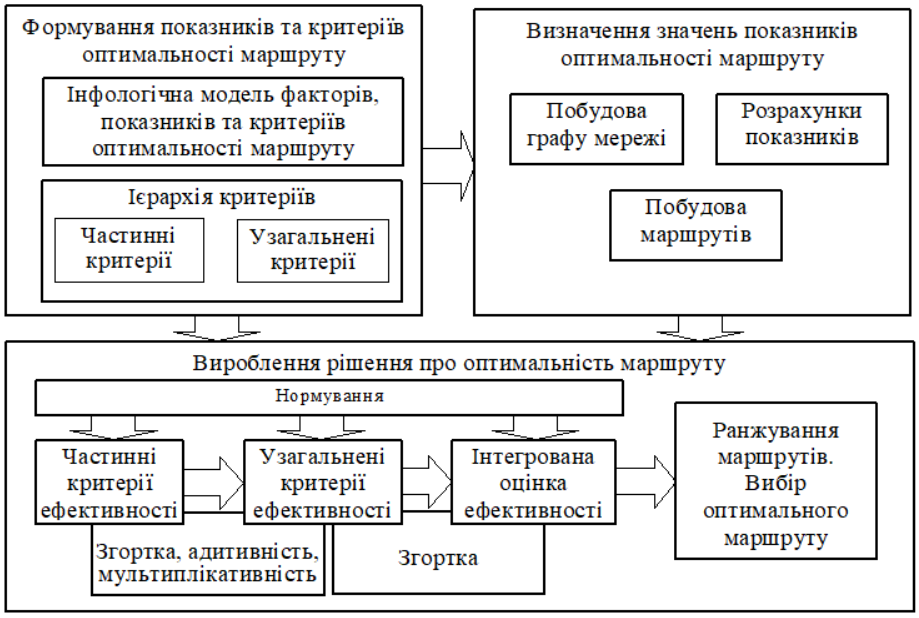


Рис. 3.6 Структурна схема етапів методики багатокритеріального вибору оптимального маршруту

Методика включає три узагальнені етапи: формування показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення; визначення значень, що характеризують зміну встановлених показників та критеріїв; вироблення рішення щодо оптимальності маршруту перевезення.

І етап. Формування показників та критеріїв оптимальності маршруту.

1. Побудова інфологічної моделі факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення, рис. 3.7.

2. Формування системи частинних критеріїв оптимальності маршруту перевезення (3.1).

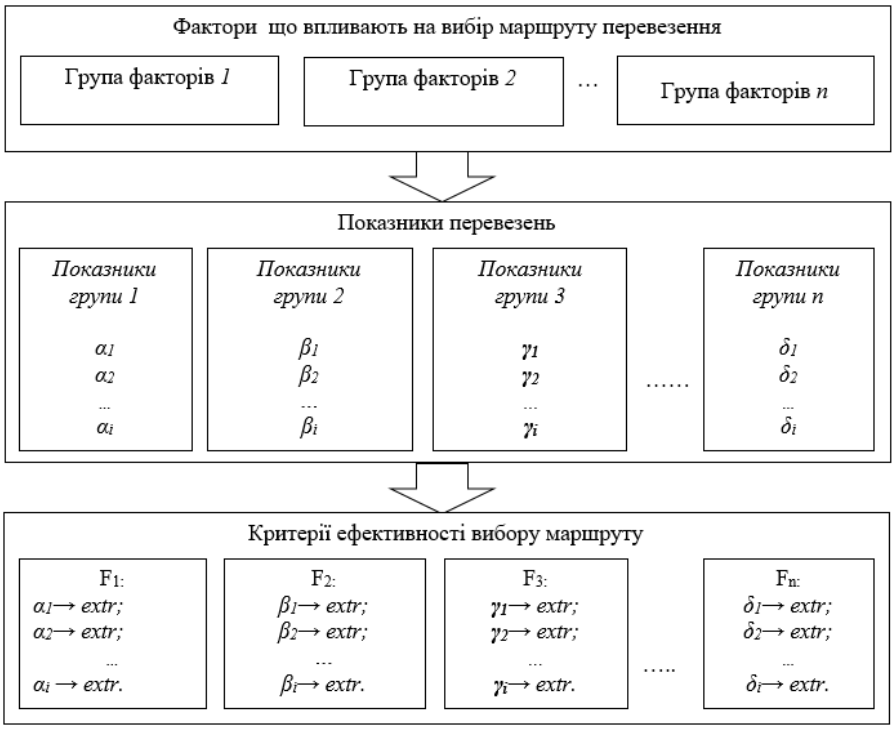


Рис. 3.7 Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення

ІІ етап. Визначення значень встановлених показників та критеріїв.

1. Опис зміни (розрахунок) частинних критеріїв оптимальності для кожної вершини та ребра графа графу мультимодальної транспортної мережі.

2. Побудова маршрутів на графі мультимодальної транспортної мережі.

III етап. Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту за сформованою системою критеріїв унітарного (3.2) чи комбінаторного типу (3.3).

1. Формування узагальнених критеріїв оптимальності (3.4).

2. Формування інтегрованого критерію оптимальності (3.5).

3. Вибір оптимального маршруту із сукупності альтернатив, ранжування маршрутів за пріоритетом.

Система частинних критеріїв оптимальності маршруту, вираз (3.1):

$$\delta = \begin{cases} \alpha_1 \to \text{extr}; \alpha_2 \to \text{extr}; \alpha_\text{n} \to \text{extr}; \\ \beta_1 \to \text{extr}; \beta_2 \to \text{extr}; \beta_\text{n} \to \text{extr}; \\ \gamma_1 \to \text{extr}; \gamma_2 \to \text{extr}; \lambda_\text{n} \to \text{extr}; \\ \delta_1 \to \text{extr}; \delta_2 \to \text{extr}; \delta_\text{n} \to \text{extr}. \end{cases} \quad (3.1)$$

Критерії ефективності унітарного типу:

$$F_M = \begin{cases} F_1 \to extr; \\ F_2 \to extr; \\ F_3 \to extr; \\ F_n \to extr. \end{cases} \quad (3.2)$$

Категорії критеріїв: F_1 – тривалість доставки; F_2 – продуктивність рухомого складу; F_3 – спроможність транспортної мережі; F_n – економічна ефективність.

Критерії ефективності комбінаторного типу:

$$F_1 = \begin{cases} \alpha_1 \to \text{extr}, \alpha_2 \to \text{extr},..., \\ \alpha_\text{n} \to \text{extr}, \end{cases} \quad F_2 = \begin{cases} \beta_1 \to \text{extr}, \beta_2 \to \text{extr},..., \\ \beta_\text{n} \to \text{extr}, \end{cases}$$

$$F_3 = \begin{cases} \gamma_1 \to \text{extr}, \gamma_2 \to \text{extr},..., \\ \gamma_\text{n} \to \text{extr}, \end{cases} \quad F_n = \begin{cases} \delta_1 \to \text{extr}, \delta_2 \to \text{extr}, ..., \\ \delta_\text{n} \to \text{extr}. \end{cases} \quad (3.3)$$

Узагальнені критерії оптимальності:

$$\begin{aligned} F_{1i} &= (1-a_{1i0})^{-1} + (1-a_{2i0})^{-1} + ... + (1-a_{ii0})^{-1} \to extr; \\ F_{2i} &= (1-\beta_{1i0})^{-1} + (1-\beta_{2i0})^{-1} + ... + (1-\beta_{ii0})^{-1} \to extr; \\ F_{3i} &= (1-\gamma_{1i0})^{-1} + (1-\gamma_{2i0})^{-1} + ... + (1-\gamma_{ii0})^{-1} \to extr; \\ F_{ni} &= (1-\delta_{1i0})^{-1} + (1-\delta_{2i0})^{-1} + ... + (1-\delta_{ii0})^{-1} \to extr; \end{aligned} \quad (3.4)$$

Інтегрована оцінка оптимальності маршруту:

$$F_i = \left(1 - F_{1i0}\right)^{-1} + \left(1 - F_{2i0}\right)^{-1} + \left(1 - F_{3i0}\right)^{-1} + \left(1 - F_{ni0}\right)^{-1} \to extr,$$
$$F_0 = \frac{F}{\max F},\ \max F = \sum_{l=1}^{k} (1 - [\max F_l - \Delta])^{-1}, \qquad (3.5)$$

Методика оптимального розподілу обмежених ресурсів призначена для користувачів (споживачів) транспортних послуг – вантажовідправників, та передбачає реалізацію завдання виділення оптимального маршруту за пріоритетом обслуговування споживачів [105]. Методика базується на використанні багатокритеріальної оптимізаційної моделі, отриманої із застосуванням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів, що забезпечує врахування у розв'язку значної кількості критеріальних вимог, різнорідність потреб споживачів та обмеженість ресурсів (шляхів сполучення, маршрутів).

Структурна схема етапів методики зображена на рис. 3.8.

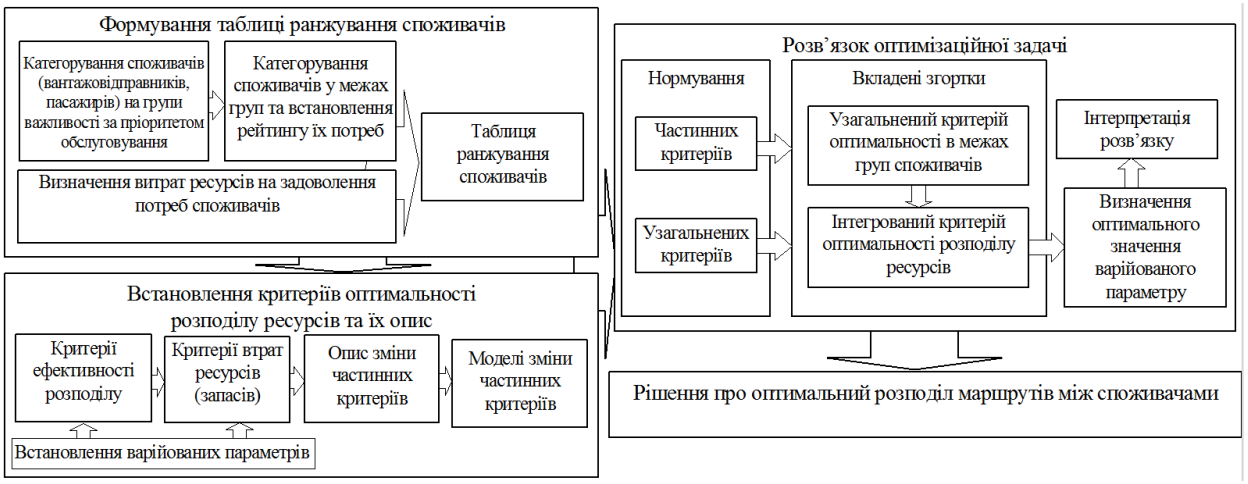


Рис. 3.8 Структурна схема етапів методики оптимального розподілу обмежених ресурсів

Постановка задачі. *Дано:* $SP = \{SP_i\}$, $i = 1...I$ – множина споживачів (вантажовідправників); $SP_i \subset \{Pot_{ij}\}$, $j = 1...J$ – множина різнорідних потреб споживачів (обсяг, умови відправлення, відстань, вартість тощо); $PS = \{PS_k\}$,

$k = 1...K$ – множина обмежених ресурсів, а саме шляхів сполучення (маршрутів) $PS_k \subset \{Zap_{km}\}$, $m = 1...M$; кількість маршрутів значно менша за кількість споживачів та переліку їх потреб.

Необхідно: здійснити розподіл обмежених ресурсів Zap_{km}, а саме маршрутів шляхами сполучення PS_k між споживачами SP_i так, щоб задоволення їх потреб Pot_{ij} забезпечувало найкращу ефективність виконання цільових задач споживачами.

Методика включає три узагальнені етапи: формування таблиці ранжування споживачів; формування системи частинних критеріїв оптимальності та опис їх зміни; розв'язок оптимізаційної задачі розподілу обмежених ресурсів.

І етап. Формування таблиці ранжування споживачів.

Таблиця ранжування споживачів шляхом виділення із множини – груп для кожної з яких висуваються вимоги щодо задоволення їх потреб W_l і ефективності виконанні цільових задач P_l, (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Вимоги до розподілу ресурсів за групами споживачів

Номер групи споживачів	Вимоги до задоволення потреб споживачів, %	Показник ефективності виконання цільових задач споживачем
1	W_1	P_1
2	W_2	P_2
…	…	…
l	Wl	Pl
…	…	…
L	WL	PL

У кожній l-й групі ранжуються по пріоритету потреби кожного i-го споживача та визначається ефективність виконання ним цільових задач при

задоволенні його j -ї потреби Pot_{ij} і витрачуваний ресурс k -го постачальника Zap_{km}. Отже, матимемо ранжування споживачів та їх потреб за пріоритетом обслуговування, що забезпечує обумовлений розподіл обмежених ресурсів, виходячи з вимог до ефективності цього процесу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Таблиця ранжування споживачів

Номер групи / номер споживача в групі	Пріоритет потреб споживача	Ієрархія потреб споживача	Ефективність виконання цільових задач споживачем	Витрачуваний ресурс постачальника
Споживачі групи 1				
1/1	Споживач 1			
	1	Pot_{11}	E_{11}	R_1
	2	Pot_{12}	E_{12}	R_2
	…	…	…	…
	J_1	Pot_{1J_1}	E_{1J_1}	R_K
1/2	Споживач 2			
	1	Pot_{21}	E_{21}	R_1
	2	Pot_{22}	E_{22}	R_1
	…	…	…	…
	J_2	Pot_{2J_2}	E_{2J_2}	R_K
…	…		…	
Споживачі групи 2				
2/1	Споживач 1			
	…	…	…	…
	…	…	…	…
…				
Споживачі групи L				
L/1	Споживач 1			
	…	…	…	…
	…	…	…	…

ІІ етап. Формування системи частинних критеріїв оптимальності та опис їх зміни.

Формування системи частинних критеріїв за варійованим параметром n_i – кількість постачальників, що виділяються для обслуговування потреб споживача при обмеженнях на загальну кількість постачальників N (3.6), встановлення системи частинних критеріїв оптимальності (3.7) та їх опис в аналоговій формі (3.8) за даними таблиці ранжувань:

$$n_i, \ \sum_{i=1}^{I} n_i \le N \tag{3.6}$$

$$\begin{cases} P_1(n_1) \to \max, \ S_1(n_1) \to \min, \ \ P_2(n_2) \to \max, \ S_2(n_2) \to \min, \ldots, \\ P_i(n_i) \to \max, \ S_i(n_i) \to \min, \ \ldots, \ P_I(n_I) \to \max, \ S_I(n_I) \to \min. \end{cases} \tag{3.7}$$

$$P_i(n_i) = P_0 + P_1 n_i + P_2 n_i^2 + \ldots, \ S_i(n_i) = S_0 + S_1 n_i + S_2 n_i^2 + \ldots \tag{3.8}$$

III етап. Розв'язок оптимізаційної задачі розподілу обмежених ресурсів.

Для формування узагальненого критерію оптимальності розподілу обмежених ресурсів використовуватиметься нелінійна схема компромісів відповідно до згортки професора Вороніна А.М.

Система узагальнених критеріїв віднесених до l груп важливості (3.9):

$$\begin{cases} \delta_1(n_{11}, n_{12}, \ldots, n_{1i}, \ldots, n_{1I_1}) \to \min, \ \delta_2(n_{21}, n_{22}, \ldots, n_{2i}, \ldots, n_{2I_2}) \to \min, \ \ldots, \\ \delta_l(n_{l1}, n_{l2}, \ldots, n_{li}, \ldots, n_{lI_l}) \to \min, \ \ldots, \ \delta_L(n_{L1}, n_{L2}, \ldots, n_{Li}, \ldots, n_{LI_L}) \to \min, \\ S(n_{11}, n_{12}, \ldots, n_{1i}, \ldots, n_{1I_1}, n_{21}, n_{22}, \ldots, n_{2i}, \ldots, n_{2I_2}, \ldots, n_{l1}, n_{l2}, \ldots, n_{li}, \ldots, n_{lI_l}, \\ \ldots, n_{L1}, n_{L2}, \ldots, n_{Li}, \ldots, n_{LI_L}) \to \min, \end{cases} \tag{3.9}$$

$$\delta_l(n_{l1}, n_{l2}, \ldots, n_{li}, \ldots, n_{lI_l}) = \gamma_{0l1}(1 - \varphi_{0l1}(n_{l1}))^{-1} + \gamma_{0l2}(1 - \varphi_{0l2}(n_{l2}))^{-1} + \gamma_{0li}(1 - \varphi_{0li}(n_{li}))^{-1} + \ldots$$

$\ldots + \gamma_{0lI_l}(1 - \varphi_{0lI_l}(n_{I_l}))^{-1}$ – критерії ефективності обслуговування споживачів l-ї групи важливості, $S(n_{l1}, n_{l2}, \ldots, n_{li}) = \sum_{l=1}^{L} \sum_{i=1}^{I} \gamma_{0Sli}(1 - S_{0li}(n_{li}))^{-1} \to \min$ – критерій узагальненої вартості (витрат) при задоволенні потреб споживачі, в $\gamma_{0ij}, \gamma_{0Sij}$ – вагові коефіцієнти.

Інтегрований критерій оптимальності розподілу обмежених ресурсів (оптимізаційна модель оптимального розподілу):

$$\begin{aligned}&\Omega(n_{11},n_{12},..,n_{1i},..,n_{1I_1},n_{21},n_{22},..,n_{2i},..,n_{2I_2},..,n_{l1},n_{l2},..,n_{li},..,n_{lI_l},..,n_{L1},n_{L2},..,n_{Li},..,n_{LI_L})=\\&=G_{01}(1-\delta_{01}(n_{11},n_{12},...,n_{1i},...,n_{1I_1}))^{-1}+G_{02}(1-\delta_{02}(n_{21},n_{22},...,n_{2i},...,n_{2I_2}))^{-1}+...\\&+G_{0l}(1-\delta_{0l}(n_{l1},n_{l2},...,n_{li},...,n_{lI_l}))^{-1}+...+G_{0L}(1-\delta_{0L}(n_{L1},n_{L2},...,n_{Li},...,n_{LI_L}))^{-1}+\\&+F_0(1-S(n_{11},n_{12},...,n_{1i},...,n_{1I_1},n_{21},n_{22},...,n_{2i},...,n_{2I_2},...\\&...,n_{l1},n_{l2},...,n_{li},...,n_{lI_l},...,n_{L1},n_{L2},...,n_{Li},...,n_{LI_L}))^{-1}\to\min..\end{aligned}\qquad(3.10)$$

Вихідні дані. Вихідними даними 1 методики багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів є розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності маршрутів, табл. 2.9 та його тлумачення у лінгвістичній формі, табл. 2.10. Виведення даних відбувається за допомогою СОІ та блоку відображення інформації у формі впорядкованого списку порядкових номерів альтернативних маршрутів; рангу маршрутів за пріоритетом; порядкового номеру встановленого оптимального маршруту та рекомендаціями стосовно прийняття остаточного рішення. *Вихідними даними 2* методики оптимального розподілу обмежених ресурсів є розрахункове числове значення інтегрованого критерію оптимальності розподілу ресурсів, та його тлумачення у лінгвістичній формі. Виведення даних відбувається за допомогою СОІ та блоку відображення інформації у вигляді порядкового номера оптимального маршруту та споживача якому надано оптимальний маршрут; рекомендацій стосовно прийняття остаточного рішення.

Розробка блок-схеми алгоритму функціонування СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

Основою для розробки блок-схеми алгоритму функціонування СППР є структурна схема СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків (рис. 3.3). Алгоритмом функціонування СППР складається з двох етапів: навчання та безпосередньо функціонування.

На етапі *навчання* наповнюється і модифікується БЗ, в якій зберігається інформація про лінгвістичну категорію ефективності вибору оптимального маршруту та ранжування маршрутів, правила з поясненнями проміжних

результатів і рекомендації для остаточного прийняття рішень СППР. В основі БЗ лежить експертна інформація та данні розрахунків на значному зрізі можливих варіантів вихідних даних. Цей етап реалізується за допомогою блоку 15 блок-схеми алгоритму рис. В.1, Додаток В.

Етап *функціонування* представляє реалізацію інформаційної підтримки прийняття рішення диспетчером АСУ при наявних альтернативних маршрутах перевезення. Функціонування алгоритму починається з *1 блоку* – це вибір дистанції руху транспортних засобів (пункт відправлення – пункт призначення) диспетчером АСУ перевезень, в межах якого планується маршрут вантажного рухомого складу, рис. В.2, Додаток В. *2 блок* – це звернення до БД та БЗ СППР. Якщо етап навчання завершено, то робота алгоритму стосується лише БД. В цьому блоці описані і наведені найголовніші дані, що впливатимуть на вибір оптимального маршруту перевезення. *3 блок* передбачає зміну даних відносно обраного пунту відправлення або призначення і повертає у початкову операцію, за умови успішного обрання пунктів – виконується відображення розрахунковою програмою даних про усі наявні альтернативні маршрути з пункту відправлення до пункту призначення, *блок 4*. У *5 блоці* диспетчер АСУ може здійснити вибір чи враховувати пріоритет в обслуговуванні споживачів транспортних послуг, якщо обрано врахувати, наступним є перехід до *блоку 6* – вибір категорії споживача, рангу споживача, здійснення запиту до БД, *блок 7*. *8 блок* відображає дані про споживачів, наступним є перехід до *9 блоку* який передбачає здійснення вибору – почати розрахунки з наявними даними (в цьому випадку виконується перехід до 10 блоку), якщо диспетчер відмовися, система пропонує здійснити перехід до блоку актуалізації, оновлення бази даних, *блок 18*, тобто автоматизовано отримати нові дані у БД та отримати актуальний результат про дані для розрахунків, зі звергенням до Internet-джерел, *блок 19*, та оновленнм БД – *блок 20*. *10 блок* відповідає за здійснення розрахункових операцій за

допомогою математичного забезпечення обчислювального алгоритму, первинним є розрахунок нормованих значень частинних критеріїв оптимальності маршруту в одну числову залежність – від 0 до 1. *11 блок* – виконує розрахунок узагальнених критеріїв оптимальності маршруту. *12 блок* – обчислення інтегрованого критерію маршрутів та інтегрованої оцінки. *13 блок* дозволяє диспетчеру АСУ ознайомитись з результатом проведених операцій у числовому варіанті. *14 блок* полягає у виборі: надати лінгвістичну оцінку чи ні, тобто цей блок переходить до виведення остаточного результату розрахунків, надання даних про оптимальний маршрут, ранжування маршрутів за пріоритетом. 15 *блок* – звертається до БЗ та дозволяє за допомогою тлумачення отриманої лінгвістичної оцінки зробити диспетчеру вибір оптимального маршруту. *16 блок* відображає остаточний результат проведених розрахунків та операцій, з переходом вибору відносно погодження маршруту – *блок 17*.

Таким чином, наведені результати реалізують процес проектування архітектури СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

Підтвердження працездатності запропонованих підходів проведено за допомогою розрахункового прикладу.

3.3 Розрахунковий приклад вибору оптимального маршруту на графі мультимодальної транспортної мережі

3.3.1 Побудова графу мультимодальної транспортної мережі

Моделювання розподілу транспортних потоків здійснюється у перспективному напрямі вантажопотоків у внутрішньодержавному та міжнародному сполученні Південь – Захід. Основну частку вантажопотоку у цьому напрямку формують транзитні вантажі, що прибувають у морські, та

аеропорти порти України з-за кордону. Їх доповнюють вантажі вироблені в Україні, що призначені для експорту у країни Європи, що спричинює концентрацію пасажирського та вантажного рухомого складу на прикордонних залізничних станціях та міжстанційних ділянках.

Найбільшими прикордонними пунктами пропуску вантажних та пасажирських поїздів, що мають безпосередній вихід до європейської мережі залізничних вантажних коридорів RFCs та міжнародних коридорів є Чоп та Мостиська II. Не зважаючи на завантаженість напряму вантажними поїздами, одночасно виконуєься робота з перевезення пасажирів пасажирським рухомим складом. Враховуючи іноземний досвід розділення вантажного і пасажирського руху поїздів, та територіальну наближеність мережі RFCs до українського кордону, доцільним є моделювання розподілу транспортних потоків у перспективному напрямі Південь – Захід до станцій мережі RFCs, що межують з кордоном України.

З одинадцяти вантажних залізничних коридорів до України впритул наближено три: №6 (RFC:6) Середземноморський, №8 (RFC:8) Північне море – Балтія, №9 (RFC:9) Чесько-Словацький [81]. Україна має вихід на вказані коридори через станцію Чоп рис. 3.9.

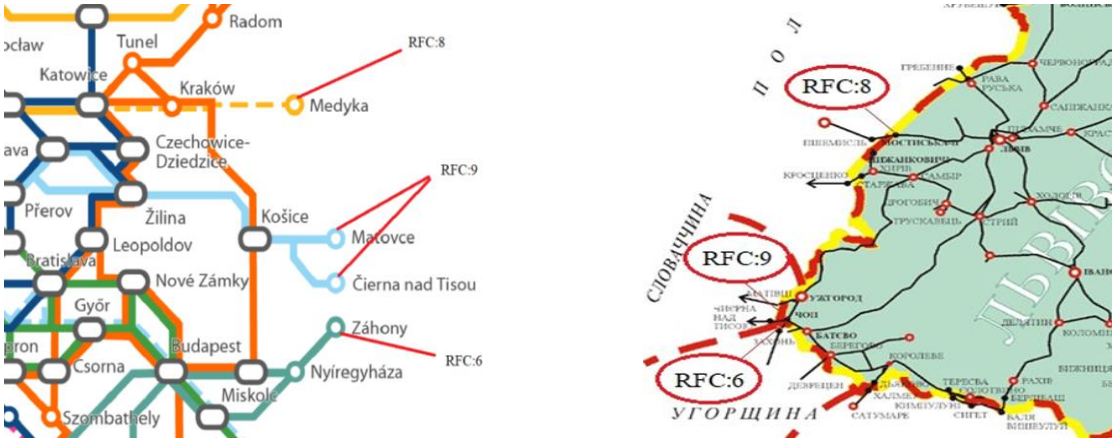


Рис. 3.9 Кінцеві станції мережі RFCs що межують з кордоном України

Саме тому для аналізу було обрано маршрут пасажирського поїзда №108Ш Одеса-Головна – Ужгород (через станцію Чоп) [106], що є показовим, оскільки перевезення здійснюється коліями спільного користування вантажного і пасажирського рухомого складу найбільш завантаженою ділянкою. На розглянутому маршруті пасажирського поїзду №108Ш це ділянка Львів – Стрий – Сколе – Славське – Лавочне – Воловець – Свалява – Карпати – Мукачеве – Батьово – Чоп.

Маршрут поїзду №108Ш зображено на рис. 3.10.

Рис. 3.10 Маршрут слідування пасажирського поїзду №108Ш

Для побудови графу було обрано вузлові станції Одеса-Застава 1, Тернопіль, Львів, Стрий, Батьово, Чоп, Ужгород маршруту пасажирського поїзду №108Ш, та доповнено вузловими залізничними станціями Західного регіону України з інтенсивним рухом пасажирського та вантажного рухомого складу.

Вузлові та прикордонні станції є вершинами графа. Всього вершин – 13 (ст. Чоп, ст. Батьово, ст. Ужгород, ст. Самбір, ст. Мостиська ІІ, ст. Львів, ст.

Дрогобич, ст. Стрий, ст. Скнилів, ст. Ходорів, ст. Тернопіль, ст. Красне, ст. Одеса-Застава 1). Характеристиками ребер графа є реальні відстані між вершинами, усього їх 16, рис. 3.11. Загальна довжина ребер графа становить 1625 км.

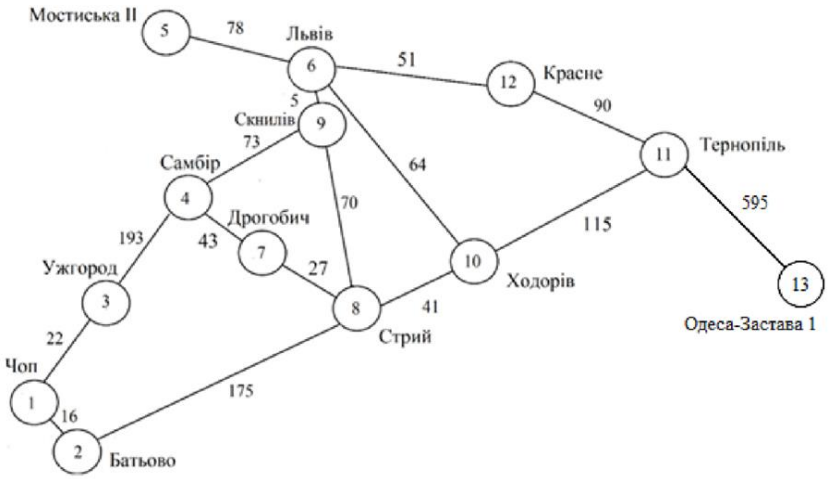


Рис. 3.11 Граф мультимодальної мережі з міжстанційними відстанями

Відповідність нумерації вершин графа назвам станцій наведено в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

Відповідність нумерації вершин графа залізничній станції

№ вершини графа	Назва залізничної станції
1	Чоп
2	Батьово
3	Ужгород
4	Самбір
5	Мостиська II
6	Львів
7	Дрогобич
8	Стрий
9	Скнилів
10	Ходорів
11	Тернопіль
12	Красне
13	Одеса-Застава 1

Міжстанційні відстані, що є характеристиками ребер графа транспортної мережі наведено в табл. Д.1, Додатку Д. На наведеному графі мультимодальної транспортної мережі побудовано 14 альтернативних маршрутів зі ст. Одеса-Застава 1 до ст. Чоп, перелік яких наведено в табл. Е.1 Додатку Е. Загальна схема конфігурацій маршрутів наведена на рис. 3.12, схеми конфігурацій маршрутів М1 - М14 наведено в Додатку Ж.

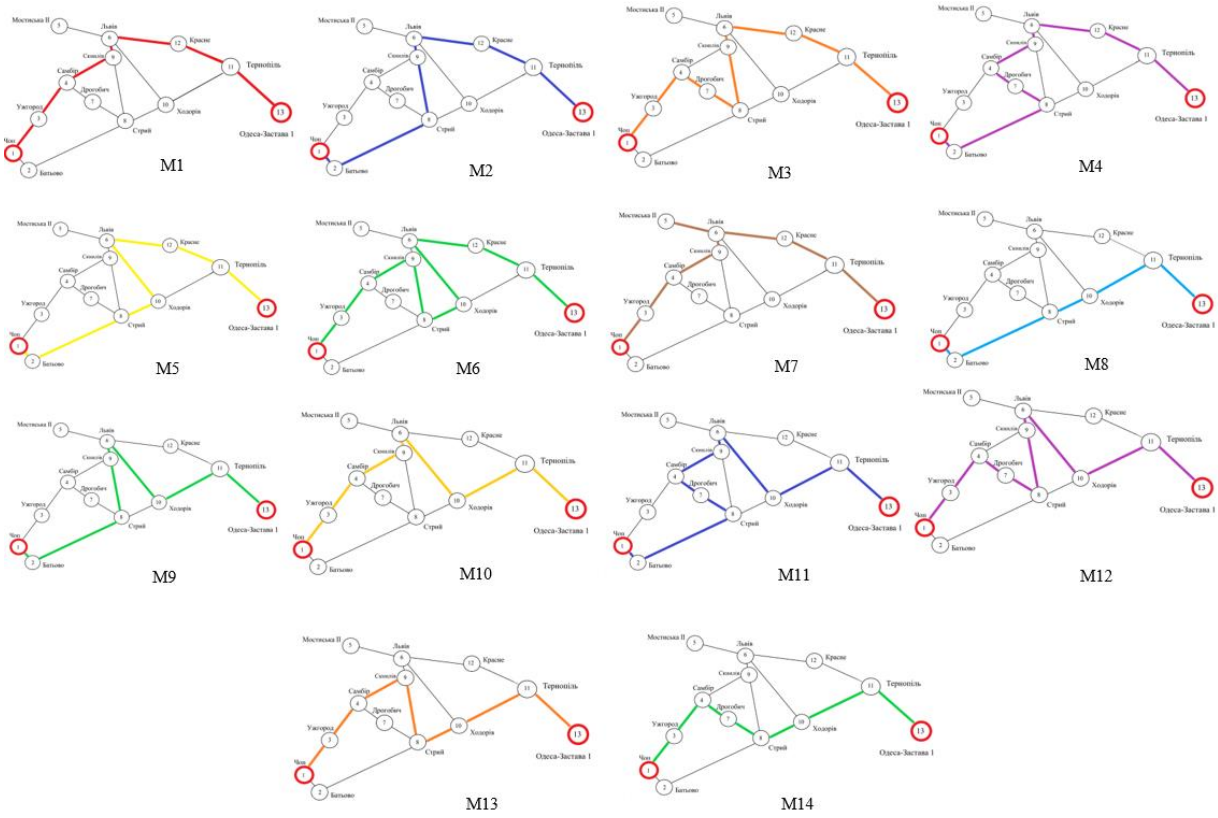


Рис. 3.12 Загальна схема конфігурацій маршрутів М1-М14

3.3.2 Розрахунок показників оптимальності альтернативних маршрутів

Розрахунок показників транспортної роботи.

Обсяг перевезеного вантажу, q_g . Вихідними даними для розрахунку обсягів перевезень вантажів на станціях було прийнято дані про вантажопереробну спроможність пунктів Львівської механізованої дистанції

навантажувально-розвантажувальних робіт [107], та Одеської дирекції залізничних перевезень [108]. Оскільки станція Одеса-Застава 1 концентрує вантажопотік станції Одеса-Порт, дані обсягу перевезення вантажу розраховано з урахуванням вантажопотоку станції Одеса-Порт.

Розрахункова вантажопідйомність вагонів та контейнерів, що використовується в розрахунках обсягу перевезень наведена в табл. 3.4, [109, 110].

Таблиця 3.4

Розрахункова вантажопідйомність вагонів та контейнерів

Транспортна одиниця	Скорочене позначення	Вантажопідйомність, т
Середьотоннажний контейнер	СК	23
Великотаннажний контейнер	ВК	29
Вагон для транспортування великовагових та негабаритних вантажів	ВВ та НГВ	300
Критий вагон для транспортування тарноштучних вантажів	ТШВ	68
Вагон для транспортування сипучих та навалочних вантажів	СНВ	70

Розрахунок обсягу перевезеного вантажу за виразом (2.3) представлено в табл. К.1, додатку К.

Обсяг перевезення пасажирів (відправлення пасажирів), q_p. Оскільки станція Одеса-Застава 1 концентрує пасажиропотік станції Одеса-Головна, дані обсягу перевезення пасажирів наведено з урахуванням вантажопотоку станції Одеса-Головна [111]. Обсяг перевезення пасажирів наведено в табл. 3.5.

Таблиця 3.5

Обсяг перевезення пасажирів

Вершина	Станція	Пасажиропотік, q_{pi}, пас/добу
1	Чоп	137
2	Батьово	165
3	Ужгород	1486
4	Самбір	296
5	Мостиська II	100
6	Львів	15910
7	Дрогобич	133
8	Стрий	865
9	Скнилів	100
10	Ходорів	190
11	Тернопіль	2971
12	Красне	72
13	Одеса-Застава 1 * Одеса-Головна	15290

Вантажообіг, Pl. Значення показника вантажообігу визначено за виразом (2.4), використовуючи як вихідні дані розрахункові значення вантажопотоку на станціях. Розрахунок вантажообігу наведено в табл. Л.1 Додаток Л.

Пасажирообіг, Al. Розрахунок пасажирообігу за виразом (2.5) наведено в табл. М.1, Додаток М.

Розрахунок показників матеріально-технічної бази.

Експлуатаційна довжина шляху, L_E. В наближеному значенні показника L_E. використано значення реальних відстаней між вершинами, табл. Д.1, Додаток Д.

Густота мережі, d_s. Львівська залізниця розташована на території Львівської, Волинської, Рівненської, Тернопільської, Івано-Франківської, Чернівецької, Закарпатської областей. Одеська залізниця обслуговує Одеську, Миколаївську, Херсонську, Черкаську, Кіровоградську області. Також залізниця обслуговує окремі райони Вінницької, Київської, Дніпропетровської

та Полтавської областей. Площі областей для розрахунку густоти мережі за виразом (2.6) Львівської та Одеської залізниць наведено в табл. 3.6 [112].

Таблиця 3.6

Площі областей Львівської та Одеської залізниці

Регіональна філія ПАТ «Укрзалізниця»	Область України	Площа території, S, км^2
«Львівська залізниця»	Львівська	21833
	Волинська	20144
	Рівненська	20051
	Тернопільська	13823
	Івано-Франківська	13927
	Чернівецька	8096
	Закарпатська	12753
«Одеська залізниця»	Одеська	33314
	Миколаївська	24585
	Херсонська	28461
	Черкаська	20916
	Кіровоградська	24588

Площа Регіональної філії «Львівська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» S_L, км^2:

$$S_L = 21833 + 20144 + 20051 + 13823 + 13927 + 8096 + 12753 = 110627.$$

Площа Регіональної філії «Одеська залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» S_O, км^2: $S_O = 33314 + 24585 + 28461 + 20916 + 24588 = 131864.$

Густота мережі Львівської залізниці складає:

$$d_{SL} = \frac{1000 \cdot 4521км}{110627км^2} = 40{,}86км/1тис.кв.км .$$

Густота мережі Одеської залізниці складає:

$$d_{SO} = \frac{1000 \cdot 4000км}{131864км^2} = 30{,}33км/1тис.кв.км .$$

Вантажопідйомність вагону, P_n. Для розрахунків використані дані про вантажопідйомність вагонів та контейнерів, табл. 3.4.

Розрахунок показників експлуатаційної роботи.

Середня дальність перевезення вантажу, l_c. Розрахунок середньої відстані перевезення 1т вантажу за виразом (2.8) наведено в табл. Н.1, Додаток Н.

Середня дальність перевезення одного пасажира, $l_{ср}$. Розрахунок середньої відстані перевезення одного пасажира за виразом (2.9) наведено в табл. П.1, Додаток П.

Швидкість доставки вантажу, v_d. Для розрахунків прийнято швидкість перевезення вагонними відправленнями 330 км за добу.

Приведена вантажонапруженість, W. Розрахунок приведеної вантажонапруженості за виразом (2.12) наведено в табл. Р.1, Додаток Р.

Розрахунок показників економічної ефективності.

Собівартість перевезень, C_v, C_p, Розрахункова ставка собівартості пасажирських перевезнь в Україні, складає 39,067 коп. за 1 пас.км., вантажних перевезень – 18,689 коп. за 1 ткм [95]. Розрахунок собівартості вантажних перевезень за виразом (2.13) наведено в табл. С.1, Додаток С, розрахунок собівартості пасажирських перевезень за виразом (2.13) наведено в табл. Т.1, Додаток Т.

Продуктивність праці, P_P. Розрахунок показника проведено за (2.14), H_e – середньооблікова чисельність робітників, зайнятих в експлуатаційній роботі розраховано за (2.15). Загальна чисельність співробітників Львівської залізниці – 375900 осіб; Одеської залізниці – 340000 осіб [113]; загальна кількість станцій Львівської залізниці – 1402 станції; Одеської залізниці – 677 [114];

$$H_{eL} = \frac{375900}{1402} = 268{,}11;$$

$$H_{eO} = \frac{340000}{677} = 502{,}21.$$

Для розрахунків показника продуктивності праці вузлів Львівської залізниці використовуємо наближене значення середньооблікової чисельності робітників, зайнятих в експлуатаційній роботі – 268 співробітників, для Одеської залізниці – 502 співробітники. Розрахунок показника продуктивності праці, наведено в табл. 3.7.

Таблиця 3.7

Розрахунок показника продуктивності праці

№ п/п	Вузол	Продуктивності праці, тис. ткм
1	Чоп	$P_{P1} = \frac{268,85}{268} = 1,003;$
2	Батьово	$P_{P2} = \frac{3113,3}{268} = 11,616;$
3	Ужгород	$P_{P3} = \frac{471,925}{268} = 1,760;$
4	Самбір	$P_{P4} = \frac{7,351}{268} = 0,027;$
5	Мостиська II	$P_{P5} = \frac{1857,960}{268} = 6,923;$
6	Львів	$P_{P6} = \frac{50,490}{268} = 0,188;$
7	Дрогобич	$P_{P7} = \frac{68,600}{268} = 0,255;$
8	Стрий	$P_{P8} = \frac{126,373}{268} = 0,471;$
9	Скнилів	$P_{P9} = \frac{650,250}{268} = 2,426;$
10	Ходорів	$P_{P10} = \frac{14,652}{268} = 0,054;$
11	Тернопіль	$P_{P11} = \frac{267,525}{268} = 0,998;$
12	Красне	$P_{P12} = \frac{336,144}{268} = 1,254;$
13	Одеса – Застава1	$P_{P12} = \frac{19726,63}{502} = 39,29.$

Доходи від перевезення, D. За 2018 р. доходи від перевезень Львівської залізниці, тис. грн склали: від вантажних перевезень – 67519803; від пасажирських перевезень – 8468724. Орієнтоване значення сумарного доходу Львівської залізниці складає 13 900 401,166 тис. грн. [115] Пропорційний розподіл доходів від перевезень Львівської дирекції залізничних перевезень у відповідності до обсягів перевезень наведено в табл. 3.8.

Таблиця 3.8

Доходи станцій Львівської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл доходу, %	Дохід, D, тис. грн
1	Чоп	14,15	1967804,47
2	Батьово	32,61	4533598,99
3	Ужгород	4,39	610506,12
4	Самбір	0,07	9926,63
5	Мостиська II	23,83	3312586,74
6	Львів	1,020	141848,80
7	Дрогобич	1,96	272572,20
8	Стрий	1,61	224593,93
9	Скнилів	12,75	1773110,03
10	Ходорів	0,20	27813,49
11	Тернопіль	2,61	362966,05
12	Красне	4,77	663073,61

Орієнтоване значення сумарного доходу Одеської залізниці складає 13900401,12 тис. грн. [115] Пропорційний розподіл доходів від перевезень Одеської дирекції залізничних перевезень у відповідності до обсягів перевезень наведено в табл. 3.9.

Таблиця 3.9

Доходи станцій Одеської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл доходу, %	Дохід, D, тис. грн
1	Одеса – Застава 1 *Одеса-Головна; *Одеса-Порт.	39,95	5552456,61
2	Інші станції	60,05	8347944,506

Витрати від перевезень, E. Витрати Львівської УЗ склали 1900000 тис. грн. Пропорційний розподіл витрат наведено в табл. 3.10. Пропорційний розподіл витрат станцій Одеської залізниці [115] наведено в табл. 3.11.

Таблиця 3.10

Витрати станцій Львівської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл витрат, %	Пропорційний розподіл витрат від перевезення, E, тис. грн
1	Чоп	14,15	268972,70
2	Батьово	32,61	619682,69
3	Ужгород	4,39	83448,06
4	Самбір	0,07	1356,83
5	Мостиська II	23,83	452786,56
6	Львів	1,020	19388,84
7	Дрогобич	1,96	37256,99
8	Стрий	1,61	30699,00
9	Скнилів	12,75	242360,56
10	Ходорів	0,20	3801,73
11	Тернопіль	2,61	49612,63
12	Красне	4,77	90633,34

Таблиця 3.11

Витрати станцій Одеської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл витрат, %	Витрати, E, тис. грн
1	Одеса – Застава 1 *Одеса-Головна;*Одеса-Порт.	39,95	758946,988
2	Інші станції	60,05	1141053,012

Прибуток, Y. Загальний прибуток Львівської залізниці за 2018 р. склав орієнтовано 12000401,12 тис. грн. [115]. Пропорційний розподіл прибутку станцій Львівської та Одеської злізниць наведено в табл. 3.12 та табл. 3.13 відповідно.

Таблиця 3.12

Прибуток станцій Львівської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл прибутку, %	Прибуток, Y, тис.грн
1	Чоп	14,15	1698831,76
2	Батьово	32,61	3913916,29
3	Ужгород	4,39	527058,05
4	Самбір	0,07	8569,79
5	Мостиська II	23,83	2859800,18
6	Львів	1,020	122459,95
7	Дрогобич	1,96	235315,21
8	Стрий	1,61	193894,93
9	Скнилів	12,75	1530749,47
10	Ходорів	0,20	24011,75
11	Тернопіль	2,61	313353,42
12	Красне	4,77	572440,27

Таблиця 3.13

Прибуток станцій Одеської дирекції залізничних перевезень

№ п/п	Вузол	Пропорційний розподіл прибутку, %	Прибуток, Y, тис. грн
1	Одеса – Застава 1*Одеса-Головна;*Одеса-Порт.	39,95	4793509,622
2	Інші станції	60,05	7206891,494

Плата за перевезення вантажів N. Визначення плати за вантажні перевезення у складі поїздів здійснено за тарифними схемами для перевезення, табл. 3.14, [99]. Для розрахунків прийнято рухомий склад з вантажопідйомністю наведеною в табл. 3.4. у відповідності до відстаней перевезення, табл. Д.1, Додаток Д. Тарифи встановлено згідно з тарифними відстанями для категорії І - для власного або орендованого вагона. Порядок розрахунку плати за перевезення вантажів наведено в табл. У.1, Додатку У. Показник розрахункової плати за перевезення вантажів наведено в табл. У.2, Додатку У.

Таблиця 3.14

Тарифні схеми вантажних перевезень

Рухомий склад / вантажопідйомність	Тарифна схема
ТШВ / 68т.	схема 1 - вантажів вагонними відправками в універсальних вагонах;
СНВ / 70т.	схема 2 - вантажів вагонними відправками в спеціальних (спеціалізованих) вагонах;
СК / 23т.	схема 9 - контейнерними відправками вантажів у середньотоннажних контейнерах;
ВК / 29т.	схема 11 - контейнерними відправками вантажів у 20(24)- та 40(30)-футових та більше танках-контейнерах;
ВВ та НГВ / 300т.	схема 26 - для перевезення габаритних і негабаритних вантажів на 20- вісних зчленованих транспортерах залізниць вантажопідйомністю 300 т.

Розрахункові значення частинних критеріїв вузлів та ребер графу наведено в Додатку Ф. Таблиці узагальнених показників маршруту М1-М14 наведено в Додатку Х.

3.3.3 Вироблення рішення щодо оптимальності маршруту

Частинні дискретні критерії оптимальності маршрутів М1-М14 нормовані відносно суми поточних значень для тих, що мінімізуються (2.25), та для критеріїв, що максимізуються (2.26) наведено в табл. Ц.1, табл. Ц.2, Додаток Ц.

Розраховано узагальнені критерії оптимальності маршрутів за виразами (2.28) - (2.31) наведено в табл. Ш.1, табл. Ш.2, Додаток Ш.

Значення узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М1 – М14 наведено в табл. 3.15.

Таблиця 3.15

Узагальнені критерії оптимальності маршрутів М1 – М14

Узагальнені критерії / Маршрут	F_1	F_2	F_3	F_4
М1	5,404082946	3,229711208	3,240507953	7,52522857
М2	5,376014296	3,228554503	3,254383859	7,5528548
М3	5,385160528	3,214223301	3,214423293	7,521405815
М4	5,358414986	3,20961472	3,206401539	7,553933654
М5	5,384907061	3,229045516	3,236074852	7,560983241
М6	5,387933261	3,220348931	3,20885677	7,522478261
М7	5,404715161	3,213224176	3,179569273	7,498933311
М8	5,384942778	3,28697899	3,289616069	7,561101959
М9	5,379207648	3,241589815	3,232333217	7,556221297
М10	5,41062707	3,240286471	3,241887432	7,535710936
М11	5,361543159	3,217419645	3,206715411	7,557041179
М12	5,391109598	3,221082372	3,215867031	7,530718502
М13	5,374061866	3,248592017	3,247105089	7,528252119
М14	5,392971072	3,236329238	3,261797008	7,558568481

Максимальні та мінімальні значення мінімізуючого і максимізуючого критеріїв згруповано у формі абстрактного (найгіршого) маршруту, табл. 3.16.

Таблиця 3.16

Абстрактний маршрут

Маршрут / Показник	M_A
$\min q_{g0}^{\max}$	1,058412295
$\max q_{p0}^{\min}$	1,122804545
$\min l_{c0}^{\max}$	1,069169184
$\max l_{cp0}^{\min}$	1,085402824
$\min v_d^{\max}$	1,064864865
$F_{1\max}$	5,41062707
$\min Pl_0^{\max}$	1,070910526
$\max Al_0^{\min}$	1,0840351
$\min P_{n0}^{\max}$	1,055348346
F_{2max}	3,28697899
$\min L_{E0}^{\max}$	1,068215108
$\min d_{s0}^{\max}$	1,064496004
$\min W_0^{\max}$	1,045996574
F_{3max}	3,289616069
$\max C_{v0}^{\min}$	1,084435257
$\max C_{p0}^{\min}$	1,12154597
$\min P_{p0}^{\max}$	1,066865335
$\min D_0^{\max}$	1,059666195
$\max E_0^{\min}$	1,096710487
$\min Y_0^{\max}$	1,107023775
$\min N_0^{\max}$	1,082692194
F_{4max}	7,561101959

Частинні критерії, нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень абстрактного маршруту M_A за виразами (2.32), (2.33) наведені в табл. Щ.1, табл. Щ.2, Додаток Щ.

Узагальнені критерії оптимальності нормовано за виразом (2.34). Розрахункові значення нормованих узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів наведено в табл. 3.17

Таблиця 3.17

Розрахункові значення нормованих узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М1-М14

Критерій / Маршрут	F_1	F_2	F_3	F_4
М1	0,94676405	0,941533137	0,940956956	0,951671453
М2	0,945888708	0,941299616	0,941064839	0,963278654
М3	0,948469702	0,941560429	0,940750966	0,952307073
М4	0,947678279	0,941222674	0,940686933	0,963736359
М5	0,946236322	0,932195367	0,940922022	0,961751501
М6	0,948982876	0,941629866	0,940706688	0,951968515
М7	0,954855781	0,943083343	0,94046931	0,955516013
М8	0,938745117	0,940093398	0,941331792	0,960259499
М9	0,945981123	0,941419348	0,940892399	0,962699924
М10	0,946871692	0,941635163	0,940967702	0,951152417
М11	0,947771063	0,941304103	0,940689803	0,963154709
М12	0,948575481	0,941634605	0,940762195	0,951781232
М13	0,941351109	0,940191175	0,941007554	0,950522311
М14	0,941249863	0,940095641	0,941120591	0,949500978

Сформовано інтегрований критерій оптимальності за виразом (2.35). Дані розрахунків наведено в табл. 3.18. Розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності маршрутів М1 – М14 наведено в табл. 3.19.

Таблиця 3.18

Формування інтегрованого критерію оптимальності маршрутів М1 – М14

Критерій / Маршрут	$(1 - F_{10})^{-1}$	$(1 - F_{20})^{-1}$	$(1 - F_{30})^{-1}$	$(1 - F_{40})^{-1}$
1	2	3	4	5
М1	18,7842989	17,10370538	16,93679617	20,69170417
М2	18,48043104	17,03566374	16,96779956	27,23211699
М3	19,40605893	17,11169315	16,87791222	20,96746949
М4	19,11252134	17,01336323	16,85969123	27,57583
М5	18,59991782	14,74825475	16,92678105	26,14481678
М6	19,60126162	17,132049	16,86530856	20,81967677

Продовж. табл. 3.18

1	2	3	4	5
M7	22,15123072	17,56954915	16,7980584	22,47999962
M8	16,32522925	16,69265108	17,04500673	25,16324572
M9	18,51204712	17,07048259	16,91829795	26,80959658
M10	18,82235744	17,13360385	16,93987928	20,47184198
M11	19,14647425	17,03696602	16,86050708	27,1405105
M12	19,44597676	17,13344004	16,88111164	20,73881276
M13	17,05062071	16,71994044	16,95132301	20,21113002
M14	17,02123678	16,69327609	16,98386626	19,80236368

Таблиця 3.19

Розрахункові значення інтегрованого критерію оптимальності маршрутів М1 – М14

Критерій / Маршрут	F_{Mi}
M1	73,51650463
M2	79,71601133
M3	74,36313379
M4	80,5614058
M5	76,4197704
M6	74,41829595
M7	78,99883789
M8	75,22613278
M9	79,31042424
M10	73,36768255
M11	80,18445785
M12	74,19934119
M13	70,93301418
M14	*70,50074282*

Оскільки вимога мінімізації (2.36) виконується до інтегрованого критерію маршруту М14, схема конфігурації якого наведена на рис. Ж.14, Додатку Ж, маршрут М14 вважається оптимальним.

Для оцінювання достовірності встановленого оптимального маршруту М14, визначено показник $\max F_M$ найгіршого варіанта оцінювання

ефективності системи загалом, відповідно до якого нормовано значення інтегрованого критерію за виразом (2.37). Результати розрахунків наведено в табл. 3.20.

$$\max F_M = (1-[0{,}924855781-0{,}03])^{-1} + (1-[0{,}913083343-0{,}03])^{-1} + \\ + (1-[0{,}911331792-0{,}03])^{-1} + (1-[0{,}933736359-0{,}03])^{-1} = 51{,}18225.$$

Таблиця 3.20

Нормовані значення інтегрованої оцінки оптимальності

Критерій / Маршрут	F_{M0}
M1	0,696200807
M2	0,642057336
M3	0,688274516
M4	0,635319721
M5	0,669751422
M6	0,687764336
M7	0,647886111
M8	0,680378586
M9	0,645340765
M10	0,69761301
M11	0,638306366
M12	0,689793859
M13	0,721557521
M14	0,725981711

За результатами розрахунків розподілено маршрути за лінгвістичними категоріями, табл. 3.21, ранжовано альтернативні маршрути, табл. 3.22.

Таблиця 3.21

Розподіл маршрутів за лінгвістичними категоріями

Інтегрована оцінка ефективності F_{M0}	Лінгвістична категорія ефективності	Маршрут
1,0 – 0,7	Висока	M14, M13
0,7 – 0,5	Добра	MI, M2, M3, M4, M5, M6, M7, M8, M9, M10, M11, M12
0,5 – 0,4	Задовільна	-
0,4 – 0,2	Низька	-
0,2 і менше	Незадовільна	-

Таблиця 3.23

Ранжування маршрутів за пріоритетом

Лінгвістична категорія ефективності	Маршрут	Ранг маршруту (пріоритет)
Висока	М14	$Р^1$
	М13	$Р^2$
Добра	М10	$Р^3$
	М1	$Р^4$
	М12	$Р^5$
	М3	$Р^6$
	М6	$Р^7$
	М8	$Р^8$
	М5	$Р^9$
	М7	$Р^{10}$
	М2	$Р^{11}$
	М9	$Р^{12}$
	М11	$Р^{13}$
	М4	$Р^{14}$
Задовільна	-	-
Низька	-	-
Незадовільна	-	-

Оскільки інтегрована оцінка ефективності маршруту М14 відноситься до лінгвістичної категорії «Висока» з пріоритетом $Р^1$ вважається, що оптимальність маршруту встановлено достовірно.

3.3.4 Оцінювання достовірності вибору оптимального маршруту

Оцінювання ефективності (адекватності) розробленої моделі доведено за допомогою порівняльного аналізу результуючих показників альтернативних маршрутів М14, М13, М4. Вибір таких маршрутів для порівняльної оцінки пояснюється наступним:

маршрут М14 є оптимальним, першого пріоритету $Р^1$, зі встановленою достовірністю, лінгвістична оцінка «висока», а маршрут М13 є наближеним до оптимального, другого пріоритету $Р^2$ з лінгвістичною оцінкою «висока» -

ці маршрути можливо розглядати в якості претендентів на компромісне рішення.

маршрут М4 є маршрутом з найнижчим пріоритетом P^{14} , лінгвістична оцінка «добре».

Характеристики маршрутів наведено у табл. 3.24

Таблиця 3.24

Характеристики маршрутів М14, М13, М4

Назва маршруту	Вершини маршруту	Станції маршруту	Лінгвістична категорія ефективності	Пріоритет маршруту
М14	13-11-10-8-7-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Стрий – Дрогобич – Самбір – Ужгород – Чоп	Висока	P^1
М13	13-11-10-8-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Стрий – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп		P^2
М4	13-11-12-6-9-4-7-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Скнилів – Самбір – Дрогобич – Стрий – Батьово – Чоп	Добра	P^{14}

Порівнянню підлягають сумарні значення часткових показників маршрутів за напрямом екстремуму, табл. 3.25, порівняння дає наступний розподіл, наведений в табл. 3.26.

Таблиця 3.25

Порівняльна оцінка маршрутів

Показник / Маршрут			М4 Пріоритет P^{14}	М14 Пріоритет P^{1}	М13 Пріоритет P^{2}
Узагальнений показник	Частковий показник	Напрям екстремуму			
F_1	q_g	max	104698,38	58150,38	68940,38
	q_p	min	35939	21368	21335
	l_c	max	1201,27	1114,03	1130,03
	l_{cp}	min	1169,66	1083,08	1099,25
	v_d	max	3300	2640	2640
F_2	Pl	max	25040,988	21377,381	21959,031
	Al	min	10808,524	10168,651	10169,123
	P_n	max	418	327	280
F_3	L_E	max	1075	1043	1109
	d_s	max	398,07	316,35	316,35
	W	max	103,884	69,939	76,709
F_4	C_v	min	4025965,686	3782150,81	3782334,37
	C_p	min	9946751,69	4025744,14	4024507,23
	P_p	max	57,528	43,858	46,029
	D	max	15501951,32	9028639,5	10529177,33
	E	min	2118910,568	1234094,928	1439198,498
	Y	max	13383040,71	7794544,532	9089978,792
	N	max	37931,0926	33451,4379	34229,3373

Якісна порівняльна оцінка дає наступні результати: маршрут М4 є найбільш завантаженим за показниками вантажних транспортних потоків, тому не є доцільним збільшення частки вантажного рухомого складу на даному маршруті; маршрут М14 не містить максимальних показників екстремумів вантажних транспортних потоків, а за показниками пасажирських перевезень спостерігається мінімальне завантаження, тому маршрут є оптимальним для орієнтування руху вантажного рухомого складу; маршрут М13 містить лише одне значення максимального показника екстремуму і може

використовуватись як альтернатива оптимальному маршруту М14, вразі стохастичного впливу (тимчасового блокування) оптимального маршруту.

Кількісна порівняльна оцінка маршрутів за напрямками екстремуму, табл. 3.26, рис. 3.13 показала завантаженість маршруту М4 на 92 %, М13 на 1,8%, в той час як ресурс можливого довантаження оптимального маршруту М14 – 67%.

Таблиця 3.26

Кількісна порівняльна оцінка маршрутів за напрямками екстремуму

Кількість показників напряму екстремуму	М4 Пріоритет P^{14}	М14 Пріоритет P^{1}	М13 Пріоритет P^{2}
max	11	-	1
min	-	4	2

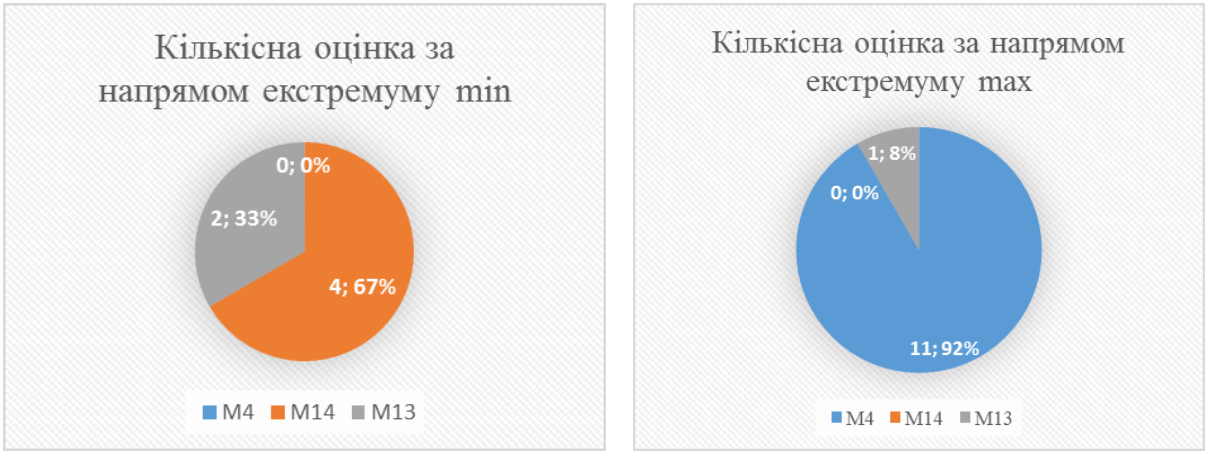


Рис. 3.13. Кількісна порівняльна оцінка за напрямами екстремуму маршрутів

Висновки до розділу 3

В третьому розділі дисертаційного дослідження розроблено архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків.

1. Ідентифіковано приналежність системи багатокритеріального розподілу транспортних потоків до експертних систем спеціального призначення. Сформовано вимоги до системи.

2. Спроектовано архітектуру СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків на основі структурної нотації проектування. В межах проектування розроблено структурну схему програми відповідно до її функцій і розподілу повноважень; математичне забезпечення обчислювального алгоритму; блок-схему алгоритму функціонування СППР. В основу математичного забезпечення обчислювального алгоритму покладено методику багатокритеріального вибору оптимального маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах та методику оптимального розподілу обмежених ресурсів.

3. Підтвердження працездатності запропонованих підходів проведено за допомогою розрахункового прикладу, що довів їх дієвість та працездатність.

ВИСНОВКИ

У дисертаційному дослідженні вирішено актуальне наукове завдання удосконалення архітектури систем підтримки прийняття рішень з автоматизованого розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.

1. Проаналізовано принципи побудови та методи організації мультимодальних перевезень на основі інформаційної взаємодії видів транспорту за допомогою автоматизованих систем управління перевезеннями. Аналіз показав відсутність єдиного підходу до визначення оптимального маршруту перевезення вантажів під час мультимодального перевезення за допомогою АСУ взаємодіючих видів транспорту. Основним завантаженим напрямком транспортних потоків з інтенсивним використанням шляхів спільного користування встановлено напрям Південь –Захід.

2. Аналіз традиційних підходів показав, що традиційна формалізація оптимізаційної задачі в однокритеріальній формі не забезпечує вирішення комплексної задачі вибору оптимального маршруту перевезення в мультимодальних транспортних мережах. Обґрунтовано доцільність застосування методів багатокритеріальної оптимізації для розв’язку оптимізаційних задач розподілу транспортних потоків та вибору оптимального маршруту доставки вантажів за допомогою АСУ взаємодіючих видів транспорту.

3. Уперше розроблено інфологічну модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на методах евристичного аналізу предметної галузі і відрізняється формалізацією задачі визначення оптимального маршруту у багатокритеріальній формі ієрархії вкладених груп критеріїв, що забезпечує підвищення адекватності математичних моделей розв’язку оптимізаційних задач транспортного типу.

4. Удосконалено математичну модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується і відрізняється багатокритеріальним вибором оптимального маршруту на графах з використанням вкладених згорток за нелінійною схемою компромісів, що забезпечує підвищення ефективності управління транспортними потоками за компромісним відношенням вектору показників ефективності до вартості.

5. Удосконалено архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах, яка базується на використанні в розрахунковому блоці структурних елементів, що забезпечують отримання обумовлених рішень про оптимальний маршрут перевезень, як результат синергетичного об'єднання розробленої інфологічної моделі факторів та показників і удосконаленої математичної моделі оптимального розподілу транспортних потоків. Архітектура програмної системи відрізняється удосконаленням структури розрахункового блоку завдяки формалізації транспортної задачі в багатокритеріальній формі та вибором оптимального маршруту за інтегрованим показником ефективності графових структур. Застосування удосконаленої архітектури дозволяє підвищити ефективність управління транспортними потоками за показниками оперативності і достовірності вихідних рішень

6. Оцінювання адекватності розроблених підходів проведено за допомогою розрахункового прикладу вибору оптимального маршрута на графі транспортної мережі та порівняльного аналізу результуючих показників альтернативних маршрутів.

Розроблені моделі та архітектура програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків у комплексі забезпечують виконання процедури вибору оптимального маршруту

перевезення реалізація якої забезпечує підвищення ефективності автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальних транспортних мережах.

Практичне значення отриманих результатів полягає у доведенні теоретичних методів до їх практичної реалізації. Значення розв'язаної у дисертації задачі для науки полягає в подальшому розвитку теоретичних та прикладних основ створення математичних моделей та інтелектуальних систем підтримки приняття рішень для розподілу транспортних потоків. Методи дослідження містять методи теорії імовірності; системного аналізу; методи математичного моделювання та математичної логіки теорії графів; синтезу. Наукові та прикладні результати досліджень, отримані в дисертації, доцільно використовувати: при розробці програмного забезпечення для формування маршрутів транспортних засобів, систем управління (координації та навігації) рухом транспортних засобів; у науково-дослідних організаціях.

Таким чином – у дисертаційній роботі реалізовані дослідження та здійснено розв'язок конкретної науково-прикладної задачі побудови математичної моделі багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж спрямованої на розвиток основ побудови архітектури програмного забезпечення автоматизованих систем, що відповідає п.12 та п.14 паспорту спеціальності 01.05.03 - математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем.

Перспективою подальших досліджень є дослідження механізму впливу на значення часткових показників оптимальності маршруту з метою направленої зміни рангу маршруту та приведення до значень оптимального маршруту.

Дисертаційна робота являється завершеною кваліфікаційною науковою працею, а її мета досягнута.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стасюк О. М. Ринки вантажних та пасажирських перевезень в Україні: проблеми та тенденції / О. М. Стасюк, Л. Ю. Чмирьова, Н. О. Федяй // Ефективна економіка. – 2020. – Вип. № 9. DOI: 10.32702/2307-2105-2020.9.54.

2. Петренко О. І. Сучасний стан та перспективи розвитку морських вантажних перевезень в Україні / О. І. Петренко // Review of transport economics and management. – 2020. – Вип. 3(19). – С. 126-136. DOI: 10.15802/rtem.v0i3(19).210051.

3. Малахівська Г. В. Стратегічні перспективи розвитку ринку авіаційних перевезень України [Електронний ресурс] / Г. В. Малахівська // Формування ринкових відносин в Україні. - 2018. - № 3. – С. 99-106. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/frvu_2018_3_15 - Назва з екр.

4. Кірюхіна О. Ю. Перспективи розвитку автомобільно-залізничних послуг на сегментному транспортному ринку України / О. Ю. Кірюхіна // ЭКУЖТ. Секция 10. Транспортные системы. – 2009. – № 4. – С. 367.

5. Березовий М. І. Дослідження умов ефективного впровадження в Україні несупроводжуваних контрейлерних перевезень / М. І. Березовий, В. В. Малашкін, В. В. Білан // Транспортні системи та технології перевезень: зб. наук. пр. Дніпров. нац. ун-ту залізн. трансп. ім. акад. В. А. Лазаряна. – Дніпро, 2018. – Вип. 16. – С. 4–12. DOI: 10.15802/tstt2018/164052.

6. Брайковська А. Стан та перспективи розвитку ринку контейнерних перевезень України / А. Брайковська, А. Теплюк // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія «Економіка і управління». – 2016. – Вип. 36. – С. 3–13.

7. Підлісний П. І. Роль контейнеризації змішаних вантажних перевезень у розвитку світової торгівлі [Електронний ресурс] / П. І. Підлісний,

Н. О. Паткевич, Ю. В. Цвєтов // Економічний форум. – 2016. – № 3. – С. 67-81. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ecfor_2016_3_11 - Назва з екр.

8. Горяинов Н. А. Развитие трансъевропейской транспортной сети (TEN-T) в рамках сотрудничества Connecting Europe Facility (CEF) [Електронний ресурс] / А. Н. Горяинов // Матеріали І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Напрями розвитку технологічних систем і логістики в АПВ». – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 29-39. – Режим доступу: http://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/zbirka_tez.pdf - Назва з екр.

9. Кадала В. В. Про уточнення поняття «перевезення вантажів у прямому змішаному сполученні» / В. В. Кадала // Проблеми правознавства та правоохоронної діяльності: Зб. наукових праць. – Донецьк: Донецький юридичний інститут. – 2009. – №4. – С. 186-191.

10. Кадала В. В. Аналіз цифровізації окремих державних послуг в галузі транспорту / В.В. Кадала // Транспортна безпека: правові та організаційні аспекти: матеріали XV Міжнародної науково-практичної конференції (в авторській редакції), (м. Кривий Ріг, 13 листопада 2020 року). – Кривий Ріг: ДЮІ МВС – 2020. – С. 131-134.

11. Кузнецов М. М. Розроблення технології комбінованих (контрейлерних) перевезень / М. М. Кузнєцов, І. В. Сівченко // Збірник наукових праць УкрДАЗТ. – 2012. – Вип. 128. – С. 69-72. DOI: 10.18664/1994-7852.128.2012.109898.

12. Кухарчик О. Г. Сутність та особливості розвитку регіонального ринку мультимодальних перевезень / О. Г. Кухарчик // Вісник ХНАУ ім. В.В. Докучаєва. Серія «Економічні науки». – 2019. – № 1. DOI: 10.31359/2312-3427-2019-1-146.

13. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. - 2-е изд., перераб. и доп. – К.: Вища шк. Головное изд-во, 1986. – 447 с.

14. Абрамов А. А. Контейнерные перевозки на железнодорожном транспорте. Учебное пособие / А. А. Абрамов. – М.: РГОТУПС, 2004. – 332 с.

15. Правдин Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта в узлах / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей. – Минск: Вышейшая школа, 1977. – 296 с.

16. Правдин Н. В. Взаимодействие различных видов транспорта: (примеры и расчеты) / Н. В. Правдин, В. Я. Негрей, В. Л. Подкопаев; Под ред. Н. В. Правдина. – М.: Транспорт, 1989. – 208 с.

17. Правдин Н. В. Прогнозирование грузовых потоков / Н. В. Правдин, М. Л. Дыканюк, В. Я. Негрей. – М.: Транспорт, 1987. – 247 с.

18. Галабурда В. Г. Методы определения синергетического эффекта транспорта [Електронний ресурс] / В. Г. Галабурда // Проблеми підвищення ефективності інфраструктури. – 2014. – Вип. 38. – С. 51-54. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/ppei_2014_38_11 - Назва з екр.

19. Единая транспортная система: Учеб. для вузов / В. Г. Галабурда, В.А. Персианов, А.А. Тимошин и др.; Под ред. В.Г. Галабурды. – М.: Транспорт, 1996. – 295 с.

20. Организация движения на железнодорожном транспорте. Часть 1./ Под общей ред. Проф. И. Г. Тихомирова. – Минск: Вышейшая школа, 1979. – 187 с.

21. Jean-Paul Rodrigue. The Geography of Transport Systems, 3-rd edition, New York: Routledge, 2013, pp. 416.

22. Каретников А. Д. График движения поездов / А. Д. Каретников, Н. А. Воробьев. – М.: Транспорт, 1979. – 301 с.

23. Логвінова Н. О. Підвищення ефективності організації руху поїздів на залізничних напрямках з паралельними ходами: монографія / Н. О. Логвінова // ДВНЗ «Нац. гірн. ун-т» – Дніпропетровськ: НГУ, 2014. – 127 с.

24. Волкова Т. В. Аналіз сучасного стану ринку інтелектуальних транспортних систем в Україні [Електронний ресурс] / Т. В. Волкова // Матеріали І Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції «Напрями

розвитку технологічних систем і логістики в АПВ». – Харків: ХНТУСГ, 2019. – С. 20-21. – Режим доступу: http://khntusg.com.ua/wp-content/uploads/2020/09/zbirka_tez.pdf - Назва з екр.

25. Інтелектуальні транспортні системи в Україні / А. Р. Гайков, О. П. Євсєєва, О. В. Баранов, В. Ю. Баранов // Вісник Нац. техн. ун-ту «ХПІ»: зб. наук. пр. – Харків : «НТУ ХПІ». – 2014. – № 9 (1052). – С. 106-112.

26. Субач І. Архітектура та функціональна модель перспективної проактивної інтелектуальної SIEM-системи для кіберзахисту об'єктів критичної інфраструктури / І. Субач, А. Микитюк, В. Кубрак // Information Technology and Security. – 2019. – Vol. 7, Iss. 2 (13). – pp. 208–215.

27. Герасимов Б. М. Системы поддержки принятия решений: проектирование, применение, оценка эффективности: моногр. / Б. М. Герасимов, М. М. Дивизинюк, И. Ю. Субач. – Севастополь: Издат. центр СНИЯЭ и П, 2004. – 320 с.

28. Нестеренко О. В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: Навч. посібн. / О. В. Нестеренко, О. І., О. О. Фаловський; За ред. П. І. Бідюк. – Київ, Національна академія управіння, 2016 – 118 с.

29. Системи підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник / О. І. Пушкар, В. М. Гіковатий, О. С. Евсеїв, Л. В. Потрашкова. – Х.: ВД «ІНЖЕК», 2006. – 304 с.

30. Забара С. С. Автоматизована система управління транспортними перевезеннями [Електронний ресурс] / С. С. Забара, М. Т. Дехтярук // Прогресивні інформаційні технології, високопродуктивні комп'ютерні системи. – К.: ННК «ІПСА» КПІ ім. Ігоря Сікорського. – 2014. – № 2. – С. 18-28. Режим доступу: http://journal.iasa.kpi.ua/article/view/29268 - Назва з екр.

31. Каменєв О. Ю. Проблематика підходів до дослідження безпеки використання ергатичних систем керування на залізничному транспорті /

О. Ю. Каменєв // Наука та прогрес транспорту. Вісник ДНУЗТ. – 2013. – Вип. 2 (44). – С. 7-16.

32. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернатив в технике / Т. Р. Брахман. – М.: Радио и связь, 1984. – 288 с.

33. Воронин А. Н. Многокритериальный синтез динамических систем / А. Н. Воронин. – К: Наук. думка, 1992. – 160 с.

34. Сложные технические и эргатические системы: метод использования / А. Н. Воронин, Ю. К., Зиатдинов, А. В. Харченко, В. В. Осташевский. – Харьков: Факт, 1997. – 240 с.

35. Воронин А. Н. Многокритериальное распределение ограниченных ресурсов / А. Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2010. – № 4. – С. 143–150.

36. Воронин А. Н. Вложенные скалярные свертки векторного критерия / А. Н. Воронин // Проблемы управления и информатики. – 2003. – №5. – С. 10-21.

37. Воронин А. Н. Методика многокритериальной оценки эффективности научных космических проектов / А. Н. Воронин, Л. Н. Колос, Л. В. Подгородецкая // Проблемы управления и информатики. – 2004. – №5. – С. 46–56.

38. V. V. Baranov, A. D. Tsvirkun. Development Control: Structural Analysis, Problems, Stability, October 2018, Automation and Remote Control, volume 79 (10), pp. 1780-1796. – Access Mode: DOI: 10.1134/S0005117918100041.

39. Baranov, V. V. and Tsvirkun, A. D. System-Structural Analysis of the Controlled Development of Largescale Systems, in Proc. MLSD‘2015, Moscow: Inst. Probl. Upravlen. RAN, 2015, vol. 1, pp. 13–27.

40. Антушев Г. С. Метиды параметрического синтеза сложных технических систем / Г. С. Антушев. – М.: Наука, 1986. – 89 с.

41. Вермишев Ю. Х. Методы автоматического поиска решений при проектировании сложных технических систем / Ю. Х. Вермишев. – М.: Радио и связь, 1982. – 152 с.

42. Анкундинов Г. І. Синтез структуры сложных обьектов: логикокомбинированный подход / Г. І. Анкундинов. – Л.: Ленинград, 1986. – 260 с.

43. Багатокритерійні математичні моделі ситуаційного управління та самоорганізації у складних інформаційних системах / Ю. Г. Даник, О. О. Писарчук, В. І. Шестаков та ін. – Житомир: ЖВІ, 2016 – 232 с.

44. Харченко В. П. Нелінійне та багатокритеріальне моделювання процесів у системах керування рухом: моногр. / В. П. Харченко, О. О. Писарчук. – К.: Ін-т обдарованої дитини, 2015. – 248 с.

45. Кини Р. Л., Раифа Х. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замечания. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.

46. Конвенция Организации Объединенных Наций о международных смешанных перевозках грузов : офиц. текст : [Женева, 24 мая 1980 г.] : [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_189#Text - Назва з екр.

47. Проект Закону «Про мультимодальні перевезення» №2685 : офіц. текст : станом на 27.12.2019р. [Електронний ресурс] – Режим доступу: http://w1.c1.rada.gov.ua/pls/zweb2/webproc4_1?pf3511=67796 - Назва з екр.

48. Закон України «Про транспорт» : офіц. текст. – ВВР, 1994 р. – № 51, ст. 446. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/232/94-%D0%B2%D1%80#Text - Назва з екр.

49. Закон України «Про залізничний транспорт» : офіц. текст. – ВВР, 1996 р. – № 40, ст. 183. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/273/96-%D0%B2%D1%80#Text - Назва з екр.

50. Закон України «Про автомобільний транспорт» : офіц. текст. – ВВР, 2001 р. – № 22, ст. 105. [Електронний ресурс] – Режим доступу: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2344-14#Text - Назва з екр.

51. Конрад Т. І. Технічне забезпечення взаємодії автомобільного і залізничного видів транспорту при перевезеннях вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2012. – С 197.

52. Конрад Т. І. Підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2011. – С 173.

53. Конрад Т. І. Мінімізація транспортних витрат на автомобільно-залізничні вантажні перевезення / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2013. – С 219.

54. Конрад Т. І. Дослідження архітектури мультимодальних інтелектуальних транспортних інформаційних систем / Т. І. Конрад // Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу: тези Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 24-25 жовтня 2017р., Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2017. – С 10.

55. Конрад Т. І. Дослідження питання інформаційної безпеки в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (PCSITS): Збірник доповідей та тез І Міжнародної науково-практичної конференції; м. Київ,05-06 квітня 2018 р.; Київський національний університет імені Тараса

Шевченка / Редкол.: Оксіюк О.Г. (голова) та ін. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2018. – С 438-440.

56. Конрад Т. І. Дослідження механізму захисту інформації від вірусів в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Інженерія програмного забезпечення 2018: Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 04 – 08 червня 2018 р.; Національний авіаційний університет / М.М. Гузій, О.В. Чебанюк, Ю.В. Величко, К.: НАУ, 2018. – С 40-43.

57. Konrad T. Research of Information Security Threats in Multimodal Transport Information Systems: International Conference on Software Engineering, June 03 – 06, 2019. Kyiv, p. 64-65.

58. Конрад Т. І. Аналіз сучасного стану організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. Ч. 2. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. – С. 363-369.

59. Конрад Т. І. Аналіз закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 10. – С. 292-297.

60. Соловйова О. О. Взаємодія видів транспорту. Конспект лекцій / О. О. Соловйова, О. Л. Савченко, Л. О Сулима. – К.: НАУ, 2010. – 60 с.

61. Конрад Т. І. Аналіз стану контейнерних перевезень швидкопсувних вантажів в автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 14-16 травня 2013 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 31-32.

62. Конрад Т. І. Застосування закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних контейнерних перевезень до транспортної інфраструктури України / Т.І. Конрад, С.В. Ширяєва // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2015. – С. 242.

63. Офіційний веб-сайт Головного інформаційно-обчислювального центру Філії АТ «Укрзалізниця» [Електронний ресурс]: Найважливіші автоматизовані системи та комплекси. – Режим доступу: https://givc.uz.gov.ua/ - Назва з екр.

64. Кір'янов О.Ф. Інформаційні технології на автомобільному транспорті [Текст] : навч. посіб. [Електронний ресурс] / О. Ф. Кір'янов, М. М. Мороз, Ю. О. Бойко // Кременчуц. нац. ун-т ім. Михайла Остроградського. – Харків: Друкарня Мадрид, 2015. – 270 с. Режим доступу: https://pidru4niki.com/81319/tehnika/informatsiyni_tehnologiyi_na_avtomobilnomu_transporti - Назва з екр.

65. Системи керування дорожнім рухом [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://rostok-elekom.com/ - Назва з екр.

66. Офіційний веб-сайт АМПУ Філія «Дельта-лоцман» [Електронний ресурс]: Пост регулювання руху суден «Одеса». – Режим доступу: http://www.delta-pilot.ua/prrs_odesa - Назва з екр.

67. Офіційний веб-сайт Державного підприємства обслуговування повітряного руху України [Електронний ресурс]: Системи управління Украероруху. – Режим доступу: http://uksatse.ua/index.php?s=9a1bcb2792511b3ebbf623c117a0ace0&act=Part&CODE=349 - Назва з екр.

68. Gnatyuk S., Vasyliev D. Modern critical aviation information systems // Ukrainian Scientific Journal of Information Security, 2016, vol. 22, issue 1, p. 51-57.

69. Власов А. А. Теория транспортных потоков: моногр. / А. А. Власов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 124 с.

70. Гольдштейн А. Л. Теория принятия решений. Задачи и методы исследования операций и принятия решений. Учебное пособие / А. Л. Гольдштейн. – Пермь: ПГТУ, 2002. – 357с.

71. Конрад Т. І. Аналіз сучасного стану автомобільних і залізничних перевезень швидкопсувних вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13 – С. 212-220.

72. Лазарев А. А. Теория расписаний. Задачи и алгоритмы / А. А. Лазарев, Е. Р. Гафаров. – М.: Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова (МГУ), 2011. – 222 с.

73. Колєчкіна Л. М. Властивості задач багатокритеріальної оптимізації на комбінаторних множинах та методи їх розв'язання: Монографія / Л. М. Колєчкіна. – Полтава: РВВ ПУСКУ, 2008. – 162 с.

74. Конрад Т. І. Дослідження впливу реформування галузі залізничного транспорту України на організацію автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 18-20 листопада 2015р., Харків /відп. ред. Н. Б. Чернецька-Білецька. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2015. – С. 50-52.

75. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення руху вантажних і пасажирських поїздів в Україні в контексті підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 541-553.

76. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення вантажного і пасажирського руху поїздів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXXII наукова конференція

професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2016. – С. 221.

77. Конрад Т. І. Залучення іноземного досвіду розділення руху вантажних і пасажирських поїздів для підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2016. – Вип. 55. – С. 437-441.

78. Тесленко Т. В. Темпи реформування системи управління на залізницях окремих держав світу / Т. В. Тесленко // Вісн. наук. праць ДПТ. – Д.: ДІІТ, 2003. – Вип.1. – С. 68-73.

79. Government of the Netherlands: Freight transport. – Access Mode: https://www.government.nl/topics/freight-transportation (Accessed 25 November 2019).

80. Handbook on the Regulation concerning a European rail network for competitive freight (Regulation EC 913/2010), Brussel, 2011, pp. 57.

81. RNE RailNetEurope: Rail Freight Corridors (RFCs). – Access Mode: http://www.rne.eu/rail-freight-corridors-rfcs.html (Accessed 18 December 2019).

82. Конрад Т. І. Аналіз факторів, що впливають на час доставки швидкопсувних вантажів у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Луганськ, 5-8 травня 2014 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 42-43.

83. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 15. Ч. 1 – С. 48-56.

84. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2014. – С. 205.

85. Конрад Т. І. Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Мороз, М. Д. Стукач, А. М. Баланчук // Вісник інженерної академії. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2019. – №1. – С. 148-156.

86. Загальний курс транспорту: Навч. Посібник / С. Г. Фришев, І. І. Мельник, С. М. Бондар. За ред. Фришев С. Г. – К.: Вища освіта, 2006. – 162 с.

87. Организация железнодорожных пасажирских перевозок: учеб. пособие для студ. Учреждений сред. проф. образования / [А. А. Авдовский, А. С. Бадаев, К. А. Белов и др.]; под ред. В. А. Кудрявцева. – 2-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 256 с.

88. Офіційний веб-сайт Міністерства інфраструктури України [Електронний ресурс]: Інформація про Українські залізниці, 2019. – Режим доступу: https://mtu.gov.ua/content/informaciya-pro-ukrainski-zaliznici.html - Назва з екр.

89. Офіційний веб-сайт Державної служби статистики [Електронний ресурс]: Експлуатаційна довжина шляхів сполучення загального користування. – Режим доступу: http://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2005/tz/tz_rik/tz_u/tr_met.html - Назва з екр.

90. Горбенко А. П. Підвищення експлуатаційної ефективності вантажного рухомого складу: Навчальний посібник / А. П Горбенко. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – 102 с.

91. Експлуатаційні властивості транспортних засобів: Конспект лекцій / Р. І. Візняк, А. О. Ловська, В. А. Гребенюк, В. Г. Равлюк. – Харків: УкрДУЗТ, 2015. – 50 с.

92. Организация движения на железнодорожном транспорте. Ч. 1. Учебное пособие для вузов ж.д. транспорта по эксплуатационной специальности. / Под общ. ред. проф. И. Г. Тихомирова. – Минск: Вышейшая школа, 1979. – 224 с.

93. Железнодорожные станции и узлы: Учеб. Пособие для студ. учреждений сред. проф. образования / Ю. И. Ефименко, С. И. Логвинов, В. С. Суходоев и др.; Под ред. Ю. И. Ефименко. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 336 с.

94. Горев А .Э. Грузовые автомобильные перевозки: учеб. пособие для студ. высш. учеб. заведений / А. Э. Горев. – 5-е изд., испр. – М.: Издательский центр «Академия», 2008. – 288 с.

95. Економіка залізничного транспорту : Підручник / за ред. Ю. В. Кулаєва, Ю. С. Бараша, М. В. Гненного; Дніпропетр. Нац. ун-т залізн. Трансп. Ім. акад. В. Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2014. – 480 с.

96. Економіка залізничного транспорту : Навч. посібник / Л. О. Позднякова, О. Г. Дейнека, М. Д. Жердєв та ін.; за заг. ред. Л. О. Позднякової, О. Г. Дейнеки. – Харків: УкрДАЗТ, 2010. – 243 с.

97. Економіка і фінанси підприємства : підручник / Й. М. Петрович, Л. М. Прокопишин-Рашкевич. – Львів: Магнолія 2006, 2014. – 406 с.

98. Яцківський Л. Ю. Загальний курс транспорту: Навчальний посібник / Л. Ю. Яцківський, Д. В. Зеркалов. – Кн. 1. – К.: Арістей, 2007. – 544 с.

99. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]: Тарифне керівництво №4. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/cargo_transportation/legal_documents/tk4/ - Назва з екр.

100. Харари Френк. Теория графов / Пер. с англ. и предисл. В. П. Козырева. Под ред. Г. П. Гаврилова. Изд. 2-е. – М.: Едиториал УРСС, 2003. – 296с.

101. Tetiana Konrad. Mathematical Model of Multicriterial Distribution of Transport Flows in The Multimodal Transport Network. International Journal "INFORMATION THEORIES & APPLICATIONS" Vol. 26, Number 4, 2019. Printed in Bulgaria, pp. 334 – 358. ISSN 1310-0513 (printed).

102. Pysarchuk Oleksii, Konrad Tetiana. Assessment Of The Reliability Of Multicriterial Choosing The Optimal Route Of Cargo Transportation In The Multimodal Transport Network. POLISH JOURNAL OF SCIENCE №35, Vol. 1., 2021., Printed in Poland, pp. 25– 35. ISSN 3353-2389.

103. Конрад Т. І. Технологія автоматизованого управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі / Т.І. Конрад, О.О. Писарчук // Наукоємні технології. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2020. – №4 (48). – С. 451-459. DOI: 10.18372/2310-5461.48.15128.

104. Лавріщева К. М. Програмна інженерія. – К.:Академперіодика, 2008. – 319 с.

105. Конрад Т. І. Методика багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Маранов, В. І. Воробей, М. Я. Коршунов, М. К. Пустовий // Новітні технології: зб. наук. праць. – Київ: Вид-во УНТ, 2018. – Вип. 3 (7). – С. 81-88. DOI: 10.31180/2524-0102/2018.3.07.09.

106. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]: Розклад руху призначених пасажирських поїздів на період 2020-2021 роки : Інформація за номером поїзда 108. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/passengers/timetable/?ntrain=664&by_id=1 - Назва з екр.

107. Офіційний веб-сайт Львівської залізниці [Електронний ресурс]: Львівська механізована дистанція навантажувально-розвантажувальних робіт. – Режим доступу: http://railway.lviv.ua/railway/depts/mch-lviv/ - Назва з екр.

108. Офіційний веб-сайт Регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця» [Електронний ресурс]: Служба перевезень регіональної філії «Одеська залізниця». – Режим доступу: http://odz.gov.ua/departments/per_dep.php - Назва з екр.

109. Вагоны: Учебник для вузов ж.-д. трансп. / Л. А. Шадур, И. И. Челноков, Л. Н. Никольский, Е. Н. Никольский, В. Н. Котуранов, П. Г. Проскурнев, Г. А. Казанский, А. Л. Спиваковский, В. Ф. Девятков; Под ред. Л. А. Шадура. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1980. – 439 с.

110. Контейнеры: Справочник / Ф. А. Пладис, В. А. Шкурин, Г. Э. Сумраев. Под ред. В.А. Шкурина. – М.: Машиностроение, 1981. – 191 с.

111. CASES [Електронний ресурс]: Інтерактивна карта пасажирських перевезень Укрзалізниці. – Режим доступу: https://cases.media/case/interaktivna-karta-pasazhirskikh-perevezen-ukrzaliznici - Назва з екр.

112. Офіційний веб-портал Верховної ради України [Електронний ресурс]: Адміністративно-територіальний устрій областей. – Режим доступу: https://static.rada.gov.ua/zakon/new/NEWSAIT/ADM/zmist.html - Назва з екр.

113. Офіційний веб-сайт Львівської залізниці [Електронний ресурс]: Відділи та структурні підрозділи. – Режим доступу: http://railway.lviv.ua/railway/dn-3/viddili-ta-strukturni-pidrozdili/ - Назва з екр.

114. Офіційний веб-сайт Регіональної філії «Одеська залізниця» АТ «Укрзалізниця» [Електронний ресурс]: Структурні підрозділи філії. – Режим доступу: http://odz.gov.ua/departments/ - Назва з екр.

115. Офіційний веб-сайт Укрзалізниці [Електронний ресурс]: Фінансові показники / показники основної діяльності. – Режим доступу: https://www.uz.gov.ua/about/investors/financial_statements/ - Назва з екр.

Додаток А

Список публікацій здобувача за темою дисертації

Статті у наукових фахових виданнях України:

1. Конрад Т. І. Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів залізничним рухомим складом / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Мороз, М. Д. Стукач, А. М. Баланчук // Вісник інженерної академії. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2019. – №1. – С. 148-156.

2. Конрад Т.І. Технологія автоматизов аного управління транспортними потоками в мультимодальній транспортній мережі / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук // Наукоємні технології. Науковий журнал. – Київ: Вид-во НАУ, 2020. – №4 (48). – С. 451-459. DOI: 10.18372/2310-5461.48.15128.

3. Конрад Т. І. Аналіз сучасного стану організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Науково-технічний збірник. Ч. 2. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 26. – С. 363-369.

4. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення руху вантажних і пасажирських поїздів в Україні в контексті підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науково-технічний збірник. – К.: НТУ, 2016. – Вип. 1 (34). – С. 541-553.

5. Конрад Т. І. Залучення іноземного досвіду розділення руху вантажних і пасажирських поїздів для підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Наукові нотатки: зб. наук. праць. – Луцьк: Вид-во ЛНТУ, 2016. – Вип. 55. – С. 437-441.

Додаток А (Продовження)

Статті у наукових фахових виданнях України, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

6. Конрад Т. І. Методика багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальній транспортній мережі / Т. І. Конрад, О. О. Писарчук, О. В. Маранов, В. І. Воробей, М. Я. Коршунов, М. К. Пустовий // Новітні технології: зб. наук. праць. – Київ: Вид-во УНТ, 2018. – Вип. 3 (7). – С. 81-88. DOI: 10.31180/2524-0102/2018.3.07.09. Index Copernicus, Scientific Indexing Services (SIS), e-Library.

7. Конрад Т. І. Аналіз закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних перевезень вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2012. – Вип. 10. – С. 292-297. Science Index, e-Library

8. Конрад Т.І. Аналіз сучасного стану автомобільних і залізничних перевезень швидкопсувних вантажів в Україні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Науковий журнал. – К.: НТУ, 2014. – Вип. 13 – С. 212-220. Science Index, e-Library

9. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Управління проектами, системний аналіз і логістика: Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2015. – Вип. 15. Ч. 1 – С. 48-56. Science Index, e-Library

Статті опубліковані в інших виданнях, які входять до міжнародних наукометричних баз даних:

10. Tetiana Konrad. Mathematical Model of Multicriterial Distribution of Transport Flows in The Multimodal Transport Network. International Journal “INFORMATION THEORIES & APPLICATIONS” Vol. 26, Number 4, 2019. Printed in Bulgaria., pp. 334 – 358. ISSN 1310-0513 (printed).

Додаток А (Продовження)

11. Pysarchuk Oleksii, Konrad Tetiana. Assessment Of The Reliability Of Multicriterial Choosing The Optimal Route Of Cargo Transportation In The Multimodal Transport Network. POLISH JOURNAL OF SCIENCE №35, Vol. 1., 2021., Printed in Poland, pp. 25– 35. ISSN 3353-2389

Тези наукових конференцій:

12. Конрад Т. І. Підвищення ефективності автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та працівників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2011. – С. 173.

13. Конрад Т. І. Технічне забезпечення взаємодії автомобільного і залізничного видів транспорту при перевезеннях вантажів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXVIII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2012. – С. 197.

14. Конрад Т. І. Мінімізація транспортних витрат на автомобільно-залізничні вантажні перевезення / Т. І. Конрад, С.В. Ширяєва // LXIX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2013. – С. 219.

15. Конрад Т. І. Аналіз стану контейнерних перевезень швидкопсувних вантажів в автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали IV-ої Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Євпаторія, 14-16 травня 2013 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2013. – С. 31-32.

Додаток А (Продовження)

16. Конрад Т. І. Дослідження часу обороту контейнера у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXX наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2014. – С. 205.

17. Конрад Т.І. Аналіз факторів, що впливають на час доставки швидкопсувних вантажів у автомобільно-залізничному сполученні / Т. І. Конрад // Матеріали V Міжнародної науково-практичної конференції «Проблеми розвитку транспортних систем і логістики», м. Луганськ, 5-8 травня 2014 року: збірник наукових праць / Міністерство освіти і науки України, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля [та інш.]. – Луганськ: СНУ ім. В. Даля, 2014. – С. 42-43.

18. Конрад Т. І. Застосування закордонного досвіду організації автомобільно-залізничних контейнерних перевезень до транспортної інфраструктури України / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXXI наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2015. – С. 242.

19. Конрад Т. І. Дослідження впливу реформування галузі залізничного транспорту України на організацію автомобільно-залізничних вантажних перевезень / Т.І. Конрад // Логістичне управління та безпека руху на транспорті: збірник наукових праць конф., 18-20 листопада 2015р., Харків /відп. ред. Н. Б. Чернецька-Білецька. – Сєвєродонецьк: СНУ ім. В. Даля, 2015. – С. 50-52.

Додаток А (Продовження)

20. Конрад Т. І. Обґрунтування розділення вантажного і пасажирського руху поїздів / Т. І. Конрад, С. В. Ширяєва // LXXII наукова конференція професорсько-викладацького складу, аспірантів, студентів та співробітників відокремлених структурних підрозділів університету. Збірник тез. – К.: НТУ, 2016. – С. 221.

21. Конрад Т. І. Дослідження архітектури мультимодальних інтелектуальних транспортних інформаційних систем / Т. І. Конрад // Інтелектуальні технології лінгвістичного аналізу: тези Міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 24-25 жовтня 2017р., Національний авіаційний університет. – К.: НАУ, 2017. – С. 10.

22. Конрад Т. І. Дослідження питання інформаційної безпеки в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Проблеми кібербезпеки інформаційно-телекомунікаційних систем (PCSITS): Збірник доповідей та тез І Міжнародної науково-практичної конференції; м. Київ,05-06 квітня 2018 р.; Київський національний університет імені Тараса Шевченка / Редкол.: Оксіюк О. Г. (голова) та ін. – К.: ВПЦ «Київський університет», 2018. – С. 438-440.

23. Конрад Т. І. Дослідження механізму захисту інформації від вірусів в мультимодальних інтелектуальних транспортних системах / Т. І. Конрад // Інженерія програмного забезпечення 2018: Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції, м. Київ, 04 – 08 червня 2018 р.; Національний авіаційний університет / М. М. Гузій, О. В. Чебанюк, Ю. В. Величко, К.: НАУ, 2018. – С. 40-43.

24. Konrad T. Research of Information Security Threats in Multimodal Transport Information Systems: International Conference on Software Engineering, June 03 – 06, 2019. Kyiv, p. 64-65.

Додаток Б

Відомості про апробацію результатів дослідження

ПОГОДЖУЮ
Проректор з навчальної роботи

А. Полухін

«21» 12 2020 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ
Проректора з наукової роботи

В. Дружинін

21.12 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ
результатів дисертаційної роботи в
навчальний процес
Національного авіаційного університету

Комісія, що є представниками Національного авіаційного університету, у складі завідувача кафедри інженерії програмного забезпечення д.т.н., доцента Зибіна С.В., д.т.н., професора, професора кафедри інженерії програмного забезпечення Трембовецького М.П., д.т.н., доцента, професора кафедри інженерії програмного забезпечення Чебанюк О.В. к.т.н., доцента, доцента кафедри інженерії програмного забезпечення Талалаєва В.О.
склали дійсний акт у тому, що результати дисертаційної роботи Конрад Т.І. «Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж»,

(назва дисертаційної роботи)

використовуються в навчальному процесі Національного авіаційного університету факультету кібербезпеки, комп'ютерної та програмної інженерії на кафедрі інженерії програмного забезпечення

(ВНЗ, факультет, кафедра)

Що впроваджено (ТЗ, ТТВ, прилад, технологія, програма, алгоритм, модель, методика, рекомендації, регламент, інструкція, виявів, посібник, нормативи та інше)	Форма впровадження (підручник, навчальний посібник, конспект лекцій, методичні розробки, лабораторний практикум, програма курсу, постановка лабораторної роботи, продовження розробки в курсовому та дипломному проекті)	Ефект від впровадження
Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.	Використовуються в навчальному процесі при проведенні лабораторних робіт згідно з програмою навчальних дисциплін «Основи інженерії програмного забезпечення» (модуль 2 «Методи та інструментальні засоби та професійні компетенції, що забезпечують колективну розробку та промислове виробництво програмного забезпечення») зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення»; «Аналіз вимог і моделювання програмного забезпечення» (модуль 1 «Типи модельно-орієнтованих підходів розробки програмного забезпечення») зі спеціальності 121 «Інженерія програмного забезпечення».	Підвищення якості навчального процесу шляхом використання запропонованої математичної моделі

Голова комісії — д.т.н., доцент Зибін С.В.

Члени комісії:
д.т.н., проф. Трембовецький М.П.
д.т.н., доцент Чебанюк О.В.
к.т.н., доцент Талалаєв В.О.

Додаток Б (Продовження)

ЗАТВЕРДЖУЮ
В.о. проректора з наукової роботи
Національного авіаційного
університету
_____ В. Дружинін
21 12 2020 р.

АКТ ВПРОВАДЖЕННЯ

результатів кандидатської дисертаційної роботи Конрад Тетяни Ігорівни на тему «Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж» при виконанні науково-дослідних робіт у Національному авіаційному університеті

Комісія, що є представниками Національного авіаційного університету, в складі завідувача кафедри інженерії програмного забезпечення д.т.н., доцента Зибіна С.В., д.т.н., доцента, професора кафедри інженерії програмного забезпечення Чебанюк О.В. склали акт про те, що результати дисертаційних досліджень Конрад Т.І. впроваджені у НДР кафедри інженерії програмного забезпечення: 29/09.01.02 «Онтології у інженерії програмного забезпечення» (2016-2018 р.); 58/09.01.02 «Методологія підвищення ефективності процесів життєвого циклу розробки програмного забезпечення у гнучких підходах його розробки» (2019-2022 р.); «Експертна система ситуаційного синтезу програми технічного обслуговування регіональних транспортних літаків типу АН-32 на базі оптимізаційних нейронних мереж» (шифр «CALS-авіоніка») (2019-2020 р.).

Назва НД та ДКР, де впроваджується	Форма впровадження
НДР № 29/09.01.02 «Онтології в інженерії програмного забезпечення»	Інфологічна модель факторів, показників та критеріїв оптимальності маршруту перевезення вантажів в мультимодальних транспортних мережах
НДР 58/09.01.02 «Методологія підвищення ефективності процесів життєвого циклу розробки програмного забезпечення у гнучких підходах його розробки»	
НДР «Експертна система ситуаційного синтезу програми технічного обслуговування регіональних транспортних літаків типу АН-32 на базі оптимізаційних нейронних мереж» (шифр «CALS-авіоніка»)	

Завідувач кафедри ІПЗ
д.т.н., доцент _____ Зибін С.В.

д.т.н., доцент _____ Чебанюк О.В.

Додаток Б (Продовження)

РАЗНОБЫТПРОДУКТ

ГОЛАНДСЬКІ ТЕКСТИЛЬНІ ТРАДИЦІЇ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Комерційний директор ПрАТ «РАЗНОБИТПРОДУКТ»

І.Л. МАРТИНЧУК

"16" 11 2020р.

АКТ

про впровадження

результатів дисертаційної роботи Конрад Тетяни Ігорівни на тему: ***«Математична модель багатокритеріального розподілу транспортних потоків для автоматизованих систем мультимодальних транспортних мереж»***, яку подано на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю *01.05.03 – математичне та програмне забезпечення обчислювальних машин і систем*

Комісія у складі: голова комісії – Мартинчук І.Л. та члени комісії: Бондаренко Б.В., Ярошевич К.А., Андіяшкін А.В.

Розглянуто **архітектуру програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах.**

Комісією встановлено, що запропонована архітектура програмної системи підтримки прийняття рішень багатокритеріального розподілу транспортних потоків в мультимодальних транспортних мережах є працездатною та доцільною для цільового використання.

Практичне застосування запропонованих розробок довело їх дієвість і адекватність вихідних результатів.

Наукові результати, отримані особисто Конрад Т.І. реалізовані для вибору оптимального маршруту доставки вантажів у контейнерах під час мультимодальних перевезень за участю морського та автомобільного транспорту.

Голова комісії МАРТИНЧУК І.Л.

Члени комісії: БОНДАРЕНКО Б.В.

ЯРОШЕВИЧ К.А.

АНДІЯШКІН А.В.

"16" 11 2020 р.

Додаток В

Блок-схема алгоритму функціонування СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків

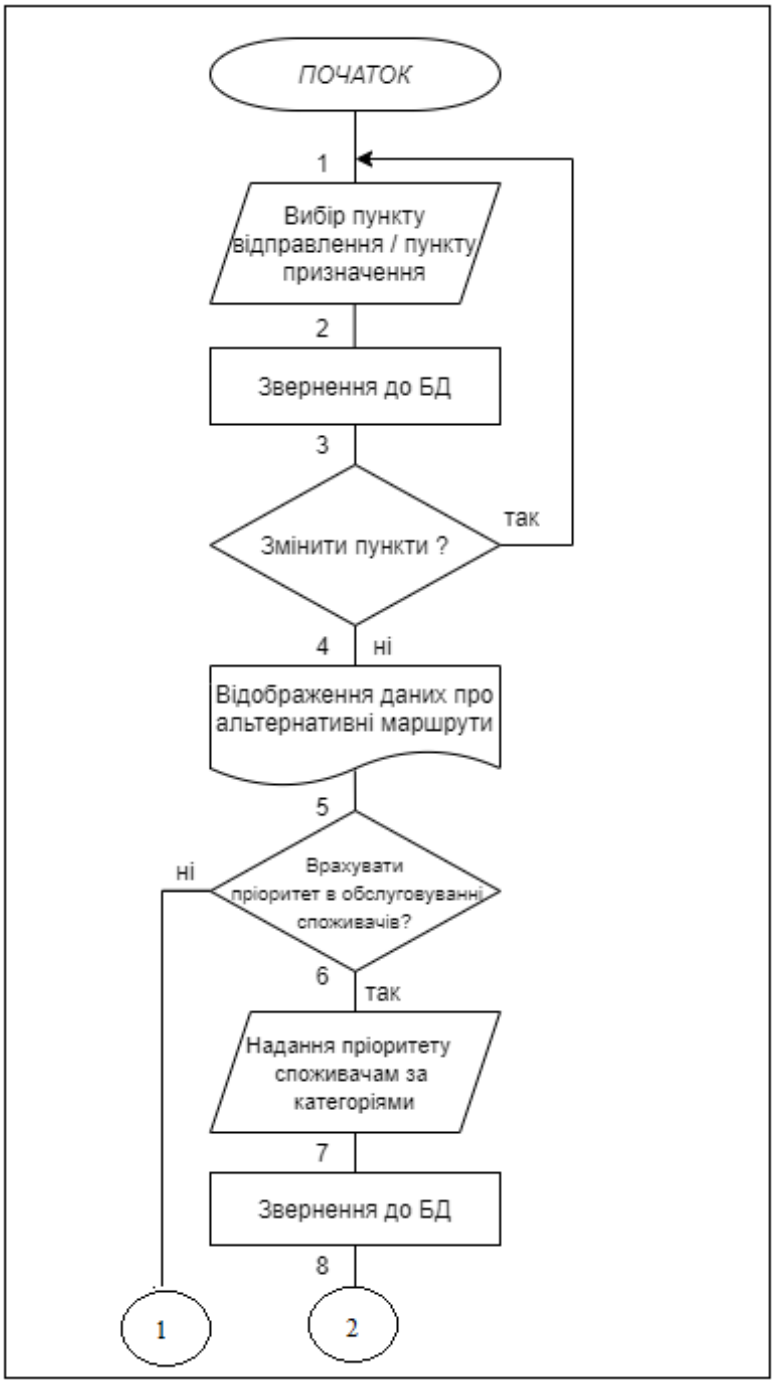


Рис. В.1 Блок-схема алгоритму функціонування СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків (початок алгоритму)

Додаток В (Продовження)

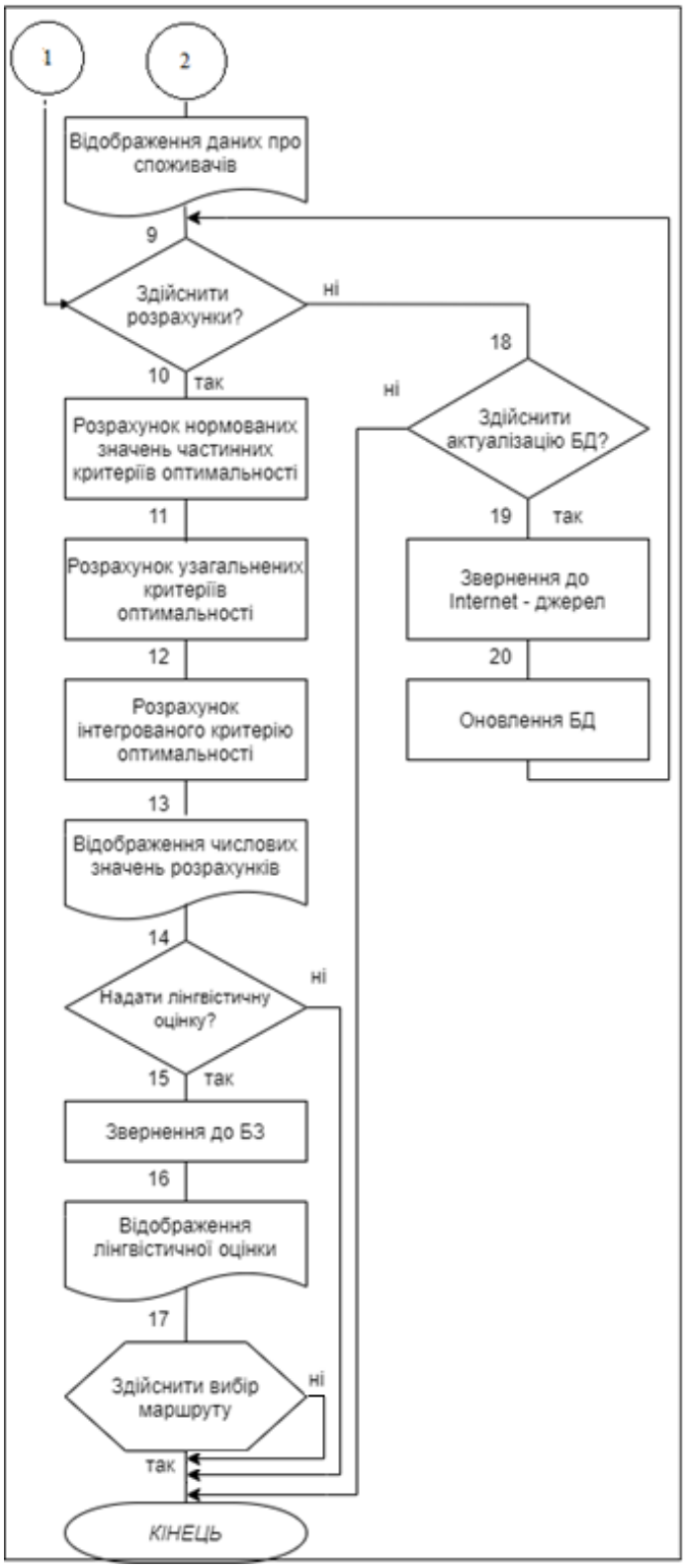
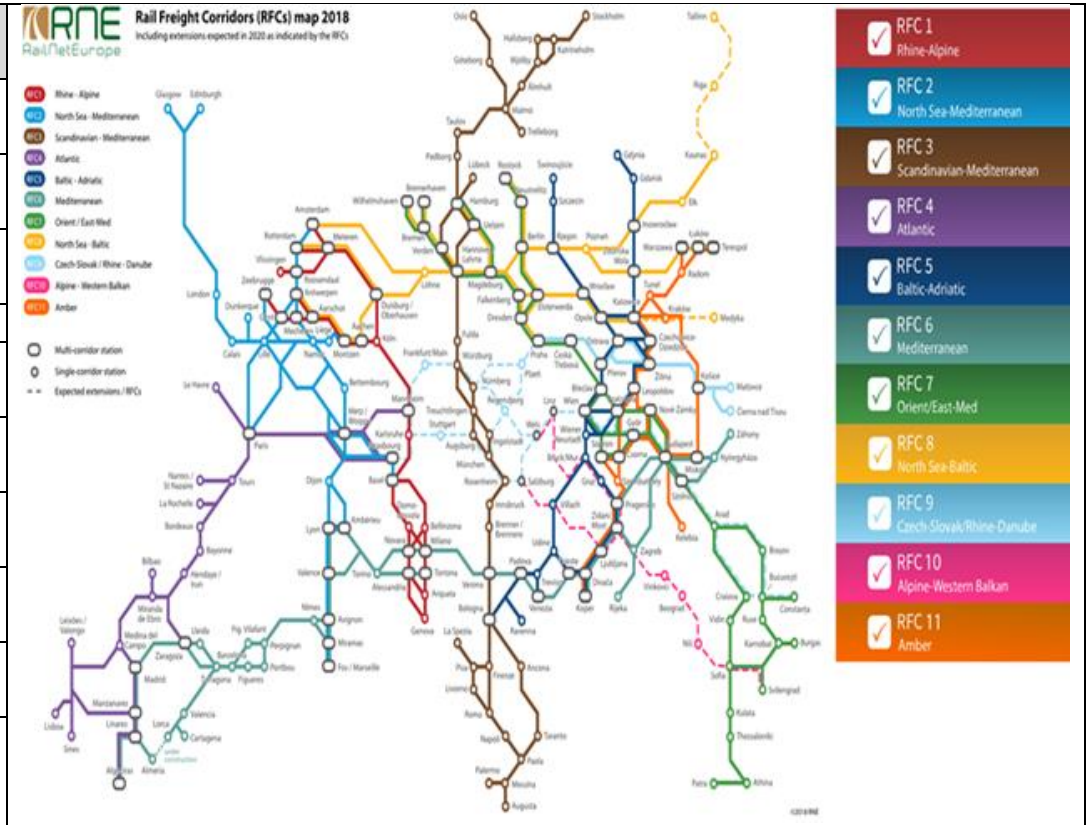


Рис. В.2 Блок-схема алгоритму функціонування СППР багатокритеріального розподілу транспортних потоків (закінчення алгоритму)

Додаток Г

Вантажні залізничні коридори RFCs країн ЄС

№	Позначення коридору	Назва
1	RFC:1	Коридор Рейн-Альпи (Rhine-Alpine Corridor)
2	RFC:2	Коридор Північне море - Середземне море (North Sea-Mediterranean Corridor)
3	RFC:3	Скандинавсько-середземноморський коридор (ScanMed Corridor)
4	RFC:4	Атлантичний коридор (Atlantic Corridor)
5	RFC:5	Балтійсько-Адріатичний коридор (Baltic-Adriatic Corridor)
6	RFC:6	Середземноморський коридор (Mediterranean Corridor)
7	RFC:7	Східний коридор (Orient/East-Med Corridor)
8	RFC:8	Коридор Північне море - Балтика (North Sea - Baltic Corridor)
9	RFC:9	Чесько-Словацький коридор (CS (Czech-Slovak) Corridor)
10	RFC:10	Альпійсько - Західно-Балканський коридор (Alpine - Western Balkan Corridor)
11	RFC:11	Бурштиновий коридор (Amber Corridor)



Інтерактивна карта коридорів RFCs

Рис. Г.1 Вантажні залізничні коридори RFCs країн ЄС

Додаток Д

Характеристика ребер графа транспортної мережі

Таблиця Д.1

Характеристика ребер графа транспортної мережі

№ п/п	Ребро	Станції	Відстань, км
1	1 – 2	Чоп – Батьово	16
	2 – 1	Батьово – Чоп	16
2	1 – 3	Чоп – Ужгород	22
	3 – 1	Ужгород – Чоп	22
3	3 – 4	Ужгород – Самбір	193
	4 – 3	Самбір – Ужгород	193
4	4 – 7	Самбір – Дрогобич	43
	7 – 4	Дрогобич – Самбір	43
5	4 – 9	Самбір – Скнилів	73
	9 – 4	Скнилів – Самбір	73
6	2 – 8	Батьово – Стрий	175
	8 – 2	Стрий – Батьово	175
7	8 – 7	Стрий – Дрогобич	27
	7 – 8	Дрогобич – Стрий	27
8	8 – 9	Стрий – Скнилів	70
	9 – 8	Скнилів – Стрий	70
9	8 – 10	Стрий – Ходорів	41
	10 – 8	Ходорів – Стрий	41
10	9 – 6	Скнилів – Львів	5
	6 – 9	Львів – Скнилів	5
11	6 – 5	Львів – Мостиська II	78
	5 – 6	Мостиська II – Львів	78
12	6 – 12	Львів – Красне	51
	12 – 6	Красне – Львів	51
13	6 – 10	Львів – Ходорів	64
	10 – 6	Ходорів – Львів	64
14	10 – 11	Ходорів – Тернопіль	115
	11 – 10	Тернопіль – Ходорів	115
15	12 – 11	Красне – Тернопіль	90
	11 – 12	Тернопіль – Красне	90
16	13 –11	Одеса-Застава 1–Тернопіль	595
	11 – 13	Тернопіль – Одеса-Застава 1	595

Додаток Е

Альтернативні маршрути перевезень вантажів

Таблиця Е.1

Альтернативні маршрути перевезень

Назва маршруту	Вершини груфу	Станції маршруту
М1	13-11-12-6-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп
М2	13-11-12-6-9-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Скнилів – Стрий – Батьово – Чоп
М3	13-11-12-6-9-8-7-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Скнилів – Стрий – Дрогобич – Самбір – Ужгород – Чоп
М4	13-11-12-6-9-4-7-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Скнилів – Самбір – Дрогобич – Стрий – Батьово – Чоп
М5	13-11-12-6-10-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Ходорів – Стрий – Батьово – Чоп
М6	13-11-12-6-10-8-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Ходорів – Стрий – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп
М7	13-11-12-6-5-6-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Красне – Львів – Мостиська ІІ – Львів – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп
М8	13-11-10-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Стрий – Батьово – Чоп
М9	13-11-10-6-9-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Львів – Скнилів – Стрий – Батьово – Чоп
М10	13-11-10-6-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Львів – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп
М11	13-11-10-6-9-4-7-8-2-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Львів – Скнилів – Дрогобич – Стрий – Батьово – Чоп
М12	13-11-10-6-9-8-7-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Львів – Скнилів – Стрий – Дрогобич – Самбір – Ужгород – Чоп
М13	13-11-10-8-9-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Стрий – Скнилів – Самбір – Ужгород – Чоп
М14	13-11-10-8-7-4-3-1	Одеса-Застава 1 – Тернопіль – Ходорів – Стрий – Дрогобич – Самбір – Ужгород – Чоп

Додаток Ж

Схеми конфігурацій альтернативних маршрутів

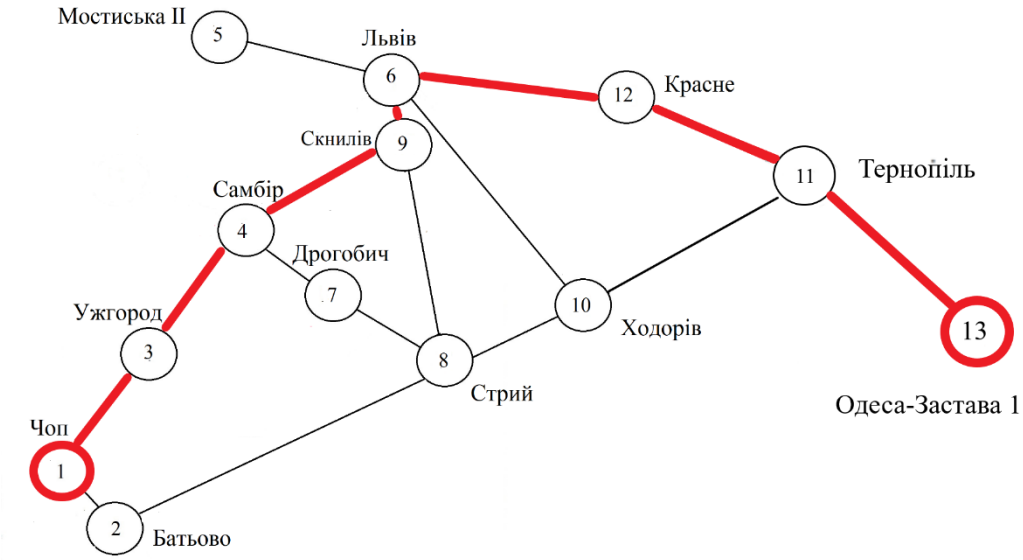


Рис. Ж.1 Схема схема конфігурації маршруту М1

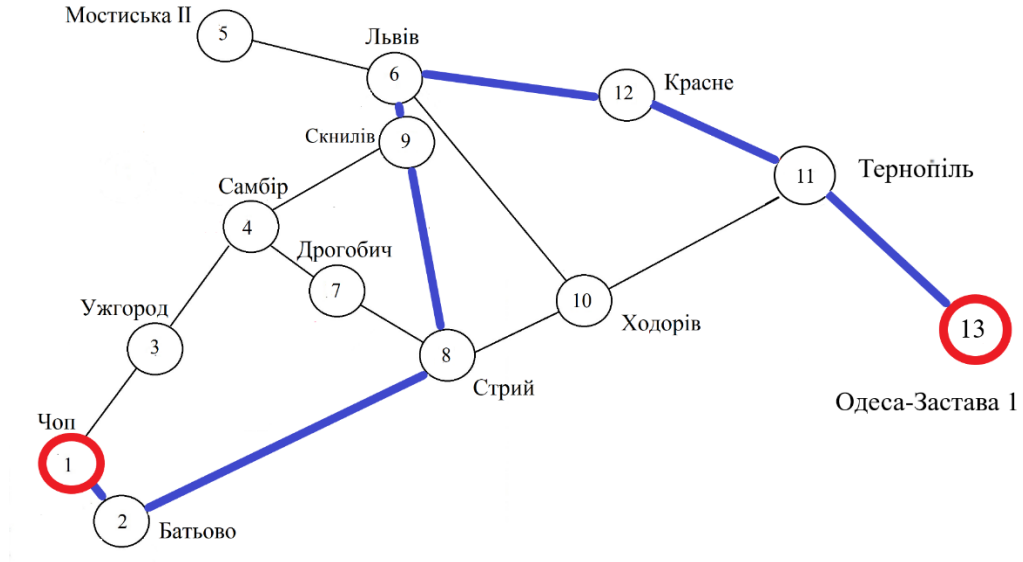


Рис. Ж.2 Схема схема конфігурації маршруту М2

Додаток Ж (Продовження)

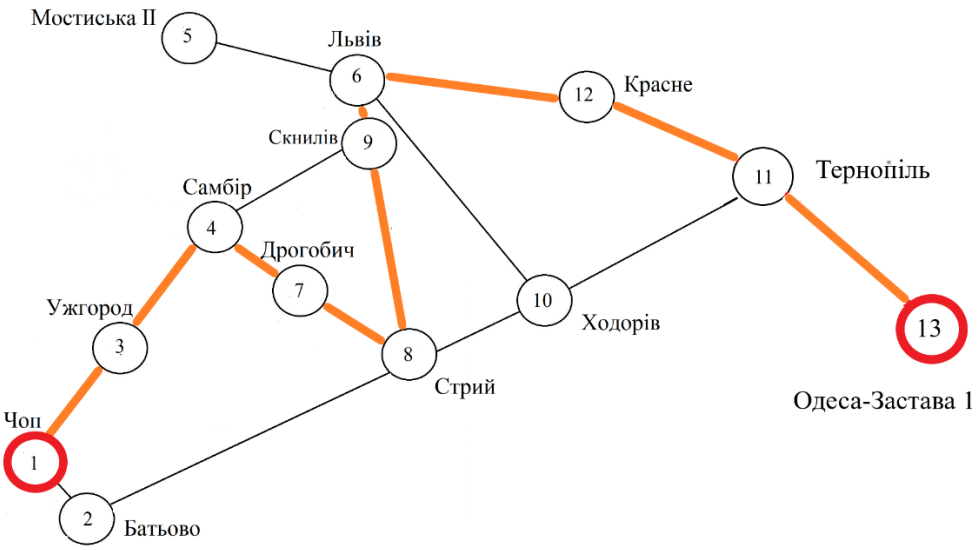


Рис. Ж.3 Схема конфігурації маршруту М3

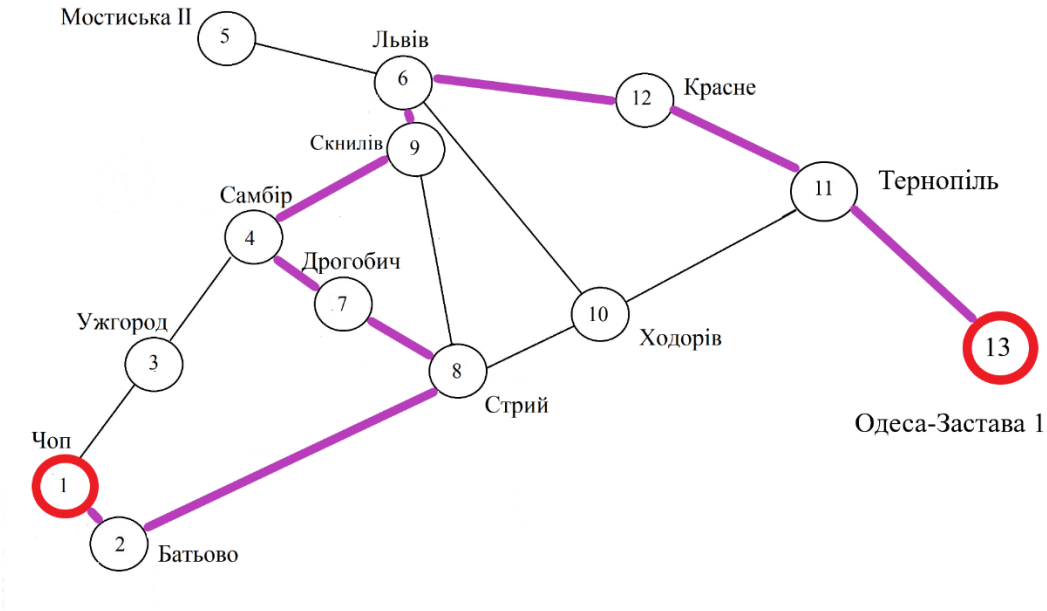


Рис. Ж.4 Схема конфігурації маршруту М4

Додаток Ж (Продовження)

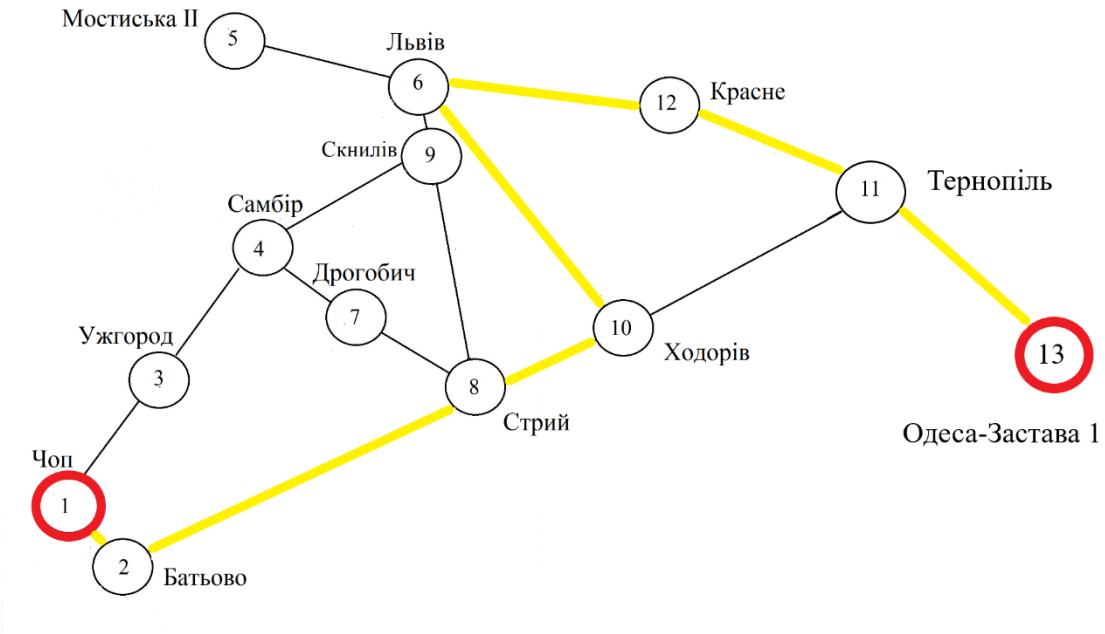


Рис. Ж.5 Схема конфігурації маршруту М5

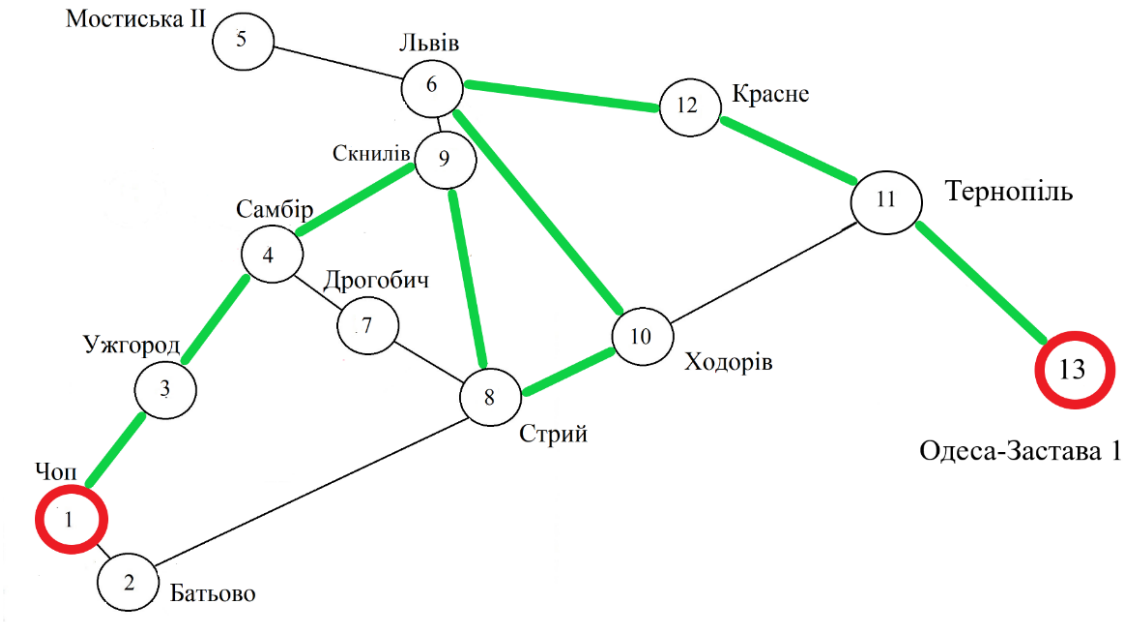


Рис. Ж.6 Схема конфігурації маршруту М6

Додаток Ж (Продовження)

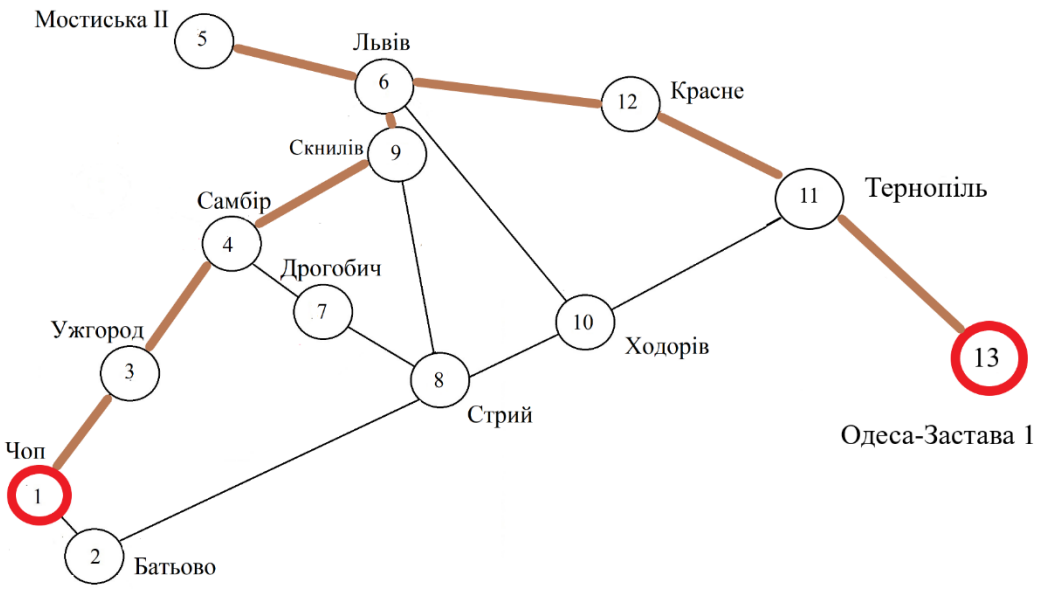


Рис. Ж.7 Схема конфігурації маршруту М7

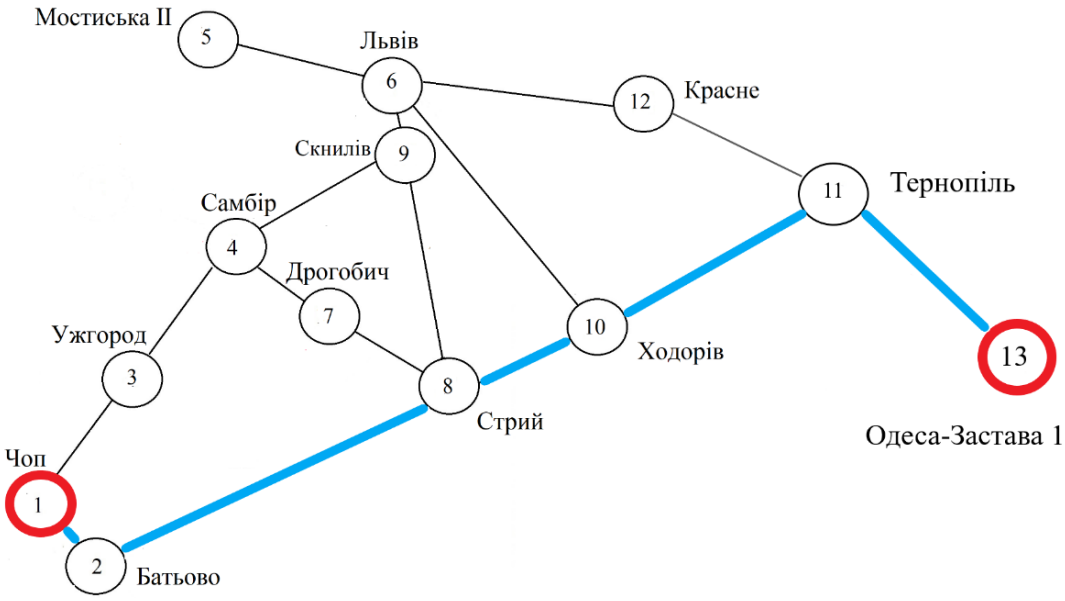


Рис. Ж.8 Схема конфігурації маршруту М8

Додаток Ж (Продовження)

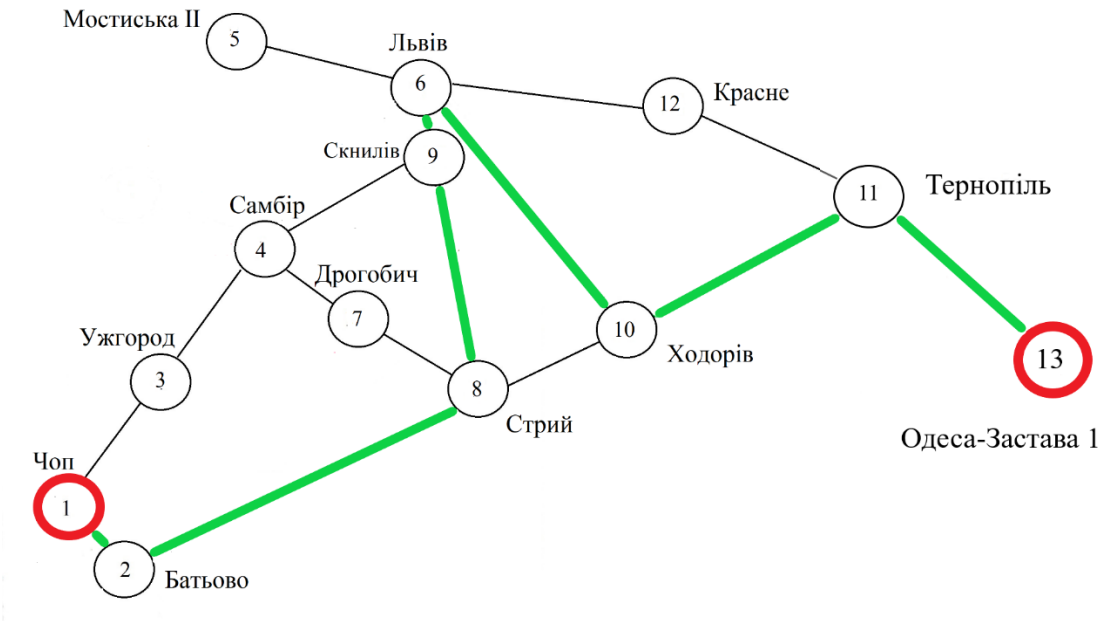


Рис. Ж.9 Схема конфігурації маршруту М9

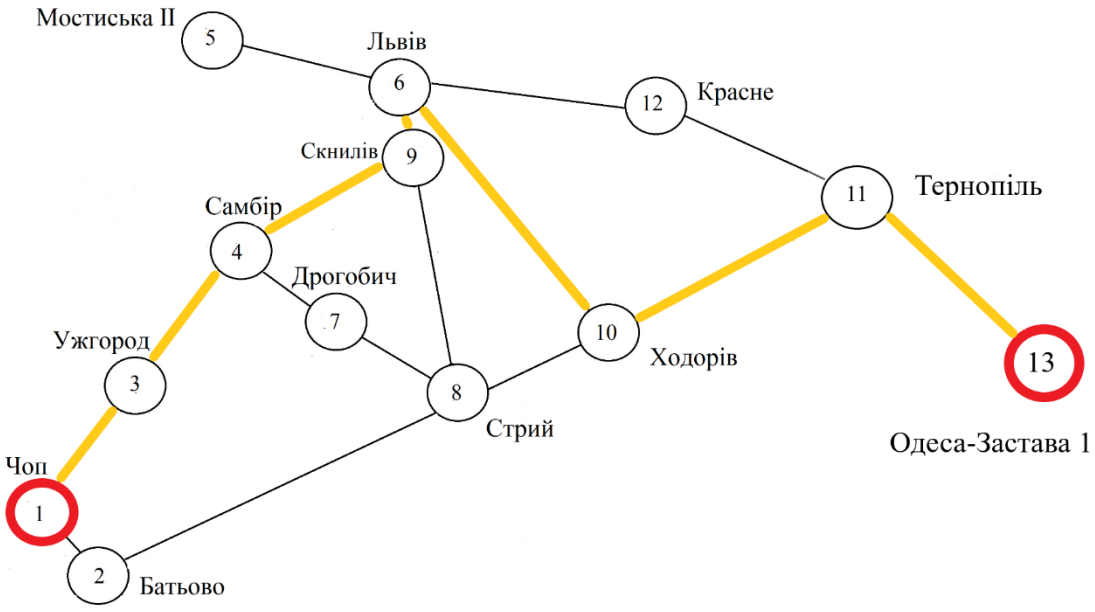


Рис. Ж.10 Схема конфігурації маршруту М10

Додаток Ж (Продовження)

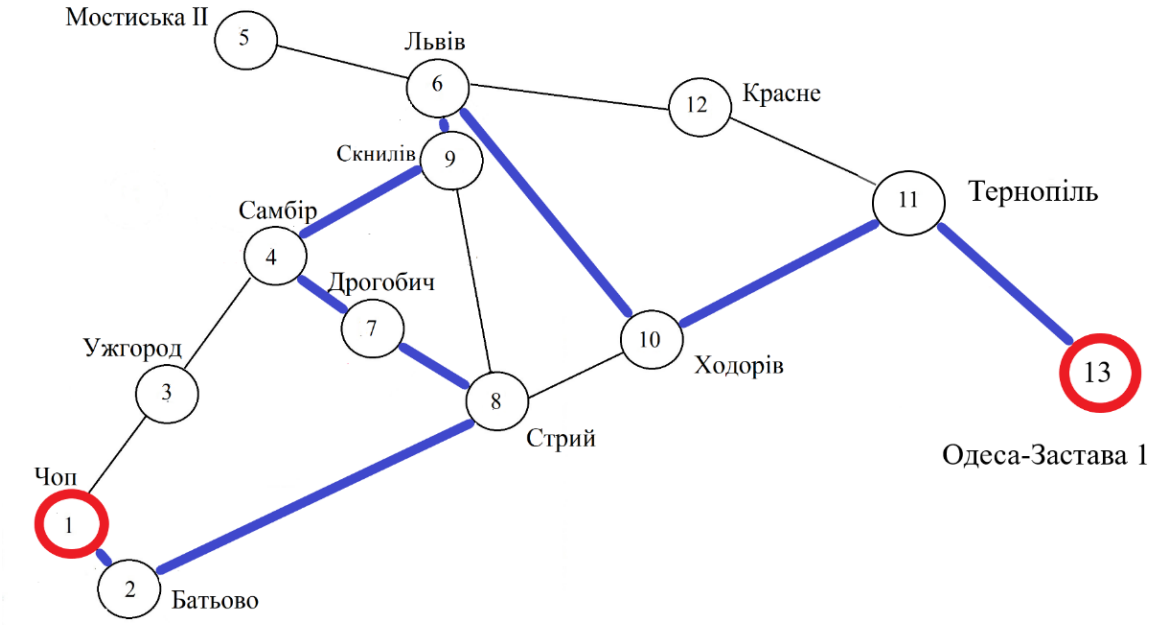


Рис. Ж.11 Схема конфігурації маршруту М11

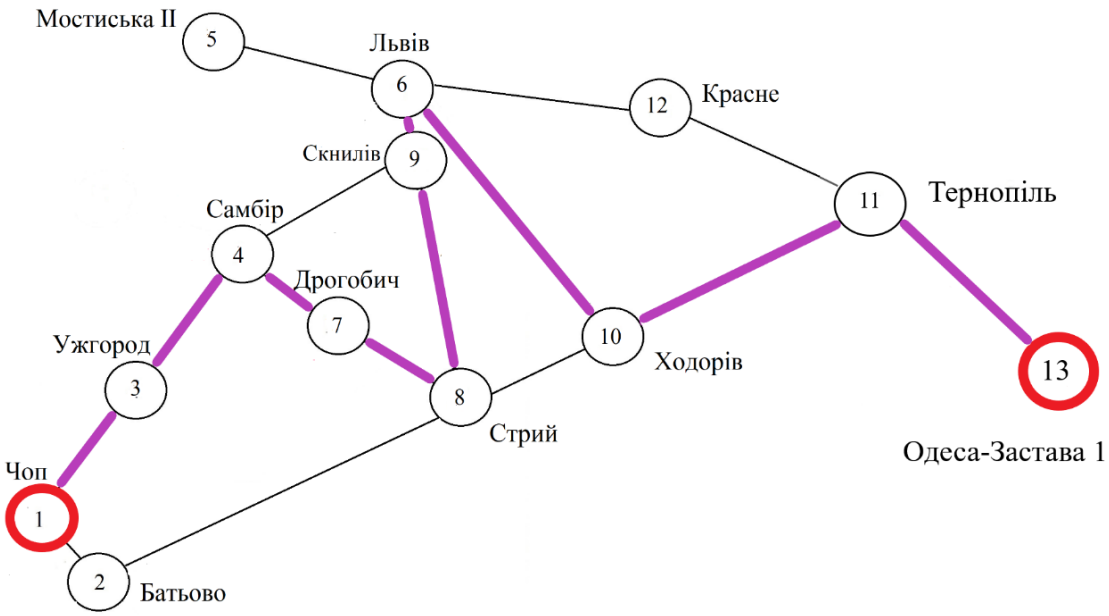


Рис. Ж.12 Схема конфігурації маршруту М12

Додаток Ж (Продовження)

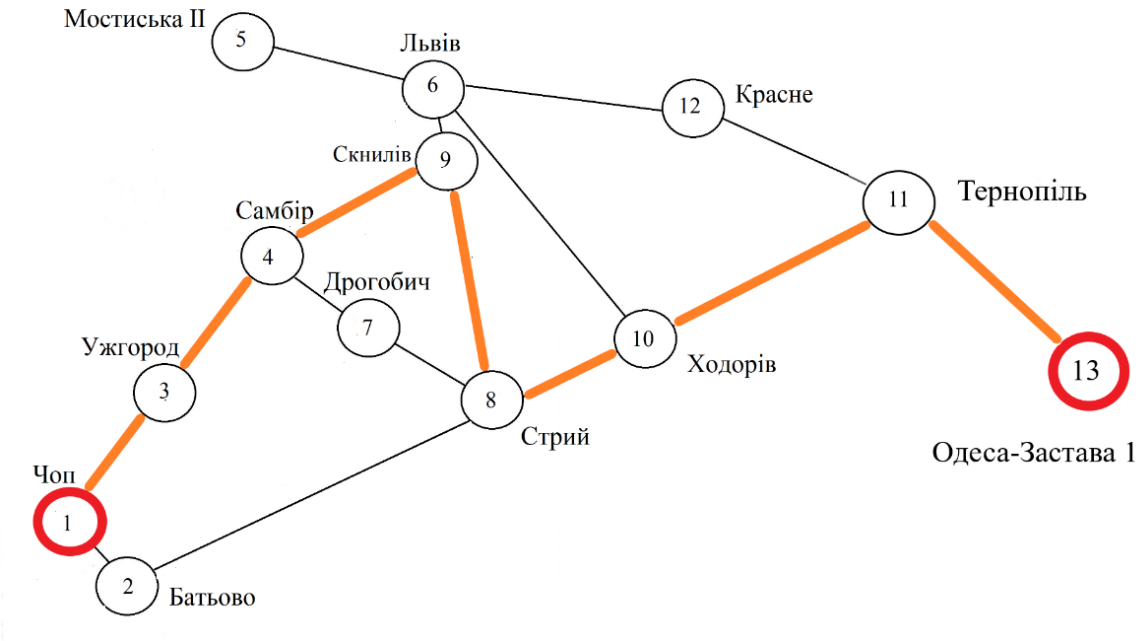


Рис. Ж.13 Схема конфігурації маршруту М13

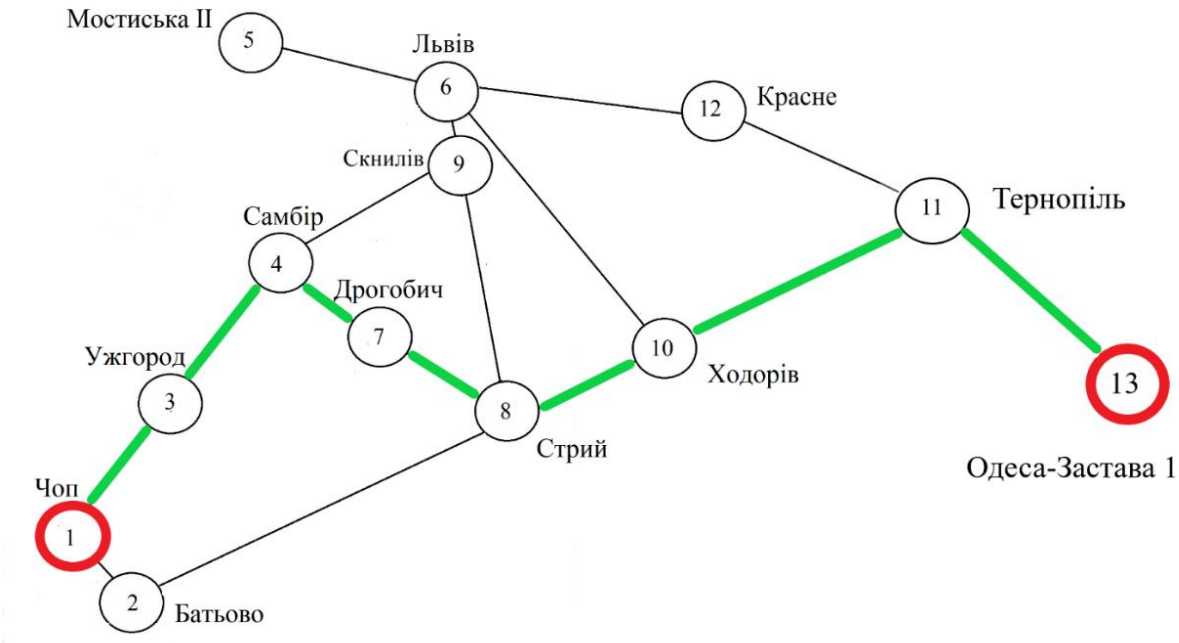


Рис. Ж.14 Схема конфігурації маршруту М14

Додаток К

Розрахунок показника обсягу перевезень вантажу

Таблиця К.1

Розрахунок показника обсягу перевезень вантажу

№ п/п	Станція	Вантажопереробна спроможність, ваг./добу	Розрахунок загального обсягу перевезень, q_g, т/добу
1	2	3	4
1	Чоп	30 ваг. ВВ та НГВ; 50 ваг. ТШВ; 25 ваг. СНВ.	q_1=30*300=9000; q_2=50*68=3400; q_3=25*70=1750; q_{g1}=9000+3400+1750=14150.
2	Батьово	108 ваг. ВВ та НГВ; 7 ваг. ВК.	q_1=108*300=32400; q_2=7*29 =203≈200; q_{g2}=32400+200=32600.
3	Ужгород	10 ваг. ВВ та НГВ; 5 ваг. ТШВ; 15 ваг. СНВ.	q_1=10*300=3000; q_2=5*68=340; q_3=15*70=1050; q_{g3}= 3000+340+1050=4390.
4	Самбір	26 056 т/рік ≈ 3СК	q_{g4}= 26 056/365=71,38.
5	Мостиська II	180 ВК; 20 ВВ та НГВ; 180 СНВ.	q_1=180*29=5220; q_2=20*300=6000; q_3=180*70=12600; q_{g5}=5220+6000+12600=23820.
6	Львів	15 ваг. ТШВ.	q_{g6}=15*68=1020.
7	Дрогобич	28 ваг. СНВ.	q_{g7}=28*70=1960.
8	Стрий	5 СК; 5 ВВ та НГВ.	q_1=5*23=115; q_2=5*300=1500; q_{g8}= 115+1500=1615.

Таблиця К.1 (Продовження)

1	2	3	4
8	Стрий	5 СК; 5 ВВ та НГВ.	q_1=5*23=115; q_2=5*300=1500; q_{g8}= 115+1500=1615.
9	Скнилів	10 СК; 20 ВК; 20 ВВ та НГВ; 5 ваг. ТШВ; 80 ваг. СНВ.	q_1=10*23=230; q_2=20*29=580; q_3=20*300=6000; q_4=5*68=340; q_5=80*70=5600; q_{g9}=230+580+6000+340+5600=12750.
10	Ходорів	≈7 ВК.	q_{g10}= 7*29=203≈200.
11	Тернопіль	10 СК; 20 ВК; 6 ваг. ВВ та НГВ.	q_1=10*23=230; q_2=20*29=580; q_3=6*300=1800; q_{g11}= 230+580+1800=2610.
12	Красне	8 ВВ та НГВ; 6 ТШВ; 28 СНВ.	q_1=8*300=2400; q_2=6*68=408; q_3=28*70=1960; q_{g12}=2400+408+1960=4768.
13	Одеса- Застава 1 *Одеса-Порт	10 СК 100 ВВ та НГВ; 43 ТШВ.	q_1=10*23=230; q_2=100*300=30000; q_3=43*68=2924; q_{g13}=230+30000+2924=33154.

Додаток Л

Розрахунок показника вантажообігу

Таблиця Л.1

Розрахунок показника вантажообігу

№ п/п	Станція	Вантажо-потік, q_{gi} тис. т/добу	Напрямки вантажо-потоку, ребро	Пропорційний розподіл вантажопотоку, q_i, тис. т/добу	Розрахункове значення вантажообігу за напрямом, $q_i l_i$, тис. ткм	Вантажообіг, Pl, тис. ткм
1	2	3	4	5	6	7
1	Чоп	14,150	Ужгород (1-3)	7,075	$q_1 l_{1(1-3)} = 7{,}075*22 = 155{,}650$;	$Pl_1 = 155{,}650+113{,}200 = 268{,}850$.
			Батьово (1-2)	7,075	$q_2 l_{2(1-2)} = 7{,}075*16 = 113{,}200$.	
2	Батьово	32,600	Чоп (2-1)	16,300	$q_1 l_1 = 16{,}300*16 = 260{,}800$;	$Pl_2 = 260{,}800+2852{,}500 = 3113{,}300$.
			Стрий (2-8)	16,300	$q_2 l_{2(2-8)} = 16{,}300*175 = 2852{,}500$.	
3	Ужгород	4,390	Чоп (3-1)	2,195	$q_1 l_{1(3-1)} = 2{,}195*22 = 48{,}290$;	$Pl_3 = 48{,}290+423{,}635 = 471{,}925$.
			Самбір (3-4)	2,195	$q_2 l_{2(3-4)} = 2{,}195*193 = 423{,}635$.	

Таблиця Л.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
4	Самбір	0,07138	Скнилів (4-9)	0,02379	$q_1 l_{1(4-9)} = 0{,}02379*73 = 1{,}73667$;	$Pl_4 = 1{,}73667+4{,}59147+1{,}023=7{,}351$.
			Ужгород (4-3)	0,02379	$q_2 l_{2(4-3)} = 0{,}02379*193 = 4{,}59147$;	
			Дрогобич (4-7)	0,02379	$q_3 l_{3(4-7)} = 0{,}02379*43 = 1{,}023$.	
5	Мостись-ка II	23,820	Львів (5-6)	23,820	$q_1 l_{1(5-6)} = 23{,}820*78 = 1857{,}960$.	$Pl_5 = 1857{,}960$.
6	Львів	1,020	Мостиська II (6-5)	0,255	$q_1 l_{1(6-5)} = 0{,}255*78 = 19{,}890$;	$Pl_6 = 19{,}890+1{,}275+16{,}320+13{,}005=50{,}490$.
			Скнилів (6-9)	0,255	$q_2 l_{2(6-9)} = 0{,}255*5 = 1{,}275$;	
			Ходорів (6-10)	0,255	$q_3 l_{3(6-10)} = 0{,}255*64 = 16{,}320$;	
			Красне (6-12)	0,255	$q_4 l_{4(6-12)} = 0{,}255*51 = 13{,}005$.	

Таблиця Л.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
7	Дрогобич	1,960	Самбір (7-4)	0,980	$q_1 l_{1(7-4)} = 0{,}980*43=42{,}140;$	$Pl_7 = 42{,}140+26{,}460 = 68{,}600.$
			Стрий (7-8)	0,980	$q_2 l_{2(7-8)} = 0{,}980*27=26{,}460.$	
8	Стрий	1,615	Батьово (8-2)	0,40375	$q_1 l_{1(8-2)} = 0{,}40375*175= 70{,}656;$	$Pl_8 = 70{,}656+10{,}901+ +28{,}262+16{,}553=126{,}373.$
			Дрогобич (8-7)	0,40375	$q_2 l_{2(8-7)} = 0{,}40375*27= 10{,}901;$	
			Скнилів (8-9)	0,40375	$q_3 l_{3(8-9)} = 0{,}40375*70= 28{,}262;$	
			Ходорів (8-10)	0,40375	$q_4 l_{4(8-10)} = 0{,}40375*41= 16{,}553.$	
9	Скнилів	12,750	Львів (9-6)	4,250	$q_1 l_{1(9-6)} = 4{,}250*5=21{,}250;$	$Pl_9 = 21{,}250+331{,}500+ +297{,}500=650{,}250.$
			Самбір (9-4)	4,250	$q_2 l_{2(9-4)} = 4{,}250*78= 331{,}500;$	
			Стрий (9-8)	4,250	$q_3 l_{3(9-8)} = 4{,}250*70=297{,}500.$	

Таблиця Л.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
10	Ходорів	0,200	Тернопіль (10-11)	0,0666	$q_1 l_{1(10–11)}$ =0,0666*115=7,659;	Pl_{10}=7,659+4,262+2,730= =14,652.
			Львів (10-6)	0,0666	$q_2 l_{2(10–6)}$ =0,0666*64=4,262;	
			Стрий (10-8)	0,0666	$q_3 l_{3(10–8)}$ =0,0666*41=2,730.	
11	Тернопіль	2,610	Красне (11-12)	0,87	$q_1 l_{1(11–12)}$ =0,87*90=78,300;	Pl_{11}=78,300+100,05+ +517,65=696.
			Ходорів (11-10)	0,87	$q_2 l_{2(11–10)}$ =0,87*115=100,05;	
			Одеса-Застава 1 (11-13)	0,87	$q_3 l_{3(11–13)}$ = 0,87*595= =517,650.	
12	Красне	4,768	Львів (12-6)	2,384	$q_1 l_{1(12–6)}$ =2,384*51=121,584;	Pl_{12}=121,584+214,560= 336,144.
			Тернопіль (12-11)	2,384	$q_2 l_{2(12–11)}$ =2,384*90= =214,560;	
13	Одеса-Застава 1	33,154	Тернопіль (13-11)	33,154	$q_1 l_{1(13–11)}$ = 33,154*595=19726,63.	Pl_{13}=19726,63.

Додаток М

Розрахунок показника пасажирообігу

Таблиця М.1

Розрахунок показника пасажирообігу

№ п/п	Станція	Пасажиро-потік, q_{pi}, тис. пас./добу	Напрямки пасажиро-потоку, ребро	Пропорційний розподіл пасажиропотоку, A_i, тис.пас./добу	Розрахункове значення пасажирообігу за напрямом, $A_i l_i$, тис.пас.км	Пасажирообіг, Al_i, тис.пас.км
1	2	3	4	5	6	7
1	Чоп	0,137	Ужгород (1-3)	0,068	$A_1 l_{1(1-3)} = 0{,}068*22=1{,}496;$	$Al_1 = 1{,}496+1{,}104=2{,}600.$
			Батьово (1-2)	0,069	$A_2 l_{2(1-2)} = 0{,}069*16=1{,}104.$	
2	Батьово	0,165	Чоп (2-1)	0,082	$A_1 l_{1(2-1)} = 0{,}082*16=1{,}312;$	$Al_2 = 1{,}312+14{,}525=$ $=15{,}837.$
			Стрий (2-8)	0,083	$A_2 l_{2(2-8)} = 0{,}083*175=14{,}525.$	
3	Ужгород	1,486	Чоп (3-1)	0,743	$A_1 l_{1(3-1)} = 0{,}743*22=16{,}346;$	$Al_3 = 16{,}346+143{,}399=$ $=159{,}745.$
			Самбір (3-4)	0,743	$A_2 l_{2(3-4)} = 0{,}743*193=$ $=143{,}399.$	

Таблиця М.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
4	Самбір	0,296	Ужгород (4-3)	0,9866	$A_1l_{1(4-3)}$ =0,9866*193= =19,041;	Al_4= 19,041+7,202+ +4,242=30,485.
			Скнилів (4-9)	0,9866	$A_2l_{2(4-9)}$ =0,9866*73=7,202;	
			Дрогобич (4-7)	0,9866	$A_3l_{3(4-7)}$ =0,9866*43=4,242.	
5	Мостиська II	0,100	Львів (5-6)	0,100	$A_1l_{1(5-6)}$ = 0,100*78=7,800.	Al_5 =7,800.
6	Львів	15,910	Мостиська II (6-5)	3,977	$A_1l_{1(6-5)}$ =3,977*78=310,206;	Al_6= 310,206+19,885 +254,592+ 202,878= =787,561.
			Скнилів (6-9)	3,977	$A_2l_{2(6-9)}$ =3,977*5=19,885;	
			Ходорів (6-10)	3,978	$A_3l_{3(6-10)}$ =3,978*64= =254,592;	
			Красне (6-12)	3,978	$A_4l_{4(6-12)}$ =3,978*51= =202,878.	

Таблиця М.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
7	Дрогобич	0,133	Самбір (7-4)	0,066	$A_1l_{1(7-4)}$ =0,066*43=2,838;	Al_7 = 2,838+1,809=4,647.
			Стрий (7-8)	0,067	$A_2l_{2(7-8)}$ =0,067*27=1,809.	
8	Стрий	0,865	Батьово (8-2)	0,216	$A_1l_{1(8-2)}$ =0,216*175=37,800;	Al_8 =37,800+5,832+ +15,120+8,897=67,649.
			Дрогобич (8-7)	0,216	$A_2l_{2(8-7)}$ =0,216*27=5,832;	
			Скнилів (8-9)	0,216	$A_3l_{3(8-9)}$ =0,216*70=15,120;	
			Ходорів (8-10)	0,217	$A_4l_{4(8-10)}$ =0,217*41=8,897.	
9	Скнилів	0,100	Львів (9-6)	0,033	$A_1l_{1(9-6)}$ = 0,033*5=0,165;	Al_9 =0,165+2,574+2,380= =5,119.
			Самбір (9-4)	0,033	$A_2l_{2(9-4)}$ =0,033*78=2,574;	
			Стрий (9-8)	0,034	$A_3l_{3(9-8)}$ = 0,034*70=2,380.	

Таблиця М.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
10	Ходорів	0,190	Стрий (10-8)	0,063	$A_1l_{1(10-8)}$ =0,063*41=2,583;	Al_{10}= 2,583+4,032+7,360= =13,975.
			Львів (10-6)	0,063	$A_2l_{2(10-6)}$ =0,063*64=4,032;	
			Тернопіль (10-11)	0,064	$A_3l_{3(10-11)}$ =0,064*115= =7,360.	
11	Тернопіль	2,971	Красне (11-12)	0,990	$A_1l_{1(11-12)}$ =0,990*90=89,100;	Al_{11}=89,1+113,85+ +589,05=792.
			Ходорів (11-10)	0,990	$A_2l_{2(11-10)}$ =0,990*115= =113,850;	
			Одеса-Застава1 (11-13)	0,990	$A_3l_{3(11-13)}$= 0,990*595= =589,050.	
12	Красне	0,072	Львів (12-6)	0,036	$A_1l_{1(12-6)}$ =0,036*51=1,836;	Al_{12}= 1,836+3,240= 5,076.
			Тернопіль (12-11)	0,036	$A_2l_{2(12-11)}$ =0,036*90=3,240;	
13	Одеса-Застава 1	15,290	Тернопіль (13-11)	15,290	$A_1l_{1(13-11)}$ =15,290*595= =9097,550.	Al_{13} =9097,550.

Додаток Н

Розрахунок показника середньої відстані перевезення вантажу

Таблиця Н.1

Середнья відстань перевезення вантажу

№ п/п	Станція	Вантажопотік, q_{gi}, тис.т/добу	Вантажообіг, Pl, тис. ткм	Середня відстань перевезення вантажу, l_{ci}, км
1	Чоп	14,150	268,85	$l_{c1} = \frac{268,85}{14,150} = 19;$
2	Батьово	32,600	3113,3	$l_{c2} = \frac{3113,3}{32,600} = 97;$
3	Ужгород	4,390	471,925	$l_{c3} = \frac{471,925}{4,390} = 107,5;$
4	Самбір	0,071	6,065	$l_{c4} = \frac{7,351}{0,071} = 103,53;$
5	Мостиська II	23,820	1857,960	$l_{c5} = \frac{1857,960}{23,820} = 78;$
6	Львів	1,020	50,490	$l_{c6} = \frac{50,490}{1,020} = 49,5;$
7	Дрогобич	1,960	68,600	$l_{c7} = \frac{68,600}{1,960} = 35;$
8	Стрий	1,615	126,37	$l_{c8} = \frac{126,373}{1,615} = 78,24;$
9	Скнилів	12,750	650,250	$l_{c9} = \frac{650,250}{12,750} = 51;$
10	Ходорів	0,200	14,652	$l_{c10} = \frac{14,652}{0,200} = 73,26;$
11	Тернопіль	2,610	267,525	$l_{c11} = \frac{267,525}{2,610} = 102,5;$
12	Красне	4,768	336,144	$l_{c12} = \frac{336,144}{4,768} = 70,5;$
13	Одеса – Застава1	33,154	19726,63	$l_{c13} = \frac{19726,63}{33,154} = 595.$

Додаток П

Розрахунок показника середньої відстані перевезення одного пасажира

Таблиця П.1

Середня відстань перевезення одного пасажира

№ п/п	Станція	Пасажиропотік, q_{pi}, тис. пас/добу	Пасажирообіг, Al, тис. пас.км	Середня відстань перевезення 1 пас, l_{cpi}, км
1	Чоп	0,137	2,600	$l_{cp1} = \frac{2,600}{0,137} = 18,97;$
2	Батьово	0,165	15,837	$l_{cp2} = \frac{15,837}{0,165} = 95,98;$
3	Ужгород	1,486	159,745	$l_{cp3} = \frac{159,745}{1,486} = 107,5;$
4	Самбір	0,296	25,160	$l_{cp4} = \frac{30,485}{0,296} = 102,98;$
5	Мостиська II	0,1	7,800	$l_{cp5} = \frac{7,800}{0,1} = 78;$
6	Львів	15,910	787,561	$l_{cp6} = \frac{787,561}{15,910} = 49,50;$
7	Дрогобич	0,133	4,647	$l_{cp7} = \frac{4,647}{0,133} = 34,93;$
8	Стрий	0,865	67,649	$l_{cp8} = \frac{67,649}{0,865} = 78,20;$
9	Скнилів	0,1	5,119	$l_{cp9} = \frac{5,119}{0,1} = 51,19;$
10	Ходорів	0,190	13,975	$l_{cp10} = \frac{13,975}{0,190} = 73;$
11	Тернопіль	2,971	304,540	$l_{cp11} = \frac{304,540}{2,971} = 102,50;$
12	Красне	0,072	5,076	$l_{cp12} = \frac{5,076}{0,072} = 70,50;$
13	Одеса-Застава1	15,290	9097,55	$l_{cp13} = \frac{9097,55}{15,290} = 595.$

Додаток Р

Розрахунок показника приведеної вантажонапруженості

Таблиця Р.1

Показник приведеної вантажонапруженості

№ п/п	Ребро	Станції	L_E, км	Вантажообіг $\sum Pl_i = \sum q_i l_{i(i-j)}$, тис.ткм	Пасажирообіг, $\sum Al_i = \sum A_i l_{i(i-j)}$, тис.пас.км	Приведена вантажонапруженість, W_i тис. ткм/км
1	2	3	4	5	6	7
1	1 – 2	Чоп – Батьово	16	$\sum Pl_1 = q_2 l_{2(1-2)} + q_1 l_{1(2-1)} =$ =113,200+260,800=374;	$\sum Al_1 = A_2 l_{2(1-2)} + A_1 l_{1(2-1)} =$ =1,104+1,312=2,416;	$W_1 = \frac{374 + 2{,}416}{16} = 23{,}526;$
	2 – 1	Батьово – Чоп				
2	1 – 3	Чоп – Ужгород	22	$\sum Pl_2 = q_1 l_{1(1-3)} + q_1 l_{1(3-1)} =$ =155,650+48,290=203,940;	$\sum Al_1 = A_1 l_{1(1-3)} + A_1 l_{1(3-1)} =$ =1, 496+16,346=17,842;	$W_2 = \frac{203{,}94 + 17{,}842}{22} =$ $= 10{,}081;$
	3 – 1	Ужгород – Чоп				
3	3 – 4	Ужгород – Самбір	193	$\sum Pl_3 = q_2 l_{2(3-4)} + q_2 l_{2(4-3)} =$ =423,635+4,59147=428,226;	$\sum Al_3 = A_2 l_{2(3-4)} + A_1 l_{1(4-3)} =$ =143,399+19,041=162,440;	$W_3 = \frac{428{,}226 + 162{,}441}{193} =$ $= 3{,}060;$
	4 – 3	Самбір – Ужгород				
4	4 – 7	Самбір – Дрогобич	43	$\sum Pl_4 = q_3 l_{3(4-7)} + q_1 l_{1(7-4)} =$ =1,023+42,140=43,163;	$\sum Al_4 = A_3 l_{3(4-7)} + A_1 l_{1(7-4)} =$ =4,242+2,838=7,080;	$W_4 = \frac{43{,}163 + 7{,}080}{43} = 1{,}168;$
	7 – 4	Дрогобич – Самбір				

Таблиця Р.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
5	4 – 9 9 – 4	Самбір – Скнилів Скнилів – Самбір	73	$\sum Pl_5 = q_1 l_{1(4-9)} + q_2 l_{2(9-4)} =$ =1,73667+331,500=333,236;	$\sum Al_5 = A_2 l_{2(4-9)} + A_2 l_{2(9-4)} =$ =7,202+2,574=9,776;	$W_5 = \frac{333,236 + 9,776}{73} = 4,69;$
6	2 – 8 8 – 2	Батьово – Стрий Стрий – Батьово	175	$\sum Pl_6 = q_2 l_{2(2-8)} + q_1 l_{1(8-2)} =$ =2852,50+70,65625=355,906;	$\sum Al_6 = A_2 l_{2(2-8)} + A_1 l_{1(8-2)} =$ =14,525+37,800=52,325;	$W_6 = \frac{355,906 + 52,325}{175} =$ $= 2,33;$
7	8 – 7 7 – 8	Стрий –Дрогобич Дрогобич –Стрий	27	$\sum Pl_7 = q_2 l_{2(8-7)} + q_2 l_{2(7-8)} =$ =10,90125+26,460=37,361;	$\sum Al_7 = A_2 l_{2(8-7)} + A_2 l_{2(7-8)} =$ =5,832+1,809=7,641;	$W_7 = \frac{37,361 + 7,641}{27} = 1,66;$
8	8 – 9 9 – 8	Стрий – Скнилів Скнилів –Стрий	70	$\sum Pl_8 = q_3 l_{3(8-9)} + q_3 l_{3(9-8)} =$ =28,2625+297,500=325,762;	$\sum Al_8 = A_3 l_{3(8-9)} + A_3 l_{3(9-8)} =$ =15,120+2,380=17,500;	$W_8 = \frac{325,762 + 17,500}{70} =$ $= 4,90;$
9	8 – 10 10 – 8	Стрий – Ходорів Ходорів – Стрий	41	$\sum Pl_9 = q_4 l_{4(8-10)} + q_3 l_{3(10-8)} =$ =16,55375+2,7306=19,284;	$\sum Al_9 = A_4 l_{4(8-10)} + A_1 l_{1(10-8)} =$ =8,897+2,583=11,480;	$W_9 = \frac{19,284 + 11,48}{41} = 0,75;$
10	9 – 6 6 – 9	Скнилів – Львів Львів – Скнилів	5	$\sum Pl_{10} = q_1 l_{1(9-6)} + q_2 l_{2(6-9)} =$ =21,250+1,275=22,252;	$\sum Al_{10} = A_1 l_{1(9-6)} + A_2 l_{2(6-9)} =$ =0,165+19,885=20,050;	$W_{10} = \frac{22,252 + 20,050}{5} =$ $= 8,46;$
11	6 – 5 5 – 6	Львів – Мостиська II Мостиська II – Львів	78	$\sum Pl_{11} = q_1 l_{1(6-5)} + q_1 l_{1(5-6)} =$ =19,890+1857,960=1877,85;	$\sum Al_{11} = A_1 l_{1(6-5)} + A_1 l_{1(5-6)} =$ =310,206+7,800=318,006;	$W_{11} = \frac{1877,85 + 318,006}{78} =$ $= 28,15;$

Таблиця Р.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7
12	6 – 12	Львів – Красне	51	$\sum Pl_{12} = q_4 l_{4(6–12)} + q_1 l_{1(12–6)} =$ =13,005+121,584=134,589;	$\sum Al_{12} = A_4 l_{4(6–12)} + A_1 l_{1(12–6)} =$ =202,878+1,836=204,714;	$W_{12} = \frac{134,589 + 204,714}{51} =$ $= 6,53;$
	12 – 6	Красне – Львів				
13	6 – 10	Львів – Ходорів	64	$\sum Pl_{13} = q_3 l_{3(6–10)} + q_2 l_{2(10–6)} =$ =16,320+4,2624=20,582;	$\sum Al_{13} = A_3 l_{3(6–10)} + A_2 l_{2(10–6)} =$ =254,592+4,032=258,624;	$W_{13} = \frac{20,582 + 258,624}{64} =$ $= 4,36;$
	10 – 6	Ходорів – Львів				
14	10 –11	Ходорів – Тернопіль	115	$\sum Pl_{14} = q_1 l_{1(10–11)} + q_2 l_{2(11–10)} =$ =7,659+150,075=157,734;	$\sum Al_{14} = A_3 l_{3(10–11)} + A_2 l_{2(11–10)} =$ =7,360+170,890=178,250;	$W_{14} = \frac{157,734 + 178,250}{115} =$ $= 2,92;$
	11 –10	Тернопіль – Ходорів				
15	12 –11	Красне – Тернопіль	90	$\sum Pl_{15} = q_2 l_{2(12–11)} + q_1 l_{1(11–12)} =$ =214,560+117,450=332,010;	$\sum Al_{15} = A_2 l_{2(12–11)} + A_1 l_{1(11–12)} =$ =3,240+133,650=136,890;	$W_{15} = \frac{332,010 + 136,890}{90} =$ $= 5,21;$
	11 –12	Тернопіль – Красне				
16	13 –11	Одеса-Застава 1 – Тернопіль	595	$\sum Pl_{16} = q_3 l_{3(11–13)} + q_1 l_{1(13–11)} =$ =517,650+19726,63= 20244,28;	$\sum Al_{16} = A_3 l_{3(11–13)} + A_1 l_{1(13–11)} =$ =589,05+9097,55=9686,6;	$W_{16} = \frac{20244,28 + 9686,6}{595} =$ $= 50,30.$
	11 – 13	Тернопіль – Одеса-Застава 1				

Додаток С

Розрахунок показника собівартості вантажних перевезень

Таблиця С.1

Показник собівартості вантажних перевезень

№ п/п	Вузол	Вантажообіг, Pl, тис. ткм	Собівартість, C_{vi}, грн
1	Чоп	268,85	$C_{v1} = \frac{268850 * 18,689}{100} = 50245,37;$
2	Батьово	3113,3	$C_{v2} = \frac{3113300 * 18,689}{100} = 581844,63;$
3	Ужгород	471,925	$C_{v3} = \frac{471925 * 18,689}{100} = 88240,53;$
4	Самбір	7,351	$C_{v4} = \frac{7351 * 18,689}{100} = 1373,82;$
5	Мостиська II	1857,960	$C_{v5} = \frac{1857960 * 18,689}{100} = 347234,14;$
6	Львів	50,490	$C_{v6} = \frac{50490 * 18,689}{100} = 9436,07;$
7	Дрогобич	68,600	$C_{v7} = \frac{68600 * 18,689}{100} = 12820,65;$
8	Стрий	126,373	$C_{v8} = \frac{126373 * 18,689}{100} = 23617,84;$
9	Скнилів	650,250	$C_{v9} = \frac{650250 * 18,689}{100} = 121583,74;$
10	Ходорів	14,652	$C_{v10} = \frac{14,652 * 18,689}{100} = 2738,31;$
11	Тернопіль	267,525	$C_{v11} = \frac{267525 * 18,689}{100} = 49997,74;$
12	Красне	336,144	$C_{v12} = \frac{336144 * 18,689}{100} = 62821,95;$
13	Одеса-Застава 1	19726,63	$C_{v13} = \frac{19726630 * 18,689}{100} = 3686709,88.$

Додаток Т

Розрахунок показника собівартості пасажирських перевезень

Таблиця Т.1

Показник собівартості пасажирських перевезень

№ п/п	Вузол	Пасажирообіг, Al , тис. пас.км	Собівартість, C_{pi} , грн
1	Чоп	2,600	$C_{p1} = \frac{2600 * 39,067}{100} = 1015,74;$
2	Батьово	15,837	$C_{p2} = \frac{15837 * 39,067}{100} = 6187,04;$
3	Ужгород	159,745	$C_{p3} = \frac{159745 * 39,067}{100} = 62407,57;$
4	Самбір	25,160	$C_{p4} = \frac{30485 * 39,067}{100} = 11909,57;$
5	Мостиська II	7,800	$C_{p5} = \frac{7800 * 39,067}{100} = 3047;$
6	Львів	787,561	$C_{p6} = \frac{787561 * 39,067}{100} = 307676,45;$
7	Дрогобич	4,647	$C_{p7} = \frac{4647 * 39,067}{100} = 1815,44;$
8	Стрий	67,649	$C_{p8} = \frac{67649 * 39,067}{100} = 26428,43;$
9	Скнилів	5,119	$C_{p9} = \frac{5119 * 39,067}{100} = 1999;$
10	Ходорів	13,975	$C_{p10} = \frac{13975 * 39,067}{100} = 5459,61;$
11	Тернопіль	304,540	$C_{p11} = \frac{304540 * 39,067}{100} 118974,64;$
12	Красне	5,076	$C_{p12} = \frac{5076 * 39,067}{100} = 1983,04;$
13	Одеса-Застава 1	9097,55	$C_{p12} = \frac{9097550 * 39,067}{100} = 3554139,85.$

Додаток У

Розрахунок показника плати за перевезення вантажів

Таблиця У.1

Розрахунок показника плати за перевезення вантажів

№ п/п	Вузол	Вантажо-переробна спроможність ваг./добу	Напрямки вантажопотоку, ребро	Тарифна відстань, км	Пропорційний розподіл вантажних одиниць, ваг., конт.	Тариф, грн./ вант. од.	Розрахункове значення плати за перевезення, $N_{(i-j)}$, тис. грн
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Чоп	30 ваг. ВВ та НГВ; 50 ваг. ТШВ; 25 вагонів СНВ.	Ужгород (1-3)	22	15 ваг. ВВ та НГВ;	67650	$N_{(1-3)}$ =(67650*15)+ +(886*25)+(882*12)= =1047,484.
					25 ваг. ТШВ;	886	
					12 вагонів СНВ;	882	
			Батьово (1-2)	16	15 ваг. ВВ та НГВ;	60826	$N_{(1-2)}$ =(60826*15)+ (769*25)+(754*13)=941,417.
					25 ваг. ТШВ;	769	
					13 вагонів СНВ.	754	
2	Батьово	108 ваг. ВВ та НГВ.	Чоп (2-1)	16	54 ваг. ВВ та НГВ;	60826	$N_{(2-1)}$ =60826*54=3384,604.
			Стрий (2-8)	175	54 ваг. ВВ та НГВ.	142772	$N_{(2-8)}$ =142772*54=7709,688.
3	Ужгород	10 ваг. ВВ та НГВ; 5 ваг. ТШВ; 15 ваг. СНВ.	Чоп (3-1)	22	5 ваг. ВВ та НГВ	67650	$N_{(3-1)}$ =(67650*5)+(886*3)+ +(882*7)=347,082.
					3 ваг. ТШВ	886	
					7 ваг. СНВ	882	

Таблиця У.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
			Самбір (3-4)	193	5 ваг. ВВ та НГВ;	147545	$N_{(3-4)}$ =(147545*5)+ +(2273*2)+(2405*8)= =761,511.
					2 ваг. ТШВ;	2273	
					8 ваг. СНВ.	2405	
4	Самбір	3 од. СК.	Скнилів (4-9)	73	1 СК.	193,8	$N_{(4-9)}$ =0,1938.
			Ужгород (4-3)	193	1 СК.	212,5	$N_{(4-3)}$ =0,2125.
			Дрогобич (4-7)	43	1 СК.	107,4	$N_{(4-7)}$ =0,107.
5	Мостиська II	180 од. ВК; 20 ваг. ВВ та НГВ; 180 ваг. СНВ.	Львів (5-6)	78	180 од. ВК;	1359	$N_{(5-6)}$ =(1359*180)+ +(101772*20)+(1521*180)= =2553,840.
					20 ваг. ВВ та НГВ;	101772	
					180 ваг. СНВ.	1521	
6	Львів	15 ваг. ТШВ.	Мостиська II (6-5)	78	3 ваг. ТШВ;	1474	$N_{(6-5)}$ =1474*3=4,422.
			Скнилів (6-9)	5	4 ваг. ТШВ;	691	$N_{(6-9)}$ =691*4=2,764.
			Ходорів (6-10)	64	4 ваг. ТШВ;	1393	$N_{(6-10)}$ =1393*4=5,572.
			Красне (6-12)	51	4 ваг. ТШВ.	1266	$N_{(6-12)}$ =1266*4=5,064.

Таблиця У.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
7	Дрогобич	28 ваг. СНВ.	Самбір (7-4)	43	14 ваг. СНВ;	1138	$N_{(7-4)}$ =1138*14=15,932.
			Стрий (7-8)	27	14 ваг. СНВ.	882	$N_{(7-8)}$ =882*14=12,348.
8	Стрий	5 ваг. СК; 5 ваг. ВВ та НГВ.	Батьово (8-2)	175	1 ваг. СК;	205,9	$N_{(8-2)}$ =205,9+142772= =142,9779.
					1 ваг. ВВ та НГВ.	142772	
			Дрогобич (8-7)	27	1 ваг. СК;	85,8	$N_{(8-7)}$ =85,8+67650= =67,7358.
					1 ваг. ВВ та НГВ.	67650	
			Скнилів (8-9)	70	1 ваг. СК;	129,0	$N_{(8-9)}$ =129,0+94947= =95,076.
					1 ваг. ВВ та НГВ.	94947	
			Ходорів (8-10)	41	2 ваг. СК;	107,4	$N_{(8-10)}$ =(107,4*2)+ +(81299*2) =162,812.
					2 ваг. ВВ та НГВ.	81299	
9	Скнилів	10 од. СК; 20 од. ВК; 20 ваг. ВВ та НГВ; 5 ваг. ТШВ; 80 ваг. СНВ.	Львів (9-6)	5	3 од. СК;	205,9	$N_{(9-6)}$ =(205,9*3)+(744*6)+ +(57414*6)+(710*1)+ +(691*26)=368,2417.
					6 од. ВК;	744	
					6 ваг. ВВ та НГВ;	57414	
					1 ваг. ТШВ;	710	
					26 ваг. СНВ.	691	

Таблиця У.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
			Самбір (9-4)	73	4 од. СК;	139,8	$N_{(9-4)}$ =(139,8*4)+(1359*7)+(101772*7)+(1474*2)+ +(1521*27)=766,4912.
					7 од. ВК;	1359	
					7 ваг. ВВ та НГВ;	101772	
					2 ваг. ТШВ;	1474	
					27 ваг. СНВ.	1521	
			Стрий (9-8)	70	3 од. СК;	129,0	$N_{(9-8)}$ =(129,0*3)+(1265*7)+ +(94947*7)+(1356*2)+ +(1393*27)=714,194.
					7 од. ВК;	1265	
					7 ваг. ВВ та НГВ;	94947	
					2 ваг. ТШВ;	1356	
					27 ваг. СНВ.	1393	
10	Ходорів	10 од. СК.	Тернопіль (10-11)	115	3 од. СК;	177,6	$N_{(10-11)}$ =177,6*3=0,5328.
			Львів (10-6)	64	4 од. СК;	129,0	$N_{(10-6)}$ =129,0*4=0,516.
			Стрий (10-8)	41	4 од. СК.	107,4	$N_{(10-8)}$ =107,4*4=0,4296.
11	Тернопіль	10 од. СК; 20 од. ВК;	Красне (11-12)	90	3 од. СК;	150,6	$N_{(11-12)}$ =(150,6*3)+ +(1454*7)+(108596*2)= =227,8218.
					7 од. ВК;	1454	
					2 ваг. ВВ та НГВ.	108596	

Таблиця У.1 (Продовження)

1	2	3	4	5	6	7	8
		6 ваг. ВВ та НГВ.	Ходорів (11-10)	115	3 од. СК;	177,6	$N_{(11–10)}$ =(177,6*3)+ +(1691*7)+(125657*2)= =263,6838.
					7 од. ВК;	1691	
					2 ваг. ВВ та НГВ.	125657	
			Одеса-Застава 1 (11-13)	595	4 од. СК;	439,6	$N_{(11–13)}$ =(439,6*4)+ +(3951*6)+(328114*2)= =681,6924.
					6 од. ВК;	3951	
					2 ваг. ВВ та НГВ.	328114	
12	Красне	8 ваг. ВВ та НГВ; 6 ваг. ТШВ; 28 ваг. СНВ.	Львів (12-6)	51	4 ваг. ВВ та НГВ;	88123	$N_{(12–6)}$ =(88123*4)+ +(1239*3)+(1266*14)= =373,933.
					3 ваг. ТШВ;	1239	
					14 ваг. СНВ.	1266	
			Тернопіль (12-11)	90	4 ваг. ВВ та НГВ;	108596	$N_{(12–11)}$ =(108596*4)+ +(1591*3)+(1649*14)= =462,243.
					3 ваг. ТШВ;	1591	
					14 ваг. СНВ.	1649	
13	Одеса-Застава 1*	10 од. СК; 100 ваг. ВВ та НГВ; 43 ваг. ТШВ.	Тернопіль (13-11)	595	10 од. СК;	439,6	$N_{(13–11)}$ =(439,6*10)+ +(328114*100)+(4750*43)= =33020,046.
					100 ваг. ВВ та НГВ;	328114	
					43 ваг. ТШВ.	4750	

Таблиця У.2

Показник плати за перевезення вантажів

п/п	Ребро	Станції	Розрахункова плата за перевезення $N_{(i-j)}$, тис. грн.
1	1 – 2	Чоп – Батьово	941,417
	2 – 1	Батьово – Чоп	3384,604
2	1 – 3	Чоп – Ужгород	1047,484
	3 – 1	Ужгород – Чоп	347,082
3	3 – 4	Ужгород – Самбір	761,511
	4 – 3	Самбір – Ужгород	0,2125
4	4 – 7	Самбір – Дрогобич	0,1074
	7 – 4	Дрогобич – Самбір	15,932
5	4 – 9	Самбір – Скнилів	0,1938
	9 – 4	Скнилів – Самбір	766,4912
6	2 – 8	Батьово – Стрий	7709,688
	8 – 2	Стрий – Батьово	142,9779
7	8 – 7	Стрий – Дрогобич	67,7358
	7 – 8	Дрогобич – Стрий	12348
8	8 – 9	Стрий – Скнилів	95,076
	9 – 8	Скнилів – Стрий	714,194
9	8 – 10	Стрий – Ходорів	162,812
	10 – 8	Ходорів – Стрий	0,4296
10	9 – 6	Скнилів – Львів	368,2417
	6 – 9	Львів – Скнилів	2,764
11	6 – 5	Львів – Мостиська II	4,422
	5 – 6	Мостиська II – Львів	2553,840
12	6 – 12	Львів – Красне	5,064
	12 – 6	Красне – Львів	373,933
13	6 – 10	Львів – Ходорів	5,572
	10 – 6	Ходорів – Львів	0,516
14	10 – 11	Ходорів – Тернопіль	0,5328
	11 – 10	Тернопіль – Ходорів	379,560
15	12 – 11	Красне – Тернопіль	462,243
	11 – 12	Тернопіль – Красне	341,081
16	13 – 11	Одеса-Застава 1 –Тернопіль	33020,046
	11 – 13	Тернопіль – Одеса-Застава 1	681,6924

Додаток Ф

Розрахункові значення показників вершин та ребер графу транспортної мережі

Таблиця Ф.1

Розрахункові значення показників вершини 1 – ст. Чоп

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	14150 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	137 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	19 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	18,97 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	265,85 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	2,6 тис.пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	68 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	1015,74 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	50245,37 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	1,003 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	1967804,47 тис.грн	max	*Доходи*
	E	268972,70 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	1698831,76 тис.грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.2

Розрахункові значення показників вершини 2 – ст. Батьово

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	32600 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	165 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	97 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	95,98 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	3113,3 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	15,837 пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	29 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	6187,04 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	5818144,63 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	11,616 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	4533598,99 тис. грн	max	*Доходи*
	E	619682,69 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	3913916,29 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.3

Розрахункові значення показників вершини 3 – ст. Ужгород

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	4390 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	1486 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	107,5 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	107,5 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	471,925 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	159,745 пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	68 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	62407,53 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	88240,53 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	1,760 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	610506,12 тис. грн	max	*Доходи*
	E	83448,06 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	527058,05 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.4

Розрахункові значення показників вершини 4 – ст. Самбір

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	71,38 т./добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	296 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	103,53 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	102,98 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	7,351 тис. т.км	max	*Вантажообіг*
	Al	30,485 тис. пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	23 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	11909,57 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	1373,82 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,027 тис.т.км	max	*Продуктивність праці*
	D	9926,63 тис. грн	max	*Доходи*
	E	1356,83 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	8569,79 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.5

Розрахункові значення показників вершини 5 – ст. Мостиська II

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	23820 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	100 пас./добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	78 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	78 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	1857,960 тис. ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	7,800 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	29 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	3047 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	347234,14 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	6,293 тис. ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	3312586,74 тис. грн	max	*Доходи*
	E	452786,56 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	2859800,18 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.6

Розрахункові значення показників вершини 6 – ст. Львів

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	1020 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	15910 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	49,5 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	49,5 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	50,490 тис. пас.км	max	*Вантажообіг*
	Al	787,561 тис. пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	68 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	307676,45 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	9436,07 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,188 тис.т.км	max	*Продуктивність праці*
	D	141848,80 тис. грн	max	*Доходи*
	E	19388,84 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	122459,95 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.7

Розрахункові значення показників вершини 7 – ст. Дрогобич

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	1960 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	133 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	35 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	34,93 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	68,600 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	4,647 пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	70 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	1815,44 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	122820,65 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,255 тис.т.км	max	*Продуктивність праці*
	D	272572,20 тис. грн	max	*Доходи*
	E	37256,99 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	235315,21 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.8

Розрахункові значення показників вершини 8 – ст. Стрий

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	1615 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	865 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	78,24 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	78,2 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	126,373 тис.т.км	max	*Вантажообіг*
	Al	67,649 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	23 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	26428,43 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	23617,84 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,471 тис.т.км	max	*Продуктивність праці*
	D	224593,93 тис. грн	max	*Доходи*
	E	30699,00 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	193894,93 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.9

Розрахункові значення показників вершини 9 – ст. Скнилів

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	12750 т. добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	100 пас./ добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	51 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	51,1км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	650,250 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	5,119 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	23 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	1999 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	121583,74 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	2,426 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	1773110,03 тис. грн	max	*Доходи*
	E	242360,56 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	1530749,47 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.10

Розрахункові значення показників вершини 10 – ст. Ходорів

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	200 т./ добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	190 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	73,26 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	73 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	14,652 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	13,975 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	29т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_3	C_v	5459,61 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	2738,31 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,054 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	27813,49 тис. грн	max	*Доходи*
	E	3801,73 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	24011,75 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.11

Розрахункові значення показників вершини 11 – ст. Тернопіль

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	2610 т./добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	2971 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	102,5 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	102,5 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	696 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	792 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	23 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	118974,64 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	49997,74 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	0,998 тис. ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	362966,05 тис. грн	max	*Доходи*
	E	49612,63 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	313353,42 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.12

Розрахункові значення показників вершини 12 – ст. Красне

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	4768 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	72 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	70,5 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	70,5 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	336,144 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	5,076 тис.пас.км	min	*Пасажирообіг*
	P_n	68 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	40,86 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	1983,04 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	62821,95 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	1,254 тис.т.км	max	*Продуктивність праці*
	D	663073,61	max	*Доходи*
	E	90633,34	min	*Витрати*
	Y	572440,27	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.13

Розрахункові значення показників вершини 13 – ст. Одеса – Головна

Узагальнений показник	Частковий показник	Розрахункове значення	Напрям екстремуму	Фізична сутність
F_1	q_g	33154 т/добу	max	*Обсяг перевезень вантажу*
	q_p	15290 пас/добу	min	*Обсяг перевезень пасажирів*
	l_c	595 км	max	*Середня дальність перевезення вантажу*
	l_{cp}	565 км	min	*Середня дальність перевезення пасажирів*
	v_d	330 км/добу	max	*Швидкість доставки вантажу*
F_2	Pl	19726,63 тис.ткм	max	*Вантажообіг*
	Al	9097,55 тис.пас.км/добу	min	*Пасажирообіг*
	P_n	23 т	max	*Вантажопідйомність одиниці рухомого складу*
F_3	L_E	Ребро	max	*Експлуатаційна довжина колій між станціями*
	d_s	30,33 км/тис.кв.км	max	*Густота мережі*
	W	Ребро	max	*Інтенсивність перевезень*
F_4	C_v	3554139,85 грн.	min	*Собівартість перевезення пасажирів*
	C_p	3686709,88 грн.	min	*Собівартість перевезення вантажів*
	P_p	39,29 тис.ткм	max	*Продуктивність праці*
	D	5552456,61 тис. грн	max	*Доходи*
	E	758946,988 тис. грн	min	*Витрати*
	Y	4793509,622 тис. грн	max	*Прибуток*
	N	Ребро	max	*Плата за перевезення вантажу*

Таблиця Ф.14

Розрахункові значення показників ребер графу

№ п/п	Ребро	Станції	Експлуатаційна довжина колій між станціями, L_E, км	Інтенсивність перевезень, W, тис. ткм/км	Плата за перевезення вантажу, N, тис.грн.
1	2	3	4	5	6
1	1 – 2	Чоп – Батьово	16	23, 526	941,417
	2 – 1	Батьово – Чоп			3384,604
2	1 – 3	Чоп – Ужгород	22	10, 081	1047,484
	3 – 1	Ужгород – Чоп			347,082
3	3 – 4	Ужгород – Самбір	193	3,060	761,511
	4 – 3	Самбір – Ужгород			0,2125
4	4 – 7	Самбір – Дрогобич	43	1,168	0,1074
	7 – 4	Дрогобич – Самбір			15,932
5	4 – 9	Самбір – Скнилів	73	4,698	0,1938
	9 – 4	Скнилів – Самбір			766,4912
6	2 – 8	Батьово – Стрий	175	2,332	7709,688
	8 – 2	Стрий – Батьово			142,9779
7	8 – 7	Стрий – Дрогобич	27	1,66	67,7358
	7 – 8	Дрогобич – Стрий			12,348

Таблиця Ф.14 (Продовження)

1	2	3	4	5	6
8	8 – 9	Стрий – Скнилів	70	4,90	95,076
	9 – 8	Скнилів – Стрий			714,194
9	8 – 10	Стрий – Ходорів	41	0,75	162,812
	10 – 8	Ходорів – Стрий			0,4296
10	9 – 6	Скнилів – Львів	5	8,46	368,2417
	6 – 9	Львів – Скнилів			2,764
11	6 – 5	Львів – Мостиська II	78	28,15	4,422
	5 – 6	Мостиська II – Львів			2553,840
12	6 – 12	Львів – Красне	51	6,53	5,064
	12 – 6	Красне – Львів			373,933
13	6 – 10	Львів – Ходорів	64	4,36	5,572
	10 – 6	Ходорів – Львів			0,516
14	10 – 11	Ходорів – Тернопіль	115	2,92	0,5328
	11 – 10	Тернопіль – Ходорів			263, 6838
15	12 – 11	Красне – Тернопіль	90	5,21	462,243
	11 – 12	Тернопіль – Красне			227,8211
16	13 – 11	Одеса-Застава 1 – Тернопіль	595	50,30	33020,046
	11 – 13	Тернопіль – Одеса-Застава 1			681,6924

Додаток Х

Узагальнена таблиця показників маршрутів

Таблиця Х.1

Узагальнена таблиця показників маршруту М1

Показник / Маршрут		М1								
		13	11	12	6	9	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	12750	71,38	4390	14150	72913,38
	q_p	15290	2971	72	15910	100	296	1486	137	36262
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	51	103,53	107,5	19	1098,53
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	51,1	102,98	107,5	18,97	1068,05
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	650,25	7,351	471,925	265,85	22204,64
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	5,119	30,485	159,745	2,6	10880,136
	P_n	23	23	68	68	23	23	68	68	364
F_3	L_E	595	90	51	5	73	193	22	0	1029
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	5,21	6,53	8,46	4,698	3,06	10,081	0	88,339
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	1999	11909,57	62407,53	1015,74	4060105,82
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	121583,74	1373,82	88240,53	50245,37	4070409,1
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	2,426	0,027	1,76	1,003	46,946
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	1773110,03	9926,63	610506,12	1967804,47	11081692,32
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	242360,56	1356,83	83448,06	268972,7	1514719,948
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	1530749,47	8569,79	527058,05	1698831,76	9566972,332
	N	33020,046	227,8211	373,933	2,764	766,4912	0,2125	347,082	0	34738,3498

Таблиця Х.2

Узагальнена таблиця показників маршруту М2

Показник / Маршрут		М2								
		13	11	12	6	9	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	12750	1615	32600	14150	102667
	q_p	15290	2971	72	15910	100	865	165	137	35510
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	51	78,24	97	19	1062,74
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	51,1	78,2	95,98	18,97	1031,75
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	650,25	126,373	3113,3	265,85	24965,037
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	5,119	67,649	15,837	2,6	10773,392
	P_n	23	23	68	68	23	23	29	68	325
F_3	L_E	595	90	51	5	70	175	16	0	1002
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	5,21	6,53	8,46	4,9	2,332	Ребро	0	77,732
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	1999	26428,43	23,526	1015,74	4012240,676
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	121583,74	23617,84	5818144,63	50245,37	9822557,22
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	2,426	0,471	11,616	1,003	57,246
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	1773110,03	224593,93	4533598,99	1967804,47	15219452,49
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	242360,56	30699	619682,69	268972,7	2080296,748
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	1530749,47	193894,93	3913916,29	1698831,76	13139155,71
	N	33020,046	227,8211	373,933	2,764	714,194	142,9779	3384,604	0	37866,34

Таблиця Х.3

Узагальнена таблиця показників маршруту М3

Показник / Маршрут		М3										
		13	11	12	6	9	8	7	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	12750	1615	1960	71,38	4390	14150	76488,38
	q_p	15290	2971	72	15910	100	865	133	296	1486	137	37260
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	51	78,24	35	103,53	107,5	19	1211,77
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	51,1	78,2	34,93	102,98	107,5	18,97	1181,18
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	650,25	126,373	68,6	7,351	471,925	265,85	22399,613
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	5,119	67,649	4,647	30,485	159,745	2,6	10952,432
	P_n	23	23	68	68	23	23	70	23	68	68	457
F_3	L_E	595	90	51	5	70	27	43	193	22	0	1096
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	5,21	6,53	8,46	4,9	1,66	1,168	3,06	10,081	0	91,369
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	1999	26428,43	1815,44	11909,57	62407,53	1015,74	4088349,69
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	121583,74	23617,84	122820,65	1373,82	88240,53	50245,37	4216847,59
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	2,426	0,471	0,255	0,027	1,76	1,003	47,672
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	1773110,03	224593,93	272572,2	9926,63	610506,12	1967804,47	11578858,45
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	242360,56	30699	37256,99	1356,83	83448,06	268972,7	1582675,938
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	1530749,47	193894,93	235315,21	8569,79	527058,05	1698831,76	9996182,472
	N	33020,046	341,081	373,933	2,764	714,194	67,7358	15,932	0,2125	347,082	0	34769,7204

Таблиця Х.4

Узагальнена таблиця показників маршруту М4

Показник / Маршрут		М4										
		13	11	12	6	9	4	7	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	12750	71,38	1960	1615	32600	14150	104698,38
	q_p	15290	2971	72	15910	100	296	133	865	165	137	35939
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	51	103,53	35	78,24	97	19	1201,27
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	51,1	102,98	34,93	78,2	95,98	18,97	1169,66
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	650,25	7,351	68,6	126,373	3113,3	265,85	25040,988
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	5,119	30,485	4,647	67,649	15,837	2,6	10808,524
	P_n	23	23	68	68	23	23	70	23	29	68	418
F_3	L_E	595	90	51	5	73	43	27	175	16	0	1075
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	5,21	6,53	8,46	4,698	1,168	1,66	2,332	23,526	0	103,884
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	1999	11909,57	1815,44	26428,43	23,526	1015,74	4025965,686
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	121583,74	1373,82	122820,65	23617,84	5818144,63	50245,37	9946751,69
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	2,426	0,027	0,255	0,471	11,616	1,003	57,528
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	1773110,03	9926,63	272572,2	224593,93	4533598,99	1967804,47	15501951,32
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	242360,56	1356,83	37256,99	30699	619682,69	268972,7	2118910,568
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	1530749,47	8569,79	235315,21	193894,93	3913916,29	1698831,76	13383040,71
	N	33020,046	227,8211	373,933	2,764	766,4912	0,1074	12,348	142,9779	3384,604	0	37931,0926

Таблиця X.5

Узагальнена таблиця показників маршруту М5

Показник / Маршрут		М5								
		13	11	12	6	10	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	200	1615	32600	14150	90117
	q_p	15290	2971	72	15910	190	865	165	137	35600
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	73,26	78,24	97	19	1085
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	73	78,2	95,98	18,97	1053,65
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	14,652	126,373	3113,3	265,85	24329,439
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	13,975	67,649	15,837	2,6	10782,248
	P_n	23	23	68	68	29	23	29	68	331
F_3	L_E	595	90	51	64	41	175	16	0	1032
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	5,21	6,53	4,36	0,75	2,332	23,526	0	93,008
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	5459,61	26428,43	23,526	1015,74	4015701,286
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	2738,31	23617,84	5818144,63	50245,37	9703711,79
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	0,054	0,471	11,616	1,003	54,874
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	27813,49	224593,93	4533598,99	1967804,47	13474155,95
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	3801,73	30699	619682,69	268972,7	1841737,918
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	24011,75	193894,93	3913916,29	1698831,76	11632417,99
	N	33020,046	227,8211	373,933	5,572	0,4296	142,9779	3384,604	0	37155,3836

Таблиця Х.6

Узагальнена таблиця показників маршруту М6

Показник / Маршрут		М6										
		13	11	12	6	10	8	9	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	200	1615	12750	71,38	4390	14150	74728,38
	q_p	15290	2971	72	15910	190	865	100	296	1486	137	37317
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	73,26	78,24	51	103,53	107,5	19	1250,03
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	73	78,2	51,1	102,98	107,5	18,97	1219,25
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	14,652	126,373	650,25	7,351	471,925	265,85	22345,665
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	13,975	67,649	5,119	30,485	159,745	2,6	10961,76
	P_n	23	23	68	68	29	23	23	23	68	68	416
F_3	L_E	595	90	51	64	41	70	73	193	22	0	1199
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	5,21	6,53	4,36	0,75	4,9	4,698	3,06	10,081	0	89,889
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	5459,61	26428,43	1999	11909,57	62407,53	1015,74	4091993,86
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	2738,31	23617,84	121583,74	1373,82	88240,53	50245,37	4096765,25
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	0,054	0,471	2,426	0,027	1,76	1,003	47,471
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	27813,49	224593,93	1773110,03	9926,63	610506,12	1967804,47	11334099,74
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	3801,73	30699	242360,56	1356,83	83448,06	268972,7	1549220,678
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	24011,75	193894,93	1530749,47	8569,79	527058,05	1698831,76	9784879,012
	N	33020,046	227,8211	373,933	5,572	0,4296	95,076	766,4912	0,2125	347,082	0	34836,6634

Таблиця Х.7

Узагальнена таблиця показників маршруту М7

Показник / Маршрут		М7										
		13	11	12	6	5	6	9	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	4768	1020	23820	1020	12750	71,38	4390	14150	97753,38
	q_p	15290	2971	72	15910	100	15910	100	296	1486	137	52272
	l_c	595	102,5	70,5	49,5	78	49,5	51	103,53	107,5	19	1226,03
	l_{cp}	565	102,5	70,5	49,5	78	49,5	51,1	102,98	107,5	18,97	1195,55
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	336,144	50,49	1857,96	50,49	650,25	7,351	471,925	265,85	24113,09
	Al	9097,55	792	5,076	787,561	7,8	787,561	5,119	30,485	159,745	2,6	11675,497
	P_n	23	23	68	68	29	68	23	23	68	68	461
F_3	L_E	595	90	51	78	78	5	73	193	22	0	1185
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	5,21	6,53	28,15	28,15	8,46	4,698	3,06	10,081	0	144,639
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	1983,04	307676,45	3047	307676,45	1999	11909,57	62407,53	1015,74	4370829,27
	C_p	3686709,88	49997,74	62821,95	9436,07	347234,14	9436,07	121583,74	1373,82	88240,53	50245,37	4427079,31
	P_p	39,29	0,998	1,254	0,188	6,293	0,188	2,426	0,027	1,76	1,003	53,427
	D	5552456,61	362966,05	663073,61	141848,8	3312586,74	141848,8	1773110,03	9926,63	610506,12	1967804,47	14536127,86
	E	758946,988	49612,63	90633,34	19388,84	452786,56	19388,84	242360,56	1356,83	83448,06	268972,7	1986895,348
	Y	4793509,622	313353,42	572440,27	122459,95	2859800,18	122459,95	1530749,47	8569,79	527058,05	1698831,76	12549232,46
	N	33020,046	227,8211	373,933	4,422	2553,84	2,764	766,4912	0,2125	347,082	0	37296,6118

Таблиця Х.8

Узагальнена таблиця показників маршруту М8

Показник / Маршрут		М8						
		13	11	10	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник							
F_1	q_g		2610	200	1615	32600	14150	84329
	q_p	15290	2971	190	865	165	137	19618
	l_c	595	102,5	73,26	78,24	97	19	965
	l_{cp}	565	102,5	73	78,2	95,98	18,97	933,65
	v_d	330	330	330	330	330	330	1980
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	126,373	3113,3	265,85	23942,805
	Al	9097,55	792	13,975	67,649	15,837	2,6	9989,611
	P_n	23	23	29	23	29	68	195
F_3	L_E	595	115	41	175	16	0	942
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	234,63
	W	50,3	2,92	0,75	2,332	23,526	0	79,828
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	26428,43	23,526	1015,74	3706041,796
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	23617,84	5818144,63	50245,37	9631453,77
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,471	11,616	1,003	53,432
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	224593,93	4533598,99	1967804,47	12669233,54
	E	758946,988	49612,63	3801,73	30699	619682,69	268972,7	1731715,738
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	193894,93	3913916,29	1698831,76	10937517,77
	N	33020,046	263, 6838	0,4296	142,9779	3384,604	0	36548,0575

Таблиця Х.9

Узагальнена таблиця показників маршруту М9

Маршрут / Показник		М9								
		13	11	10	6	9	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	200	1020	12750	1615	32600	14150	98099
	q_p	15290	2971	190	15910	100	865	165	137	35628
	l_c	595	102,5	73,26	49,5	51	78,24	97	19	1065,5
	l_{cp}	565	102,5	73	49,5	51,1	78,2	95,98	18,97	1034,25
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	50,49	650,25	126,373	3113,3	265,85	24643,545
	Al	9097,55	792	13,975	787,561	5,119	67,649	15,837	2,6	10782,291
	P_n	23	23	29	68	23	23	29	68	286
F_3	L_E	595	115	64	5	70	175	16	0	1040
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	2,92	4,36	8,46	4,9	2,332	23,526	0	96,798
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	307676,45	1999	26428,43	23,526	1015,74	4015717,246
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	9436,07	121583,74	23617,84	5818144,63	50245,37	9762473,58
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,188	2,426	0,471	11,616	1,003	56,046
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	141848,8	1773110,03	224593,93	4533598,99	1967804,47	14584192,37
	E	758946,988	49612,63	3801,73	19388,84	242360,56	30699	619682,69	268972,7	1993465,138
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	122459,95	1530749,47	193894,93	3913916,29	1698831,76	12590727,19
	N	33020,046	263, 6838	0,516	2,764	714,194	142,9779	3384,604	0	37265,1019

Таблиця Х.10

Узагальнена таблиця показників маршруту М10

Показник / Маршрут		М10								
		13	11	10	6	9	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	200	1020	12750	71,38	4390	14150	68345,38
	q_p	15290	2971	190	15910	100	296	1486	137	36380
	l_c	595	102,5	73,26	49,5	51	103,53	107,5	19	1101,29
	l_{cp}	565	102,5	73	49,5	51,1	102,98	107,5	18,97	1070,55
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	50,49	650,25	7,351	471,925	265,85	21883,148
	Al	9097,55	792	13,975	787,561	5,119	30,485	159,745	2,6	10889,035
	P_n	23	23	29	68	23	23	68	68	325
F_3	L_E	595	115	64	5	73	193	22	0	1067
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	2,92	4,36	8,46	4,698	3,06	10,081	0	83,879
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	307676,45	1999	11909,57	62407,53	1015,74	4063582,39
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	9436,07	121583,74	1373,82	88240,53	50245,37	4010325,46
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,188	2,426	0,027	1,76	1,003	45,746
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	141848,8	1773110,03	9926,63	610506,12	1967804,47	10446432,2
	E	758946,988	49612,63	3801,73	19388,84	242360,56	1356,83	83448,06	268972,7	1427888,338
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	122459,95	1530749,47	8569,79	527058,05	1698831,76	9018543,812
	N	33020,046	263, 6838	0,516	2,764	766,4912	0,2125	347,082	0	34137,1117

Таблиця Х.11

Узагальнена таблиця показників маршруту М11

Показник / Маршрут		М11										
		13	11	10	6	9	4	7	8	2	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	200	1020	12750	71,38	1960	1615	32600	14150	100130,38
	q_p	15290	2971	190	15910	100	296	133	865	165	137	36057
	l_c	595	102,5	73,26	49,5	51	103,53	35	78,24	97	19	1204,03
	l_{cp}	565	102,5	73	49,5	51,1	102,98	34,93	78,2	95,98	18,97	1172,16
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	50,49	650,25	7,351	68,6	126,373	3113,3	265,85	24719,496
	Al	9097,55	792	13,975	787,561	5,119	30,485	4,647	67,649	15,837	2,6	10817,423
	P_n	23	23	29	68	23	23	70	23	29	68	379
F_3	L_E	595	115	64	5	73	43	27	175	16	0	1113
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	2,92	4,36	8,46	4,698	1,168	1,66	2,332	23,526	0	99,424
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	307676,45	1999	11909,57	1815,44	26428,43	23,526	1015,74	4029442,256
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	9436,07	121583,74	1373,82	122820,65	23617,84	5818144,63	50245,37	9886668,05
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,188	2,426	0,027	0,255	0,471	11,616	1,003	56,328
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	141848,8	1773110,03	9926,63	272572,2	224593,93	4533598,99	1967804,47	14866691,2
	E	758946,988	49612,63	3801,73	19388,84	242360,56	1356,83	37256,99	30699	619682,69	268972,7	2032078,958
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	122459,95	1530749,47	8569,79	235315,21	193894,93	3913916,29	1698831,76	12834612,19
	N	33020,046	263, 6838	0,516	2,764	766,4912	0,1074	12,348	142,9779	3384,604	0	37329,8545

Таблиця Х.12

Узагальнена таблиця показників маршруту М12

Показник / Маршрут		М12										
		13	11	10	6	9	8	7	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник											
F_1	q_g	33154	2610	200	1020	12750	1615	1960	71,38	4390	14150	71920,38
	q_p	15290	2971	190	15910	100	865	133	296	1486	137	37378
	l_c	595	102,5	73,26	49,5	51	78,24	35	103,53	107,5	19	1214,53
	l_{cp}	565	102,5	73	49,5	51,1	78,2	34,93	102,98	107,5	18,97	1183,68
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	330	330	3300
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	50,49	650,25	126,373	68,6	7,351	471,925	265,85	22078,121
	Al	9097,55	792	13,975	787,561	5,119	67,649	4,647	30,485	159,745	2,6	10961,331
	P_n	23	23	29	68	23	23	70	23	68	68	418
F_3	L_E	595	115	64	5	70	27	43	193	22	0	1134
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	398,07
	W	50,3	2,92	4,36	8,46	4,9	1,66	1,168	3,06	10,081	0	86,909
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	307676,45	1999	26428,43	1815,44	11909,57	62407,53	1015,74	4091826,26
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	9436,07	121583,74	23617,84	122820,65	1373,82	88240,53	50245,37	4156763,95
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,188	2,426	0,471	0,255	0,027	1,76	1,003	46,472
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	141848,8	1773110,03	224593,93	272572,2	9926,63	610506,12	1967804,47	10943598,33
	E	758946,988	49612,63	3801,73	19388,84	242360,56	30699	37256,99	1356,83	83448,06	268972,7	1495844,328
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	122459,95	1530749,47	193894,93	235315,21	8569,79	527058,05	1698831,76	9447753,952
	N	33020,046	263, 6838	0,516	2,764	714,194	67,7358	15,932	0,2125	347,082	0	34168,4823

Таблиця Х. 13

Узагальнена таблиця показників маршруту М13

Маршрут / Показник		М13								
		13	11	10	8	9	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	200	1615	12750	71,38	4390	14150	68940,38
	q_p	15290	2971	190	865	100	296	1486	137	21335
	l_c	595	102,5	73,26	78,24	51	103,53	107,5	19	1130,03
	l_{cp}	565	102,5	73	78,2	51,1	102,98	107,5	18,97	1099,25
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	126,373	650,25	7,351	471,925	265,85	21959,031
	Al	9097,55	792	13,975	67,649	5,119	30,485	159,745	2,6	10169,123
	P_n	23	23	29	23	23	23	68	68	280
F_3	L_E	595	115	41	70	73	193	22	0	1109
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	2,92	0,75	4,9	4,698	3,06	10,081	0	76,709
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	26428,43	1999	11909,57	62407,53	1015,74	3782334,37
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	23617,84	121583,74	1373,82	88240,53	50245,37	4024507,23
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,471	2,426	0,027	1,76	1,003	46,029
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	224593,93	1773110,03	9926,63	610506,12	1967804,47	10529177,33
	E	758946,988	49612,63	3801,73	30699	242360,56	1356,83	83448,06	268972,7	1439198,498
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	193894,93	1530749,47	8569,79	527058,05	1698831,76	9089978,792
	N	33020,046	263, 6838	0,4296	95,076	766,4912	0,2125	347,082	0	34229,3373

Таблиця Х.14

Узагальнена таблиця показників маршруту М14

Показник / Маршрут		М14								
		13	11	10	8	7	4	3	1	Сума
Узагальнений показник	Частковий показник									
F_1	q_g	33154	2610	200	1615	1960	71,38	4390	14150	58150,38
	q_p	15290	2971	190	865	133	296	1486	137	21368
	l_c	595	102,5	73,26	78,24	35	103,53	107,5	19	1114,03
	l_{cp}	565	102,5	73	78,2	34,93	102,98	107,5	18,97	1083,08
	v_d	330	330	330	330	330	330	330	330	2640
F_2	Pl	19726,63	696	14,652	126,373	68,6	7,351	471,925	265,85	21377,381
	Al	9097,55	792	13,975	67,649	4,647	30,485	159,745	2,6	10168,651
	P_n	23	23	29	23	70	23	68	68	327
F_3	L_E	595	115	48	27	43	193	22	0	1043
	d_s	30,33	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	40,86	316,35
	W	50,3	2,92	0,75	1,66	1,168	3,06	10,081	0	69,939
F_4	C_v	3554139,85	118974,64	5459,61	26428,43	1815,44	11909,57	62407,53	1015,74	3782150,81
	C_p	3686709,88	49997,74	2738,31	23617,84	122820,65	1373,82	88240,53	50245,37	4025744,14
	P_p	39,29	0,998	0,054	0,471	0,255	0,027	1,76	1,003	43,858
	D	5552456,61	362966,05	27813,49	224593,93	272572,2	9926,63	610506,12	1967804,47	9028639,5
	E	758946,988	49612,63	3801,73	30699	37256,99	1356,83	83448,06	268972,7	1234094,928
	Y	4793509,622	313353,42	24011,75	193894,93	235315,21	8569,79	527058,05	1698831,76	7794544,532
	N	33020,046	263, 6838	0,4296	67,7358	15,932	0,2125	347,082	0	33451,4379

Додаток Ц

Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів М1-М14

Таблиця Ц.1

Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів М1-М8

Показник / Маршрут			М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7
Узагальнений показник	Нормований частковий показник	Напрям екстремуму							
F_1	q_{g0}	*max*	0,079246871	0,056280569	0,075542942	0,055188602	0,064118393	0,077322126	0,059109539
	q_{p0}	*min*	0,075873988	0,074300516	0,077962186	0,075198149	0,074488831	0,078081452	0,109373038
	l_{c0}	*max*	0,073616427	0,076095615	0,066736966	0,067320297	0,074534427	0,06469433	0,065960746
	l_{cp0}	*min*	0,068925528	0,066582945	0,076226259	0,075482827	0,067996239	0,078683068	0,077153612
	v_d	*max*	0,076142132	0,076142132	0,060913706	0,060913706	0,076142132	0,060913706	0,060913706
F_2	Pl_0	*max*	0,074673282	0,066416619	0,074023304	0,066215173	0,06815173	0,074202014	0,068763205
	Al_0	*min*	0,072239765	0,071531027	0,072719781	0,07176429	0,071589827	0,072781716	0,077520645
	P_{n0}	*max*	0,06642145	0,074392024	0,052904612	0,057840689	0,073043528	0,058118769	0,05244557
F_3	L_{E0}	*max*	0,074409034	0,076414068	0,069860306	0,071225019	0,074192729	0,063858962	0,064613414
	d_{s0}	*max*	0,076239561	0,076239561	0,060588301	0,060588301	0,076239561	0,060588301	0,060588301
	W_0	*max*	0,07199928	0,081824015	0,069611623	0,061225447	0,068384917	0,070757761	0,043973924
F_4	C_{v0}	*min*	0,072325878	0,071473218	0,072829008	0,071717712	0,071534865	0,072893925	0,07786104
	C_{p0}	*min*	0,044348636	0,107020451	0,045944138	0,108373596	0,105725585	0,044635796	0,048234692
	P_{p0}	*max*	0,076801925	0,06298332	0,075632303	0,062674579	0,065705856	0,075952543	0,067485413
	D_0	*max*	0,078766136	0,05735174	0,075384123	0,056306594	0,064780465	0,077012035	0,060047772
	E_0	*min*	0,063037835	0,086575346	0,065865948	0,088182331	0,076647285	0,064473646	0,082688276
	Y_0	*max*	0,078766136	0,05735174	0,075384123	0,056306594	0,064780465	0,077012035	0,060047772
	N_0	*max*	0,073547026	0,067471594	0,073480669	0,067356412	0,068762641	0,073339467	0,068502263

Таблиця Ц.2

Нормовані значення частинних критеріїв оптимальності маршрутів М8-М14

Показник / Маршрут			М8	М9	М10	М11	М12	М13	М14
Узагальнений показник	Нормований частковий показник	Напрям екстремуму							
F_1	q_{g0}	*max*	0,068519219	0,058901286	0,084543494	0,057706335	0,080341027	0,083813829	0,099365769
	q_{p0}	*min*	0,041048368	0,074547418	0,07612089	0,07544505	0,078209088	0,044640989	0,044710038
	l_{c0}	*max*	0,083802957	0,075898502	0,073431933	0,067165979	0,066585308	0,071564342	0,072592169
	l_{cp0}	*min*	0,06025216	0,06674428	0,069086863	0,075644162	0,076387594	0,070938989	0,069895474
	v_d	*max*	0,101522843	0,076142132	0,076142132	0,060913706	0,060913706	0,076142132	0,076142132
F_2	Pl_0	*max*	0,06925226	0,06728307	0,07577033	0,067076341	0,075101199	0,075508494	0,077562979
	Al_0	*min*	0,066327034	0,071590113	0,072298851	0,071823375	0,072778867	0,067518922	0,067515788
	P_{n0}	*max*	0,123986707	0,084536391	0,074392024	0,063792633	0,057840689	0,086347885	0,073937027
F_3	L_{E0}	*max*	0,081281206	0,073622015	0,07175904	0,068793258	0,067519309	0,069041385	0,073410255
	d_{s0}	*max*	0,10279327	0,076239561	0,076239561	0,060588301	0,060588301	0,076239561	0,076239561
	W_0	*max*	0,079675607	0,065707394	0,075827613	0,063971922	0,073183955	0,08291523	0,090941311
F_4	C_{v0}	*min*	0,066018655	0,071535149	0,072387809	0,071779643	0,072890939	0,067377715	0,067374445
	C_{p0}	*min*	0,104938307	0,106365817	0,043694002	0,107718962	0,045289505	0,043848518	0,043861995
	P_{p0}	*max*	0,067479098	0,064331855	0,078816578	0,064009785	0,077585281	0,07833199	0,082209475
	D_0	*max*	0,068896203	0,059849875	0,083556	0,058712599	0,079760062	0,082899362	0,096677034
	E_0	*min*	0,072068511	0,08296169	0,059424179	0,084568675	0,062252292	0,059894872	0,051359113
	Y_0	*max*	0,068896203	0,059849875	0,083556	0,058712599	0,079760062	0,082899362	0,096677034
	N_0	*max*	0,069905283	0,068560186	0,074842369	0,068441261	0,074773655	0,074640718	0,076376457

Додаток Ш

Розрахунок узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М1-М14

Таблиця Ш.1

Розрахунок узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М1-М7

Маршрут / Показник		М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7
Показник	Напрям екстремуму							
$(1-q_{g0})^{-1}$	*max*	1,086067447	1,059636972	1,081716009	1,058412295	1,068511222	1,083801864	1,062822976
$(1-q_{p0})^{-1}$	*min*	1,082103509	1,080264187	1,084554218	1,081312714	1,080483989	1,084694524	1,122804545
$(1- l_{c0})^{-1}$	*max*	1,079466464	1,082363084	1,071509279	1,072179439	1,080537223	1,069169184	1,070618816
$(1- l_{cp0})^{-1}$	*min*	1,074027944	1,07133247	1,082516157	1,081645673	1,072957044	1,085402824	1,08360396
$(1- v_d)^{-1}$	*max*	1,082417582	1,082417582	1,064864865	1,064864865	1,082417582	1,064864865	1,064864865
F_1	*min*	5,404082946	5,376014296	5,385160528	5,358414986	5,384907061	5,387933261	5,404715161
$(1- Pl_0)^{-1}$	*max*	1,080699369	1,071141604	1,079940785	1,070910526	1,07313608	1,08014925	1,07384073
$(1- Al_0)^{-1}$	*min*	1,077864692	1,077041914	1,07842266	1,077312571	1,077110128	1,078494694	1,0840351
$(1- P_{n0})^{-1}$	*max*	1,071147147	1,080370984	1,055859857	1,061391622	1,078799308	1,061704987	1,055348346
F_2	*min*	3,229711208	3,228554503	3,214223301	3,20961472	3,229045516	3,220348931	3,213224176
$(1- L_{E0})^{-1}$	*max*	1,080390839	1,082736284	1,075107327	1,076687057	1,080138416	1,068215108	1,069076695
$(1- d_{s0})^{-1}$	*max*	1,082531744	1,082531744	1,064496004	1,064496004	1,082531744	1,064496004	1,064496004
$(1- W_0)^{-1}$	*max*	1,07758537	1,089115831	1,074819962	1,065218478	1,073404691	1,076145657	1,045996574
F_3	*min*	3,240507953	3,254383859	3,214423293	3,206401539	3,236074852	3,20885677	3,179569273
$(1- C_{v0})^{-1}$	*min*	1,077964746	1,076974859	1,078549705	1,077258516	1,077046366	1,078625226	1,084435257
$(1- C_{p0})^{-1}$	*min*	1,04640671	1,119846474	1,048156654	1,12154597	1,118224991	1,046721236	1,050679187
$(1- P_{p0})^{-1}$	*max*	1,083191166	1,067216862	1,081820582	1,066865335	1,070326735	1,0821955	1,072369284
$(1- D_0)^{-1}$	*max*	1,085500696	1,060841082	1,081530206	1,059666195	1,069267656	1,083437746	1,063883855
$(1- E_0)^{-1}$	*min*	1,067278955	1,094781048	1,070510167	1,096710487	1,083009758	1,068916975	1,09014196
$(1- Y_0)^{-1}$	*max*	1,085500696	1,060841082	1,081530206	1,059666195	1,069267656	1,083437746	1,063883855
$(1- N_0)^{-1}$	*max*	1,079385601	1,072353392	1,079308295	1,072220957	1,07384008	1,079143833	1,073539913
F_4	*min*	7,52522857	7,5528548	7,521405815	7,553933654	7,560983241	7,522478261	7,498933311

Таблиця Ш.2

Розрахунок узагальнених критеріїв оптимальності маршрутів М8-М11

Показник / Маршрут		М8	М9	М10	М11	М12	М13	М14
Показник	Напрям екстремуму							
$(1-q_{g0})^{-1}$	*max*	1,073559455	1,062587787	1,092351186	1,061240287	1,087359586	1,09148122	1,110328661
$(1-q_{p0})^{-1}$	*min*	1,042805462	1,08055239	1,082392695	1,081601477	1,084844715	1,046726925	1,046802583
$(1- l_{c0})^{-1}$	*max*	1,091468269	1,082132214	1,079251526	1,072002068	1,071335183	1,077080562	1,078274268
$(1- l_{cp0})^{-1}$	*min*	1,064115242	1,071517675	1,074214082	1,081834461	1,082705249	1,076355576	1,075147978
$(1- v_d)^{-1}$	*max*	1,11299435	1,082417582	1,082417582	1,064864865	1,064864865	1,082417582	1,082417582
F_1	*min*	5,384942778	5,379207648	5,41062707	5,361543159	5,391109598	5,374061866	5,392971072
$(1- Pl_0)^{-1}$	*max*	1,074404972	1,072136644	1,081982145	1,071899068	1,081199369	1,081675703	1,08408485
$(1- Al_0)^{-1}$	*min*	1,071038829	1,077110459	1,077933342	1,077381151	1,078491381	1,07240782	1,072404216
$(1- P_{n0})^{-1}$	*max*	1,141535189	1,092342711	1,080370984	1,068139426	1,061391622	1,094508494	1,079840172
F_2	*min*	3,28697899	3,241589815	3,240286471	3,217419645	3,221082372	3,248592017	3,236329238
$(1- L_{E0})^{-1}$	*max*	1,088472345	1,079472976	1,077306479	1,073875386	1,072408264	1,074161605	1,079226276
$(1- d_{s0})^{-1}$	*max*	1,114570329	1,082531744	1,082531744	1,064496004	1,064496004	1,082531744	1,082531744
$(1- W_0)^{-1}$	*max*	1,086573395	1,070328497	1,082049209	1,06834402	1,078962763	1,09041174	1,100038988
F_3	*min*	3,289616069	3,232333217	3,241887432	3,206715411	3,215867031	3,247105089	3,261797008
$(1- C_{v0})^{-1}$	*min*	1,070685197	1,077046696	1,078036715	1,077330391	1,078621752	1,072245448	1,072241689
$(1- C_{p0})^{-1}$	*min*	1,117241423	1,119026128	1,045690399	1,120723133	1,047437946	1,045859384	1,045874125
$(1- P_{p0})^{-1}$	*max*	1,072362022	1,068754991	1,085560135	1,068387237	1,084111061	1,084989377	1,089573245
$(1- D_0)^{-1}$	*max*	1,073994117	1,063659912	1,091174147	1,062374785	1,086673115	1,090392874	1,107023775
$(1- E_0)^{-1}$	*min*	1,077665767	1,090466984	1,06317851	1,092381233	1,066384904	1,063710824	1,054139679
$(1- Y_0)^{-1}$	*max*	1,073994117	1,063659912	1,091174147	1,062374785	1,086673116	1,090392874	1,107023775
$(1- N_0)^{-1}$	*max*	1,075159316	1,073606673	1,080896883	1,073469614	1,080816608	1,080661338	1,082692194
F_4	*min*	7,561101959	7,556221297	7,535710936	7,557041179	7,530718502	7,528252119	7,558568481

Додаток Щ

Критерії маршрутів нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень маршруту M_A

Таблиця Щ.1

Критерії маршрутів М1-М7 нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень маршруту M_A

Маршрут / Нормований показник	М1	М2	М3	М4	М5	М6	М7
$q_{g0}^{\max}$	1,030789701	1,030100712	1,030678583	1,030067953	1,030335847	1,030731959	1,030185581
$q_{p0}^{\min}$	0,99375056	0,992112411	0,995933228	0,993046257	0,992308172	0,996058188	1,03
$l_{c0}^{\max}$	1,041377677	1,041452053	1,041171293	1,041188793	1,041405217	1,041110014	1,041148007
$l_{cp0}^{\min}$	1,01952013	1,017036745	1,027340465	1,026538474	1,018533492	1,03	1,028342676
$v_d^{\max}$	1,037149129	1,037149129	1,036692276	1,036692276	1,037149129	1,036692276	1,036692276
F_1	5,122587197	5,117851049	5,131815845	5,127533753	5,119731857	5,134592437	5,16636854
$Pl_0^{\max}$	1,043150724	1,042903024	1,043131225	1,042896981	1,042955078	1,043136586	1,042973422
$Al_0^{\min}$	1,024307926	1,023548931	1,02482264	1,023798606	0,993611857	1,02488909	1,03
$P_{n0}^{\max}$	1,027340989	1,027580107	1,026935484	1,027083566	1,027539652	1,027091909	1,026921713
F_2	3,09479964	3,094032062	3,094889349	3,093779154	3,064106586	3,095117585	3,099895135
$L_{E0}^{\max}$	1,040447379	1,04050753	1,040310918	1,040351859	1,04044089	1,040130877	1,040153511
$d_{s0}^{\max}$	1,036783191	1,036783191	1,036313653	1,036313653	1,036783191	1,036313653	1,036313653
$W_0^{\max}$	1,018156552	1,018451294	1,018084922	1,017833337	1,018048121	1,018119306	1,017315791
F_3	3,095387123	3,095742016	3,094709493	3,094498849	3,095272203	3,094563837	3,093782956
$C_{v0}^{\min}$	1,02403329	1,023120476	1,024572703	1,023382048	1,023186415	1,024642344	1,03
$C_{p0}^{\min}$	0,963003852	1,028484685	0,964564149	1,03	1,027038928	0,963284291	0,966813305
$P_{p0}^{\max}$	1,039169393	1,038754835	1,039134304	1,038745573	1,038836511	1,039143912	1,038889898
$D_0^{\max}$	1,032029179	1,031386747	1,031927718	1,031355392	1,031609609	1,031976556	1,031467628
$E_0^{\min}$	1,003163809	1,028240704	1,006110085	1,03	1,017507433	1,004657385	1,024010701
$Y_0^{\max}$	1,079386759	1,078744327	1,079285299	1,078712973	1,078967189	1,079334136	1,078825208
$N_0^{\max}$	1,054898605	1,054716342	1,054896614	1,054712886	1,054755073	1,054892378	1,054747262
F_4	7,195684887	7,283448115	7,200490872	7,286908872	7,271901158	7,197931001	7,224754001

Таблиця Щ.2

Критерії маршрутів М8-М14 нормовані відносно максимальних (мінімальних) значень маршруту M_A

Маршрут / Нормований показник	М8	М9	М10	М11	М12	М13	М14
q_{g0}^{max}	1,030467871	1,030179333	1,0309486	1,030143485	1,030822526	1,03092671	1,031393268
q_{p0}^{min}	0,95875066	0,992369092	0,994008117	0,993303437	0,996191953	0,962243221	0,962310604
l_{c0}^{max}	1,041683273	1,041446139	1,041372142	1,041184164	1,041166744	1,041316115	1,041346949
l_{cp0}^{min}	1,01038739	1,017207377	1,019691622	1,026712407	1,027514678	1,021664618	1,020552037
v_d^{max}	1,03791055	1,037149129	1,037149129	1,036692276	1,036692276	1,037149129	1,037149129
F_1	5,079199745	5,118351071	5,12316961	5,128035769	5,132388176	5,093299792	5,092751987
Pl_0^{max}	1,042988094	1,042929018	1,043183636	1,042922816	1,043163562	1,043175781	1,043237415
Al_0^{min}	1,018011208	1,023612162	1,024371254	1,02386187	1,024886034	1,019274074	1,01927075
P_{n0}^{max}	1,029067947	1,027884438	1,027580107	1,027262125	1,027083566	1,027938782	1,027566457
F_2	3,090067249	3,094425618	3,095134996	3,09404681	3,095133162	3,090388637	3,090074621
L_{E0}^{max}	1,040653545	1,040423769	1,04036788	1,040278906	1,040240688	1,04028635	1,040417416
d_{s0}^{max}	1,037579802	1,036783191	1,036783191	1,036313653	1,036313653	1,036783191	1,036783191
W_0^{max}	1,018386842	1,017967795	1,018271402	1,017915731	1,018192092	1,018484031	1,018724813
F_3	3,096620189	3,095174755	3,095422473	3,094508291	3,094746433	3,095553572	3,09592542
C_{v0}^{min}	1,017320533	1,023186719	1,024099655	1,023448326	1,024639141	1,018759302	1,018755835
C_{p0}^{min}	1,026161953	1,027753243	0,96236517	1,029266337	0,963923329	0,962515842	0,962528985
P_{p0}^{max}	1,038889708	1,038795291	1,039229833	1,038785629	1,039192894	1,039215295	1,03933162
D_0^{max}	1,031733081	1,031461691	1,032172875	1,031427573	1,032058997	1,032153176	1,032566506
E_0^{min}	1,012634688	1,024307064	0,999424951	1,02605251	1,002348598	0,999910324	0,991183185
Y_0^{max}	1,079090661	1,078819271	1,079530455	1,078785153	1,079416577	1,079510756	1,079924086
N_0^{max}	1,054789352	1,054748999	1,054937465	1,054745432	1,054935403	1,054931415	1,054983488
F_4	7,260619976	7,279072278	7,191760404	7,282510959	7,196514938	7,18699611	7,179273704