

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

ЕКОНОМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ

Кафедра економічної кібернетики

**Кваліфікаційна робота
магістра**

на тему **МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСУ ДОСТАВКИ
ВАНТАЖІВ НА БАЗІ СУЧАСНИХ МЕТАЕВРІСТИК**

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.0511-ек
спеціальності 051 Економіка

(код і назва спеціальності)

освітньої програми Економічна кібернетика

(код і назва освітньої програми)

В. С. Русанов

(ініціали та прізвище)

Керівник – проф., д.ф-м.н., проф. Козін І. В

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент – зав. каф., проф., д.е.н., проф. Максишко Н.К.

(посада, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Запоріжжя
2022

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Факультет економічний
Кафедра економічної кібернетики
Рівень вищої освіти магістр
Спеціальність 051 «Економіка»
Освітня програма «Економічна кібернетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____
(підпис)
« ____ » _____ 2022 року

**З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Русанов Вадим Сергійович

1. Тема роботи: Математичні моделі оптимізації процесу доставки вантажів на базі сучасних метаевристик
керівник роботи – Козін Ігор Вікторович, д.ф.-м.н, професор
затверджені наказом ЗНУ від «09» червня 2022 року № 642-с
2. Строк подання студентом роботи: 01 грудня 2022 року
3. Вихідні дані до роботи: постановка завдання, наукова література за темою роботи, офіційні статистичні дані.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Аналіз процесу доставки вантажів як важливої задачі транспортної логістики; огляд існуючих математичних моделей та методів оптимізації доставки вантажів; розробка методу розв'язання задачі, що базується на застосуванні комбінації фрагментарного алгоритму та метаевристик.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) рисунки, таблиці, презентація

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1	д.ф.-м.н. проф. Козін І.В.	17.09	06.10
Розділ 2	д.ф.-м.н. проф. Козін І.В.		
Розділ 3	д.ф.-м.н. проф. Козін І.В.		

7. Дата видачі завдання 10.06.2022

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Формування мети та завдань кваліфікаційної роботи	01.09-07.09.2022	виконано
2.	Складання плану роботи	08.09-17.09.2022	виконано
3.	Підготовка I розділу	19.09-08.10.2022	виконано
4.	Підготовка II розділу	10.10-26.10.2022	виконано
5.	Підготовка III розділу	27.10-19.11.2022	виконано
6.	Оформлення висновків та роботи	21.11-28.11.2022	виконано
7.	Нормоконтроль і підготовка презентації	28.11-01.12.2022	виконано

Студент _____ Русанов В.С.
(підпис)

Керівник роботи (проекту) _____ Козін І.В.
(підпис)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер _____ Макаренко О.І.

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра містить три розділи, 85 с., 12 рис., 5 табл., 53 джерел.

Об'єкт дослідження – процес доставки вантажів різних типів.

Предмет дослідження – математичні моделі і методи оптимізації доставки вантажів.

Мета роботи – побудова нових методів пошуку субоптимальних розв'язків задач доставки вантажів на базі фрагментарного представлення та оцінка їх якості.

Методи дослідження – математичне моделювання, алгоритми метаевристик, комп'ютерна реалізація алгоритмів.

Робота присвячена проблемі доставки вантажів за умови ненадійності транспортних сполучень, яка належить до галузі транспортної логістики. Зокрема, ця проблема часто виникає при плануванні тилового забезпечення військ в умовах воєнних дій. Аналогічні завдання виникають і у цивільній сфері, коли надійність транспортних комунікацій не є гарантованою та може досить швидко змінюватись. У роботі побудовано математичну модель задач такого типу з критерієм мінімізації ризику втрат при доставці вантажу за наявності мінімальної інформації. Розроблено метод розв'язання задачі, що базується на застосуванні комбінації фрагментарного алгоритму та метаевристик. Для цього побудована фрагментарна модель задачі, СУБД для тестування та оцінки якості метаевристик.

Наукова новизна результатів, що були отримані, полягає в розробці фрагментарної моделі для пошуку субоптимальних рішень задачі доставки вантажів, що дозволяє відшукати припустимий розв'язок і, відповідно, отримувати значення критерію на цьому розв'язку.

ТРАНСПОРТНА ЛОГІСТИКА, ТРАНСПОРТНА ЗАДАЧА, НЕВИЗНАЧЕНІСТЬ, НАДІЙНІСТЬ ТРАНСПОРТНИХ МАРШРУТІВ, МІНІМАКСНИЙ КРИТЕРІЙ.

SUMMARY

Master's qualification work consists of three sections, 85 pages, 12 figures, 5 tables, and 53 sources.

The object of the study is the process of delivery of goods of various types.

The subject of the study are mathematical models and methods of optimization of cargo delivery.

The purpose of the work is to develop new methods for finding suboptimal solutions to cargo delivery problems based on a fragmented representation and to assess their quality.

Research methods are mathematical modeling, metaheuristic algorithms, computer implementation of algorithms.

The work is devoted to the problem of cargo delivery under conditions of unreliability of transport connections, which belongs to the field of transport logistics. In particular, this problem often arises when planning the rear support of troops in the conditions of military operations. Similar tasks arise in the civil sphere, when the reliability of transport communications is not guaranteed and can change quite quickly. In the work, a mathematical model of problems of this type with the criterion of minimizing the risk of losses during the delivery of cargo with minimal information is built. A method of solving the problem based on the application of a combination of a fragmentary algorithm and metaheuristics has been developed. For this purpose, a fragmentary model of the problem, a DBMS for testing and evaluating the quality of metaheuristics was built, and a comparative analysis of the quality of problem.

The scientific novelty of the obtained results lies in the development of a fragmentary model for finding suboptimal solutions to the cargo delivery problem, which allows finding an acceptable solution and, accordingly, obtaining the value of the criterion at this solution.

TRANSPORT LOGISTICS, TRANSPORT PROBLEM, UNCERTAINTY, RELIABILITY OF TRANSPORT ROUTES, MINIMAX CRITERION

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	4
SUMMARY	5
ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1 ПРОЦЕС ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ – ВАЖЛИВА ЗАДАЧА ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ.	11
1.1 Задачі транспортної логістики – рушійна сила економіки країни	11
1.2 Вантажоперевезення : класифікація, аналіз динаміки та обмеження.....	19
1.3 Критерії та показники оцінювання ефективності транспортної логістики на підприємстві.....	29
РОЗДІЛ 2 МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ.....	39
2.1 Огляд існуючих математичних моделей та методів оптимізації доставки вантажів	39
2.2 Підходи до пошуку оптимальних рішень на основі метаевристик.....	47
2.3 Фрагментарні структури і їх властивості для задач доставки вантажів.....	57
РОЗДІЛ 3 РОЗВ’ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА БАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАЦІЙ ФРАГМЕНТАРНОГО АЛГОРИТМУ ТА МЕТАЕВРІСТИК	66
3.1 Фрагментарна модель для задачі доставки вантажів	66
3.2 СУБД для тестування та оцінки якості метаевристик.....	72
ВИСНОВКИ	81
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	83

ВСТУП

Розвиток ринкової економіки сприяє підвищенню конкуренції та вимагає пошуку нових ніш розвитку. Логістична діяльність є невід'ємною частиною функціонування значної кількості українських підприємств та є передумовою сталого розвитку компанії. Транспортна логістика є однією із ключових складових логістичної системи підприємства, ключовим завданням якої є повноцінне задоволення потреб споживачів у перевезенні їх вантажів, до того ж ефективні транспортні системи забезпечують економічні та соціальні можливості та переваги, такі як краща доступність до ринків, зайнятість та додаткові інвестиції, разом з тим, транспорт впливає на такі економічні фактори як географічна спеціалізація, масштаб і сфера виробництва, посилена конкуренція, підвищена вартість землі і все це відбувається на фоні зростання вимог щодо необхідного рівня логістичного обслуговування та гнучкості логістичних послуг. Тому вкрай необхідним елементом сучасних логістичних проектів є залучення новітніх інформаційних та цифрових технологій, що відкриває шлях до індивідуалізації логістичних рішень відповідно до потреб кожного клієнта.

Оптимізація логістичних процесів є однією з ключових ланок підвищення рівня конкурентоспроможності підприємства та відбувається за допомогою дослідження логістичних процесів, визначення критеріїв та показників оцінювання ефективності логістики на підприємстві, їх аналізі, пошуку шляхів вирішення проблемних питань.

Вагомий внесок в розуміння та розвиток управління транспортною логістикою внесли українськи вчені Б.А. Анікін, В.Г. Банько, А.В. Лозовий, Л.Б. Миротіна, О.А. Новиков, М.А. Перебийніс, Б.В. Шабов та інші. В час стрімких змін суспільного розвитку вимагає перегляду система оцінювання ефективності транспортної логістичної діяльності [1-5].

Теорія логістики активно почала розвиватися лише у 20 столітті. Погляд на транспортну логістику в її сучасному вигляді сформувався у США [2,4]. Саме з середини 50-х років поняття «логістика» увійшло в економічну термінологію. Невід'ємною складовою логістичної системи є транспорт. Транспорт органічно вписується у різні економічні процеси (виробничі, торгові тощо). Тому транспортна складова бере участь у вирішенні багатьох завдань логістики. Таким чином існує досить самостійна транспортна область логістики, у якій багатоаспектна погодженість між учасниками транспортного процесу може розглядатися поза прямим зв'язком зі сполученими виробничо-складськими ділянками руху матеріального потоку [6-13].

Транспорт як галузь матеріального виробництва, здійснює перевезення людей та вантажів, і в структурі суспільного виробництва відноситься до сфери матеріальних послуг. При цьому він включає в себе не лише транспортні засоби різних видів та типів, але й транспортну інфраструктуру та підготовлений персонал.

Виділення транспорту в самостійну сферу логістики сприяли наступні фактори:

- неможливість управління матеріальними потоками без транспортування;
- здатність транспорту реалізовувати основну ідею логістики – створити систему, що надійно, стало та оптимально функціонує: „постачання – виробництво – розподіл – споживання”;
- необхідність рішення цілої низки транспортних проблем щодо вибору каналів розподілу сировини, напівфабрикатів та готової продукції в межах логістичної системи;
- наявність великої кількості транспортно-експедиційних підприємств, що відіграють значну роль в організації оптимальної доставки товарів, як у внутрішніх перевезеннях, так і в міжнародному сполученні;

– висока питома вага транспортних витрат у загальній сумі логістичних витрат, їх величина може сягати 50% і вище відсотків від загальних логістичних витратах на просування товарів від первинного джерела сировини до кінцевого споживача готової продукції;

– значна питома вага транспортної складової у зовнішньоторговельній ціні товарів (особливо для країн з великими відстанями перевезень);

Транспортна логістика, як складова частина загальної логістичної системи, допомагає вирішити три основних завдання цієї системи [5], а саме завдання пов'язані з:

а) формуванням ринкових зон обслуговування, прогнозом матеріалопотоку, обробкою матеріалопотоку в обслуговуваній системі (склад постачальника, споживача, підприємства гуртової торгівлі) й іншими роботами з оперативного управління і регулювання матеріалопотоку;

б) розробкою системи організації транспортного процесу (план перевезень, план розподілу виду діяльності, план формування вантажопотоків, графік руху транспортних засобів та ін.);

в) управлінням запасами і їх обслуговуванням транспортними засобами, інформаційними системами.

Математичні методи сучасної транспортної логістики почали розвиватися з початку 20 століття [13-18]. Сьогодні неможливо уявити себе задачі управління транспортними потоками без використання математичних моделей і методів, інформаційних систем. Математичні моделі транспортування розглядаються у роботах таких учених, як: О.Ю. Зайченко, Ю.П. Зайченко, О.М. Ісакова, О.М. Шевченка, С.І. Наконечного, С.С. Савіна.

Метою даної роботи є побудова нових методів пошуку субоптимальних розв'язків задач доставки вантажів на базі фрагментарного представлення та оцінка їх якості.

Щоб досягнути цю мету потрібно вирішити наступні важливі завдання:

- проаналізувати значення вантажоперевезень для розвитку економіки України;
- проаналізувати існуючі класифікації вантажоперевезень, видів вантажів і транспортних обмежень;
- ознайомитися з відомими моделями та методами розв’язання оптимізаційних задач вантажоперевезень;
- побудувати фрагментарні моделі для задач вантажоперевезень;
- побудувати методи пошуку субоптимальних розв’язків задач вантажоперевезень на базі фрагментарного представлення з використанням генетичного алгоритму, алгоритму імітації відпалу та алгоритмів локального пошуку.

Об’єкт дослідження – процес доставки вантажів різних типів.

Предмет дослідження – математичні моделі і методи оптимізації доставки вантажів.

Методи дослідження: математичне моделювання, алгоритми метаевристик, комп’ютерна реалізація алгоритмів.

Наукова новизна результатів, що були отримані, полягає в розробці фрагментарної моделі для пошуку субоптимальних рішень задачі доставки вантажів, що дозволяє відшукати допустимий розв’язок і, відповідно, отримувати значення критерію на цьому розв’язку.

Основні результати дослідження було представлено:

- на XVII Міжнародній науково-практичній конференції «Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях» 13-14 жовтня 2022 р. (м. Запоріжжя, ЗНУ);
- у збірнику наукових праць «Фінансові стратегії інноваційного розвитку економіки» № 2, 2022 (у друці).

РОЗДІЛ 1

ПРОЦЕС ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ – ВАЖЛИВА ЗАДАЧА ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ

1.1 Задачі транспортної логістики – рушійна сила економіки країни

Ефективне переміщення різних товарів і вантажів є важливим елементом для функціонування всієї комерційної торгової системи. Транспортні компанії відіграють ключову роль і повинні мати можливість адаптуватися до потреб споживачів і користувачів системи, а також доставляти різні вантажі неушкодженими. Логістика транспортування вантажів є важливим аспектом організації, яка надає послуги з вантажоперевезень. Роль логістики вантажоперевезень полягає в тому, щоб передбачити навіть найменші технічні деталі, починаючи від первинного запиту на замовлення і закінчуючи доставкою необхідного вантажу.

Вантажний транспорт – це вид транспорту, який призначений для переміщення вантажів з одного місця в інше і зазвичай використовується для переміщення продуктів, які призначені для комерційного продажу, хоча такі речі, як пошта, також можуть розглядатися як вантаж для транспортних цілей. Існує ряд різних видів вантажного транспорту, доступного як для фізичних осіб, так і для компаній, починаючи від служби доставки пакетів, що використовується для переміщення продукції від компаній до кінцевих споживачів, до служби доставки, яка перевозить цілі контейнери з продуктами з одного порту в інший [10].

Люди переміщали вантаж з місця на місце протягом тисяч років за допомогою різноманітних засобів. Можливість переміщувати комерційну продукцію між різними місцями і країнами полегшує торгівлю між громадами та націями, оскільки продукти, які можуть використовуватися однією спільнотою, відправляються з місця, де вони виробляються, на місце, де вони потрібні. Вантажі можуть включати все: від спецій до

автомобілів, призначених для кінцевих споживачів, а також основні компоненти, які будуть відправлятися виробниками з метою складання продукції. Вантажні перевезення збільшують вартість товарів, переміщуючи їх у місця, де вони коштують більше, і стимулює конкуренцію та виробництво, розширюючи просторові межі ринків товарів і праці. Вантажні перевезення також стимулюють попит на товари та послуги та надають роботу мільйонам людей.

Вантаж, також відомий як фрахт, відноситься до товарів або продукції, що транспортуються з одного місця в інше - водним, повітряним або наземним транспортом. Транспорт – це переміщення людей, тварин, товарів з одного місця в інше. Спочатку термін «вантаж» означав товари, які завантажуються на борт судна. Однак сьогодні вантаж використовується для всіх видів вантажів, включаючи ті, що перевозяться залізницею, мікроавтобусом, вантажівкою або контейнером [15].

Хоча вантаж означає всі товари на борту транспортного засобу, він не включає такі предмети, як сумки для персоналу, товари на сховищі, обладнання або продукти для підтримки транспортного засобу, що перевозиться на борту. Перевезення вантажів здійснюються переважно з комерційною метою, для чого перевізником видається авіа накладна, коносамент або інша квитанція.

Переїзд з дому та переїзд в інше місце може бути тягарем для тих, хто не має транспортних засобів, транспортування товарів, доставка товарів і перевезення вантажів є проблемою, якщо немає транспортної служби або транспортного засобу, який достатньо великий, щоб перенести всі ваші речі. Світ постійно змінюється, і інновації прогресують, щоб вирішувати проблеми людей, незалежно від того, наскільки вони великі чи маленькі. Вантажні перевезення роблять транспортування вантажів, доставку продукції та розповсюдження товарів зручними та легкими. Послуги вантажних перевезень є однією з найкорисніших послуг, які шукають, особливо той онлайн-ринок, який потребує розповсюдження та

доставки продукції, є тенденцією та все ще розвивається протягом останніх років.

Перевезення вантажів може здійснюватися наземним, повітряним або морським транспортом. Повітряний транспорт, як правило, є найшвидшим і може використовуватися для товарів, які потрібно переміщати в швидкій формі. Це також найдорожче, оскільки обслуговування та польоти вантажних літаків можуть бути досить дорогими. Наземний транспорт використовується для переміщення товарів у межах континенту або країни, причому вантаж переміщується поїздом або вантажівкою, тоді як морський транспорт використовується для переміщення вантажів через океан. Вантажі також можуть переміщатися між різними портами на одному континенті по морю, оскільки це може бути дешевшим або зручнішим, ніж транспортування цих вантажів наземним транспортом на дуже далекі відстані.

Природно, що вантажні перевезення залишаються важливим аспектом економіки будь-якої країни. Постачальники послуг вантажного транспорту повинні відповідально, ретельно та безпечно виконувати свої обов'язки.

Донедавна інформація як така не вважалася важливим активом підприємств. Управління розглядалося як індивідуальне мистецтво міжособового спілкування, а не як глобальний механізм координації діяльності учасників економічних процесів. Сьогодні лише деякі керівники можуть дозволити собі зневажливо ставитись до методів роботи з інформацією. У разі, коли зростає значення інформаційної складової довкілля підприємств, повноцінне їх існування стає неможливим без співіснуючих змін у всіх значимих сторонах їх життєдіяльності з погляду керованості та ефективності.

Система логістики підприємства є одним з найбільш складних і той же час добре функціонуючих механізмів, що поєднують різні елементів. Робота цього механізму без перерви багато в чому визначається точно

виміряною роботою кожного з його складових елементів, ключем до якого є бездоганність використовуваних методів та технологій, що, отже, визначає необхідність вивчення механізму логістики та системи кожному підприємстві. У світі відбувається стрімке зростання виробництва, розширення номенклатури товарів, вироблених різними підприємствами, створення складів, що, своєю чергою, впливає зростання товарообігу підприємства. Усе це підвищує роль логістики під управлінням підприємством. В даний час не можна уявити будь-яке торгове або виробниче підприємство, яке займається вирішенням завдань логістики. Таким чином, логістика у діяльності підприємства дозволяє оптимізувати товарні, фінансові та інформаційні потоки на підприємстві, а також, за словами Т. Аллегрі, «значно скоротити тимчасовий інтервал між закупівлею сировини та напівфабрикатів та доставкою товару». Готова продукція для споживача, сприяє різкому скорочення товарно-матеріальних запасів». Актуальність вивчення ролі логістики в управлінні підприємством обумовлена процесом глобалізації самого виробничого та товарного сектора, у зв'язку з чим зростає значення логістики на будь-якому підприємстві, оскільки значну частину витрат найчастіше становлять, наприклад, витрати на транспорт. Так, якщо підприємство з метою скорочення витрат на виробництво шукає найдешевші ресурси за межами країни, то цьому випадку значно підвищується частка витрат за логістику. У зв'язку з широтою та багатоаспектністю даної проблеми, необхідно комплексне вивчення функцій та цілей застосування системи логістики на підприємстві у кожному окремому конкретному випадку, що, таким чином, зумовлює актуальність дослідницької проблеми. Логістика є важливою роботою, яка розкриває широкі здібності з метою використання як людських, так і матеріальних ресурсів, які, у свою чергу, впливають на національне виробництво загалом. Логістичне управління значною мірою впливає на положення фінансово-економічного, а також законодавчого забезпечення в умовах сучасної ринкової економіки. Ця обставина

необхідна, насамперед, віднести до ринку автотранспортних послуг, установи господарства складу, формуванню автотранспортних служб у організаціях-посередниках. Тим не менш, робота в галузі логістики ніяк не обмежується Тільки даними тенденціями, вона є більш багатогранною.

Логістична робота, крім того, містить у собі діяльність з керівництву кадровим забезпеченням підприємства, торговельну діяльність, організацію систем інформації тощо. Особлива новизна підходу логістики в управлінні підприємством пов'язана з обмеженим взаємовідносинами всіх перерахованих сфер діяльності з метою формування гармонійно пов'язаних товаропровідних організаційних систем, при цьому легких в управлінні та виявляючи високий рівень ефективності у роботі. Практика високорозвинених країн в економічній сфері та великих підприємств в Україні показує, що логістика займає важливу нішу в бізнес-процесі сучасних підприємств. Ефективний розвиток різноманітних бізнес-процесів, їх здатність до конкуренції як на зовнішніх, і на внутрішніх ринках значною мірою визначається сформованою системою логістики підприємства та розвиненістю менеджменту логістики підприємства загалом.

Логістика є частиною процесу системи поставок підприємства, в яких ефективно планування, виконання та контроль над її головними етапами, містить у собі також і зберігання, і рух товарів та продукції вироблених підприємством. Крім того, логістична система підприємства включає в себе спрямованість пов'язаних із цим послуг та інформаційних потоків з місця постачання аж до кінцевого споживача, із здійсненням усіх вимог клієнта.

Транспорт є однією з головних складових логістичної системи підприємства, оскільки жодна організація неспроможна належним чином функціонувати без послуги доставки готових товарів та виробленої продукції споживачам. Дії в галузі логістики управління ресурсами дозволяє забезпечити високий рівень пристосованості підприємства та

витрати часу на реорганізаційний процес або процес виробництва відповідно до зовнішніх факторів впливу. Взаємодія різних компонентів логістичної системи підприємства проводиться відразу на кількох рівнях: фінансовому, економічному, промисловому тощо. Застосування логістичної системи дозволяє прискорити процедуру отримання інформаційних даних та збільшує рівень обслуговування виробничого циклу.

Для системи логістики є справедливим закон Парето. Так, у відповідно до цього закону, у процесі логістичних послуг 80% затримок є результатом менше 20% дій. При цьому вирішенням проблем затримок у логістиці є: знаходження 20% дій; скорочення часу виробничого циклу на 80%; забезпечення своєчасності поставок на рівні 99%. Введення у процес логістики управління підприємством принципу «точно вчасно», який активно застосовується в дбайливому виробництві, дозволить досягти, по-перше, виключення втрат на етапі виробництва, надлишку запасів продукції та часу очікування, по-друге дозволить значно знизити витрати та собівартість товарів, і, нарешті, по-третє, підвищити якість сервісу логістики підприємства. В даний час підприємства, що перейшли на організацію системи виробничого циклу відповідно до логістичними принципами, можуть раціональним чином організувати цикл виробництва підприємства, виробляти закупівлю матеріалів та сировини, відбирати постачальників, а також самостійно організовувати виробничі процеси.

У зарубіжній літературі поняття логістики найчастіше пов'язане із плануванням як основною функцією управління. Американські вчені вважають логістику структурою планування. Вони визначили логістику насамперед як механізм економії витрат. Рада логістичного менеджменту (Council of Logistics Management - CLM), наприклад, визначила логістику як «процес планування, впровадження та контролю раціонального та ефективного руху товарів, послуг та пов'язаної з цим інформації від

вихідної точки до кінцевого споживача з метою задоволення вимог клієнта».

Англійські вчені, наприклад, показали основні напрями діяльності логістики, що охоплює дослідження та прогнозування ринку, планування виробництва, закупівлю сировини, матеріалів та обладнання, включає контроль запасів та ряд операцій товароруху, а також вивчення обслуговування покупців.

Ряд зарубіжних учених стверджує, що логістика – це планування, організація та контроль усіх видів діяльності, що забезпечують проходження матеріального та пов'язаного з ним інформаційного потоку від пункту закупівлі сировини до пункту кінцевого споживання. Логістика дозволяє оптимізувати потоки продукції та інформації всередині та поза підприємством. Логістика є комплексним плануванням і керуванням потоками матеріалів, запасних частин і готової продукції, включаючи необхідний інформаційний потік, з метою мінімізації загальних витрат. Логістика - це координація всіх видів діяльності, які сприяють руху та координації попиту та пропозиції на товари у певному місці та в заданий час. Логістика актуальна у будь-якому напрямку використання. Поєднання та використання у господарській практиці сучасних досягнень, наприклад, трьох об'єктивно взаємопов'язаних наук (логістики, маркетингу та кібернетики) дозволяє отримати максимальний ефект оптимізації потокових процесів.

Логістика не обмежується традиційними областями її застосування, наприклад транспортна, виробнича, постачальницька, розподільна тощо. У літературі з'явилися роботи з логістики у сфері сервісу, інформації, програмування та інших галузях діяльності. З розвитком послуг виникає необхідність оптимізації потоків, що мають місце в сервісному бізнесі. Виділення сервісної логістики позначило торговельний, медичний, освітній, ресторанний, побутовий, рекреаційний та інші напрями. Доцільність такого виділення обґрунтовується глибиною та необхідністю

проникнення логістичних принципів в управління тим чи іншим сектором економіки. Найшвидше розвивається рекреаційна логістика, оскільки рівень рекреаційного сектора послуг багато в чому визначає розвиток тієї чи іншої регіону. Тому виділяються такі рекреаційні потоки, які потребують управління на логістичній основі: інформаційний, транспортний, зумовлений розміщенням, рекреаційний, пов'язаний з харчуванням та маршрутний (екскурсійний, туристичний). Таким чином, логістика знаходить місце у найрізноманітніших галузях та сферах діяльності, є необхідною для досягнення та утримання конкурентоспроможності суб'єктів ринку та пропонованих ними товарів та послуг.

Будь-яке підприємство для аналізу проблем, прийняття рішень, контролю операцій, створення нових продуктів чи послуг потребує інформації.

Щоб отримати інформацію, необхідну для успішного функціонування підприємства, потрібно зібрати дані, передати їх на обробку, привести їх у форму, зручну для подальшого використання, та передати користувачам отримані результати. Користувачі можуть уточнювати, які дані потрібно збирати, а також скоригувати методи їх обробки з погляду повноти, достовірності та форми представлення результатів. Якісні постачальники вантажних послуг повинні зосереджувати увагу на мінімізації випадків обробки вантажів. Це не тільки забезпечує безпеку вантажу, а також зводить до мінімуму ризик втрати або пошкодження внаслідок пожежі або крадіжки. Вантажні перевезення також дозволяють швидше переміщувати вантаж. Він залишається важливою ланкою в усьому ланцюжку поставок товарів. Він зв'язує виробників із споживачами. Тому не дивно, що комерційні підприємства неминуче вибирають своїх партнерів з вантажних перевезень з належною ретельністю та уважністю.

1.2 Вантажоперевезення : класифікація, аналіз динаміки та обмеження

Попит на транспортні послуги продовжує зростати, за прогнозами експертів майбутньому вимоги до транспортної системи країни, а також окремих регіонів, тільки збільшуватимуться. Незважаючи на це в управлінні транспортними системами існує набір глобальних системних проблем, вирішення яких досі не запропоновано. Збереження поточної ситуації може призвести до уповільнення зростання економіки України, ослаблення конкурентності на світових ринках експорту/імпорту, і може призвести до відставання у розвитку окремих секторів виробництва, зокрема транспортного. Тому завдання транспортної забезпеченості при підвищенні вантажопотоку та швидкості виконання логістичних операцій та функцій при вантажоперевезеннях, так само, як і завдання оптимізації ефективності транспортно-логістичних компаній та експедиторів стають високо пріоритетними та стратегічно важливими у розвиток країни. Логістична функція – це сукупність операцій та дій, вкладених у перетворення матеріального потоку. Слід виділити логістичні функції, що є основними:

- інтегруюча функція - призначена для формування процесу пересування вантажу у межах єдиної транспортної системи;
- організуюча функція – служить для забезпечення взаємодій та погодження дій та операцій усіх учасників логістичного процесу;
- керуюча функція – спрямована на підтримання умов та дотримання параметрів транспортно-логістичної системи у встановлених межах.

До функції транспортно-логістичної системи належить:

- а) інтеграція різних функцій та господарських зв'язків з потребами в перевезеннях як пасажирських, і вантажних;
- б) координування процесів управління поставками та доставки, транспортування вантажів;

в) кооперація та інтеграція управління рухом товарів та вантажопотоків за рахунок використання складів різних транспортних компаній та фірм з різних галузей;

г) розвиток та вдосконалення управлінських функцій, а також їх раціональне розподілення серед усіх учасників транспортного;

д) організація роботи програмно-визначуваних транспортних систем – поділ процесів передачі та управління даними, централізація управління процесами за допомогою уніфікованих програмних засобів, віртуалізація фізичних мережевих та транспортних ресурсів. Виділяють три основні групи функцій, що застосовуються для логістичного управління:

е) планування процесу та координація роботи учасників транспортно – логістичного процесу;

є) регулювання процесу робіт і під час замовлення;

ж) контроль та управління пересуванням матеріальних та інформаційних потоків

У процесі виконання функцій планування та координації роботи формуються плани та графіки пересування матеріальних та інформаційних потоків, відбувається інтеграція з локальними планами окремих підрозділів, розробляються глобальні цілі управління та визначаються критерії оцінки ефективності досягнення цілей, здійснюється координація всіх видів робіт підрозділів компаній для виконання поставлених планів та графіків робіт. При регулюванні процесу контролюється пересування матеріальних потоків, з можливістю оперативного вжиття заходів у разі виникнення порушень поставлених планів та графіків, а також проводиться погодження дій усіх відділів та департаментів, які несуть відповідальність за рух матеріальних та супутніх ним потоків, відпрацьовуються плани дій у разі ліквідації можливих порушень. Для реалізації функцій управління та контролю, потрібна оцінка ступеня забезпечення підприємства товарами та матеріалами, а також параметри ефективності використання, проводиться аналіз усіх витрат, пов'язаних з

рухом товарів та вантажів, проводиться розробка рішень для підвищення рівня ефективності логістичного та транспортного управління. До досягнень науково-технічного прогресу в галузі інформатики та цифрових технологій, що дозволяють реалізовувати методику логістичного управління, відносять:

Цифровізація процесів управління логістикою, а саме:

- впровадження у процеси та використання цифрових та комп'ютерних засобів керування;
- розробка програмного забезпечення та інформаційних систем, що дозволяють в автоматичному режимі виконувати функції планування, прогнозування та прийняття управлінських рішень.

Розвиток технологій та засобів, що використовуються при передачі інформації та даних:

- розробка нових стандартів передачі;
- створення сучасного обладнання та ПЗ для приймання-передачі цифрової інформації.

Дані результати надають можливість контролю над усіма етапами руху вантажів, комплектуючих та сировини, що дозволило чітко виявити проблемні місця, що призводять до неефективності у існуючих схемах управління вантажопотоками. У свою чергу, дані результати надали необхідну інформацію та вимоги для розробки нових, більш ефективних способів організації та управління рухом транспортних потоків. Було подолано безліч проблем на шляху впровадження в Україні інтелектуальних транспортних систем (ІТС). Для того, щоб правильно розуміти основу цифровізації транспортних засобів процесів необхідно правильне розуміння властивостей та параметрів управління ІТС. Проблеми у розумінні процесу роботи та управління інтелектуальними транспортними системами залежать від постановки задач з автоматизації, визначенні ролі цифровізації та інтелектуалізації в управлінні транспортні системи. Також можна зазначити, що у питаннях створення ІТС ще не було

зроблено достатньої кількості помилок, оскільки область досліджень все ще активно розвивається, тому кількість прикладів успішного впровадження дуже мало. Інтелектуальні транспортні системи утворюються на стику інтелектуальних інформаційних технологій та транспортної галузі, та включають моделювання транспортних потоків, інформаційні системи та системи управління рухом транспорту. Розуміння сутності інтелектуальних транспортних систем визначає ключові цілі щодо їх розроблення та впровадження, до яких можна віднести:

- забезпечення більшої інформативності та безпеки руху;
- створення та забезпечення принципово нового рівня цифрового та інтелектуальної взаємодії всіх учасників дорожньо-транспортної руху.

При дослідженні світового досвіду застосування ІТС на сході в Японії та Китаї, як і на заході їхні американські колеги, при розробці рішень продумують функціональні частини системи та стежать насамперед за реалізацією вимог у цій галузі. На вітчизняному ринку дослідники та розробники в галузі транспортних та інтелектуальних систем працюють з об'єктно-орієнтованим поданням та постановкою завдань, що призводить до фокусування на методах забезпечення працездатності систем.

Тому однією з найбільш глобальних проблем під час проектування інтелектуальних інформаційних систем полягає у перевазі об'єктів та інфраструктури над їх сервісами та функціональністю. Щоб реалізувати поставлені перед інтелектуальними транспортними системами мети, тобто підвищити безпеку, інформативність та доступність транспортного забезпечення та синхронізувати взаємодію різних видів транспорту, необхідно провести функціональну декомпозицію, основі якої можна перейти до реалізації цілей у вигляді функціональності особливостей ІТС. Для того щоб визначити різницю у розумінні сутності та предмета ІТС, достатньо сформулювати наступне питання: чи зможе інфраструктура та встановлене обладнання забезпечити реалізацію цілей, поставлених перед ІТС? А саме підвищити транспортну безпеку, надати більшу

інформативність та покращити міжтранспортну взаємодію. Щоб відповісти на це питання недостатньо одних лише знань про параметри та характеристики обладнання та серверів. Необхідно розібратися в функціональні особливості системи, на основі яких можливо провести оцінки працездатності функціоналу інтелектуальних транспортних систем та їх перспектив у сукупності з останніми науково-технічними досягненнями із суміжних та пов'язаних з транспортом галузей. Завдання вибору функціональних частин ІТС залежить від правильної постачання кінцевих цілей, які планується отримати. До роботи з технічним рівнем та обладнанням інфраструктури ІТС можливе лише тільки після вибору генеральної методології та концепції рішення позначеного ряду функціональних завдань.

Донедавна інформація як така не вважалася важливим активом підприємств. Управління розглядалося як індивідуальне мистецтво міжособового спілкування, а не як глобальний механізм координації діяльності учасників економічних процесів. Сьогодні лише деякі керівники можуть дозволити собі зневажливо ставитись до методів роботи з інформацією. У разі, коли зростає значення інформаційної складової докільля підприємств, повноцінне їх існування стає неможливим без співіснуючих змін у всіх значимих сторонах їх життєдіяльності з погляду керованості та ефективності.

Будь-яке підприємство для аналізу проблем, прийняття рішень, контролю операцій, створення нових продуктів чи послуг потребує інформації.

Щоб отримати інформацію, необхідну для успішного функціонування підприємства, потрібно зібрати дані, передати їх на обробку, привести їх у форму, зручну для подальшого використання. та передати користувачам отримані результати. Користувачі можуть уточнювати, які дані потрібно збирати, а також скоригувати методи їх

обробки з погляду повноти, достовірності та форми представлення результатів.

Система вантажних перевезень, що добре функціонує, є одним з найважливіших елементів будь-якої успішної економіки. Тим не менш, на початку нового тисячоліття було зроблено передбачення про те, що попит на рух товарів випереджатиме темпи удосконалень фізичної інфраструктури. Помітне зростання чутливих до часу ринків вантажних перевезень підвищує податкові вимоги до системи, яка вже експлуатується в деяких областях поблизу потенційних споживачів.

Основні проблеми та завдання, що впливатимуть на вантажні планування та матеріально-технічного забезпечення у майбутньому, включають:

- а) вимоги до вантажних перевезень та логістичних послуг, а також можливість фізичної та інформаційної інфраструктури для задоволення цих потреб;
- б) роль ціноутворення дорожнього руху у міських вантажних перевезеннях;
- в) вплив інформаційних технологій на рух товарів;
- г) нові розробки у сфері матеріально-технічного забезпечення.

Вантажної транспортна система в наш час перебуває в процесі розробки нових парадигм операцій та планування. Ця ситуація є наслідком комбінації факторів. По-перше, існує дуже великий попит на внутрішні і міжнародні вантажоперевезення. На внутрішньому ринку, споживання товарів збільшується в міру нових верств населення, які користуються більш ефективним способом доходу. На міжнародному рівні, асоціація України з країнами ЄС значно збільшили потік товарів і виробів, що ми можемо спостерігати глянувши на полицки магазинів. Це різні продукти харчування, напої, алкоголь та ін. Водночас збільшився тиск на підвищення економічної конкурентоспроможності внаслідок економічного об'єднання Європи та потужних азійських економік. Існуючі тенденції

розвитку міжнародних економічних відносин мають значний вплив на функціонування транспортної системи країни. Розвиток міжнародного ринку виробництва продукції передбачає інтеграційні процеси, а це, своєю чергою, стимулює розвиток національних транспортних систем та формування міжнародного ринку транспортних послуг. Виникає необхідність посилення координації та взаємодії між різними видами транспорту, і навіть задоволення потреб споживачів з якості обслуговування, запровадження логістичних принципів управління діяльності транспортних підприємств. Існують деякі фактори, які пояснюють необхідність використання логістичного підходу при організації вантажоперевезень (рис. 1.1).

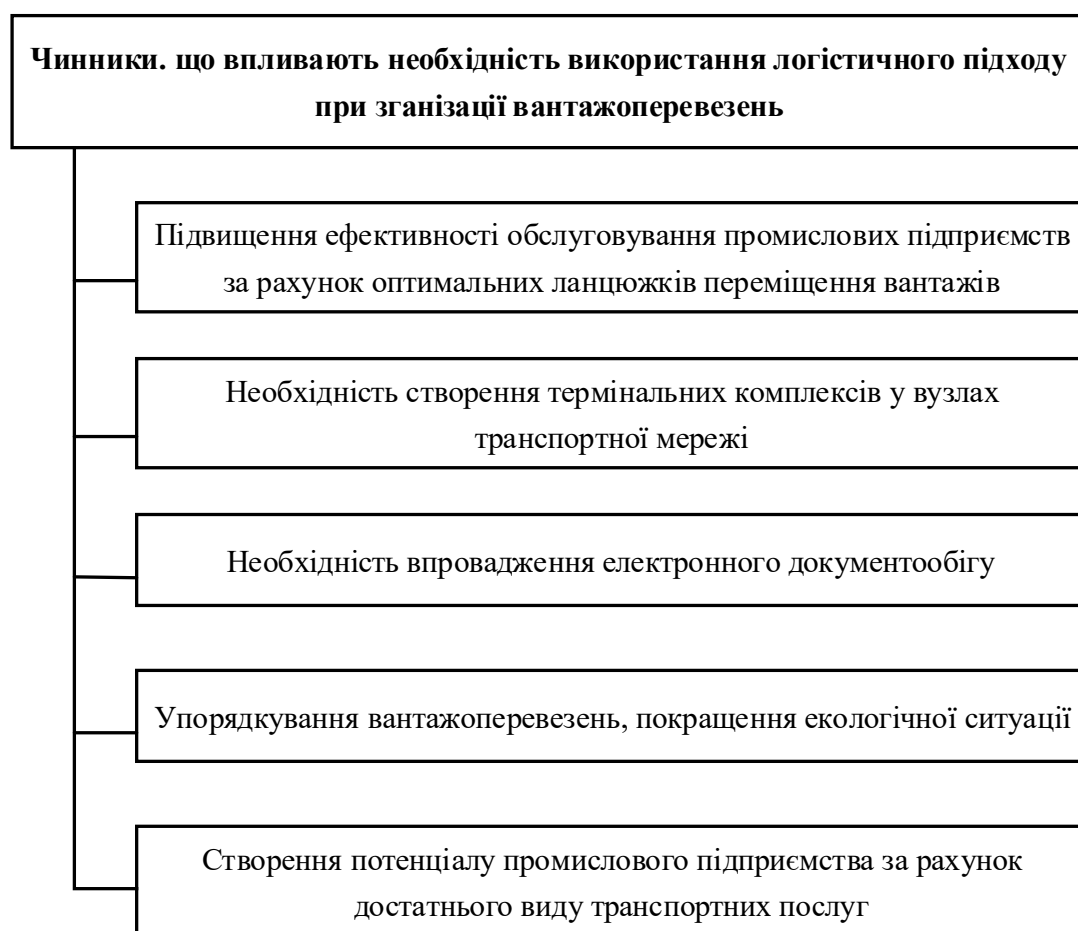


Рисунок 1.1 – Фактори, що впливають на необхідність використання логістичного підходу при організації вантажоперевезень

На існуючому етапі розвитку логістичних технологій вирішуються завдання щодо оптимізації транспортних, складських та розподільних процесів на промислових, транспортних та торгових підприємствах. Транспортні процеси є складовою частиною системи логістичного управління підприємством, тому від швидкості, потужності та безпеки проходження матеріально-інформаційних потоків за логістичним ланцюжком залежить ступінь задоволення споживачів, прибуток та оборотність коштів. Ефективність функціонування транспортно-логістичних систем залежить від рівня використовуваних технологій, програмного забезпечення та способів організації інформаційних потоків.

Багато підприємств у цих умовах переглядають існуючі методи управління транспортно-логістичними системами, намагаються впроваджувати нові інформаційні системи управління. Потрібно враховувати, що на даному етапі найбільш універсальною формою взаємодії у транспортно-логістичній системі є єдині технологічні процеси. Рациональне застосування технологій комплексного використання транспортно-логістичних систем дасть можливість стимулювати розвиток технологій перевезень вантажів, підвищити ефективність роботи всіх учасників, удосконалити технології перевезень, технічне оснащення та фінансову стабільність.

Використання нової системи управління вантажопотоками, яка буде включати сучасні технології та логістичні засади, сприятиме інтеграції транспортного комплексу країни у міжнародні транспортно-логістичні системи, що дозволить стимулювати інвестиційну активність, поліпшити економічний розвиток регіонів. Україна, за рахунок свого географічного розташування, є транспортно-логістичним коридором, який поєднує Захід та Схід, регіони Чорноморського узбережжя з країнами Балтійського моря. Щорічно через територію країни транспортується велика кількість європейських вантажів, значна частина з них - це вантажі між країнами близького сходу та Європейського союзу. Тому можна обґрунтовано

утвердити, що Україна – це визнана транспортна ланка євразійського регіону, що у повному обсязі забезпечує оперативність та безпеку транзиту. Основними видами транспорту, якими надаються послуги, є залізничний, автомобільний, повітряний, річковий та трубопровідний. Транспортна система України є сукупністю транспорту автомобільного, залізничного, наземного та підземного міського електричного, повітряного, водного та інших видів транспорту. До цієї структури належать лише транспортні засоби та транспортні підприємства, а також транспортні комунікації (автомобільні дороги, залізничні колії, повітряні траси, водні колії, термінали тощо), а також інші організації та служби, що забезпечують функціонування транспорту. Головним завданням транспортної системи в умовах конкурентного середовища є створення системи управління та бізнес нового типу, яка вирішити і допомогти подолати недоліки колишньої командно-планової та забезпечення зростання ефективності господарювання. Один з основних тенденцій розвитку транспортної системи стало продовження процесу цифровізація як державних контролюючих органів, так і бізнесу в сфері транспорту и логістики. Недостатнє впровадження електронного документообороту, тривалість процедури документарного, митного оформлення вантажів, необхідність у забезпеченні доступності та конкурентоспроможності транспортних послуг для вантажовласників - все це послужило початком для формування і впровадження механізму інноваційного транспортного експедиції та логістики. Очевидно, що досягнення заданої цілі залежить від удосконалення транспортної інфраструктури країни і логістичної мережі України. Тому менш важливим аспектом залишається формування конкурентних переваг у цій сфері, де цифровізація транспортної галузі є невід’ємною складовою ефективного управління.

У сучасному світі перевезення вантажів та пасажирів є фундаментальними в економічній системі кожної держави. Дуже важливо не просто здійснити перевезення або доставку, необхідно дотримуватися

якості цього процесу. Основна роль цьому відводиться транспортної логістиці. Історично, логістика застосовувалася для військових операцій, і лише надалі її сильний вплив відчувається через функції виробництва, розподілу та споживання. Раніше транспортна логістика більше використовувалася при перевезенні вантажів, проте сьогодні актуальним є також перевезення пасажирів. Розвиток транспортної логістичної системи держави робить її конкурентоспроможним на транспортному ринку. Управляти цим процесом досить непросто, це вимагає особливого вивчення географічного розташування сполучних точок, а також економічної доцільності цього проекту.

Логістика включає широкий спектр заходів, присвячених перетворенню та обігу товарів, таких як матеріально-технічне постачання виробництва, обмін та зв'язок потоків інформації, зручність перевезення пасажирів. Мета логістичної діяльності вважається досягнутою, якщо виконано основне правило, потрібний продукт необхідної якості доставлений з необхідним рівнем витрат потрібному споживачеві у необхідній кількості, у потрібний час та у потрібне місце. Особливого значення набуває концепція логістики у зниженні транспортних витрат. Завдання мінімізації витрат за транспортування підприємство може вирішити за умови раціонального використання всіх видів транспорту з організацією перевезень своїх вантажів. Актуальність проблеми підтверджується тим, що підприємства, які успішно працюють у умовах ринку, велику увагу приділяють організації роботи суб'єктів господарської діяльності, що входять до складу підприємства. Зниження транспортних витрат досягається за оптимального використання різних видів транспорту: промислового залізничного та автомобільного для перевезень усередині підприємства та всіх видів транспорту для перевезень за межами підприємства. У цьому випадку необхідно, щоб вантаж відповідав вимогам ефективного та швидкого навантаження з одного виду транспорту на інший. Тому слід приділяти увагу таким етапам перевізного процесу, як

завантаження вантажів, їх сортування, складування і засоби механізації, що використовуються при цьому. У логістичному ланцюжку перевезення пасажирів важливим є правило: «від дверей до дверей» з використанням транспортних засобів, що забезпечують раціональний час знаходження в дорозі та мінімальні витрати на організацію руху. Розвиток логістики пасажирських перевезень дозволяє скоротити час на переміщення і пасажир готовий платити задоволення своїх потреб у максимально комфортних умовах.

Таким чином, потрібне створення такого механізму управління транспортною системою держави, який дозволить оптимізувати параметри перевізного процесу при мінімумі витрат та забезпеченні заданого рівня якості перевезень з урахуванням логістичних принципів. Також необхідна розробка управлінської моделі для окремого регіону на основі інтеграції транспортних об'єктів та маркетингових досліджень. Такий підхід до управління зовнішньою транспортною системою держави дозволить оптимізувати витрати усієї системи, виробити критерії необхідності залучення інвестицій, необхідні оновлення основних фондів транспорту, дозволить удосконалити механізм взаємодії з логістичними посередниками. Більш того, необхідні продумані процедури планування та контролю перевезень, ув'язування їх із технологічним циклом підприємства.

1.3 Критерії та показники оцінювання ефективності транспортної логістики на підприємстві

Оцінка ефективності перевезень відноситься до оцінки ефективності транспортної діяльності або транспортного процесу. Як правило, це відповідає єдиним критеріям оцінювання, приймаючи певну систему індексів, за певними процедурами, використовуючи якісні та кількісні методи, роблячи всебічне судження щодо певного періоду часу

транспортної діяльності або ефективності та ефективності процесу. Оцінка ефективності транспорту - це основні кроки для підприємств логістики та інших пов'язаних з ними підприємств. За допомогою оцінки ефективності перевезень логістичні підприємства можуть оптимізувати процес, покращити економічну вигоду [24].

Процес перевезення вантажів стосується великої кількості учасників транспортного процесу й повинен розглядатися комплексно на основі технології, погодженої всіма сторонами й базованої на нормативних документах або результатах інженерної підготовки перевезень. Вартісні й деякі натуральні показники можуть характеризувати зміни, які виникають як в окремо взятих системах перевезення, виробництва, збереження, споживання, так і сумарно. Одним з головних аспектів є критерії ефективності доставки товару. Його вибір залежить від конкретних умов перевезень і розв'язуваного завдання. Народногосподарська ефективність процесу доставки залежить від багатьох факторів, що ускладнюють визначення критерію оптимальності в загальному вигляді. Рішення завдань організації раціональної взаємодії процесів систем виробництва, матеріально-технічного постачання й споживання із процесами на транспорті й взаємодія окремих видів транспорту викликає необхідність розгляду цілісних інтегрованих транспортно-технологічних систем. При цьому забезпечується більш висока загальна ефективність у порівнянні із сумарною ефективністю частин, взятих окремо. Економічна ефективність транспортного процесу оцінюється локальними й комплексними, натуральними й економічними показниками, а також показниками позатранспортного ефекту. Локальні критерії ефективності застосовують, якщо порівнювані варіанти перевезень відрізняються по одному, окремо взятому показнику. Комплексні показники ефективності застосовують тоді, коли проведені заходи одночасно змінюють кілька характеристик транспортного процесу. У якості локальних або часткових показників ефективності досить часто використовують технологічні параметри

транспортного процесу. Більшість вчених за критерій оптимізації приймають мінімальні витрати, хоча в окремих випадках пропонується максимізувати обсяги, прибуток. Проте в умовах змінного попиту мінімізація витрат не дає повної картини успішності функціонування системи [25].

Транспортна логістика, як складова частина загальної логістичної системи, допомагає вирішити три основних завдання цієї системи, а саме завдання пов'язані з:

- формуванням ринкових зон обслуговування, прогнозом матеріалопотоку, обробкою матеріалопотоку в обслуговуваній системі (склад постачальника, споживача, підприємства гуртової торгівлі) й іншими роботами з оперативного управління і регулювання матеріалопотоку;

- розробкою системи організації транспортного процесу (план перевезень, план розподілу виду діяльності, план формування вантажопотоків, графік руху транспортних засобів та ін.);

- управлінням запасами і їх обслуговуванням транспортними засобами, інформаційними системами [26].

Виходячи із завдань транспортної логістики, також можна визначити основні критерії ефективності транспортної логістики (табл. 1.2).

Ключову роль у виборі способу перевезення відіграють витрати та час доставки. Оскільки витрати є критерієм оцінки для визначення оптимальної технологічної схеми перевезень, не можна не врахувати факт залежності витрат зі строком доставки вантажу. Зі збільшенням або з меншенням терміну доставки транспортні витрати також змінюються. До того ж, час доставки є одним з основних показників, оскільки визначає новітні логістичні концепції, де час відіграє ключову роль.

З іншого боку, про надійність обраної схеми перевезення свідчить саме транзитний час. Крім того, скорочення часу доставки зазвичай дає підприємству значні конкурентні переваги на ринку збуту готової продукції.

Тому варто встановити узагальнюючим параметром термін здійснення доставки вантажу.

Таблиця 1.2 – Основні критерії ефективності транспортної логістики

Показник	Метод розрахунку	Пояснення
Завантаженість транспортних потужностей	$\frac{\text{Фактичне завантаження потужностей}}{\text{Нормативне завантаження потужностей}} * 100$	Показник характеризує фактичну завантаженість транспортних потужностей та відображає, наскільки ефективно підприємство використовує транспортні засоби
Рентабельність каналів збуту	$\frac{\text{Сума валового прибутку}}{\text{Сумарні витрати на реаліз. прод.}} * 100$	Показник відображає, наскільки прибутковим є транспортна логістика підприємства
Надійність поставки	$\frac{K - \text{ть вчасно виконаних замовлень}}{\text{Загальна кількість замовлень}} * 100$	Є одним з основних показників якості роботи транспортного підприємства та є одним з вирішальних факторів у виборі перевізника клієнтом
Зведені народногосподарські витрати	$E_1 + k_n + E_2$ де E_1 – експлуатаційні витрати, k_n – нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень, E_2 – капітальні вкладення в постійні пристрої, рухомий склад, вантажну масу.	Показник відображає суму поточних витрат і капіталовкладень в транспортну складову
Продуктивність транспортного засобу	$\frac{T * g * k}{\frac{2L}{V} + t}$ де T – тривалість зміни (8 год), g – вантажопідйомність автомобіля, т; k – коефіцієнт використання автотранспорту за зміну, L – середня дальність перевезення вантажу, км; V – середня швидкість руху, км/год; t – час простою транспорту під навантаженням та розвантаженням	Показник відображає суму поточних витрат і капіталовкладень в транспортну складову

Також серед комплексу критеріїв, які використовуються при вирішенні задач організації перевезень, найбільший інтерес представляють:

- доставка вантажу “точно в строк”;
- тривалість доставки вантажів;

- витрати на перевезення вантажу;
- продуктивність транспортних засобів;
- продуктивність навантажувально-розвантажувальних механізмів;
- енергосмність транспортно-технологічних операцій;
- енергомісткість перевезень;
- питома трудомісткість комплексу транспортно-технологічних операцій;
- собівартість перевезень;
- прибуток від перевезень [27].

Доставка вантажу “точно в строк” характеризується задоволенням вимог споживачів на перевезення вантажу за запланований час. Це досягається раціональною погодженістю роботи транспорту й систем, які обслуговують і споживають транспортну продукцію, тобто послугу. Критерієм виступає фактичний час доставки вантажів, який повинен бути меншим за час визначений у договорі на перевезення вантажу. Фактичний час доставки впливає на довжину періоду обороту матеріальних ресурсів. Зменшення його дозволяє звільнити частину матеріальних ресурсів для подальшого виробничого використання. І все -таки обраний для конкретних умов завдання (визначення раціонального варіанту організації доставки) критерій оптимізації повинен відображати кінцеві результати виробничої діяльності. Для перевізника первинне значення має собівартість доставки. Одним з найважливіших критеріїв з погляду споживача транспортних послуг виступають сумарні витрати на доставку продукції від складу постачальника до складу споживача, тобто приведені витрати по всьому логістичному ланцюгу. Отже, в якості критерію оптимальності частіше обирають собівартість перевезення. Собівартість перевезення є загальним показником роботи транспорту і являє собою витрати на виконання одиниці транспортної продукції. Автори в [28] як критерій ефективності транспортної логістики запропонували зведені народно-господарчі витрати.

Деякі автори стверджують, що критерієм ефективності повинна виступати максимізація прибутку. Однак, такий підхід може бути орієнтований на зміну тарифної політики та збільшення обсягу реалізації послуг без впровадження раціональних технологічних заходів. В роботі [29] критерієм ефективності функціонування автомобільного транспорту у логістичній системі обрано показник, що враховує співвідношення прибутку та доходу з використанням енергетичного підходу при визначенні складових частин цих характеристик.

У роботі [30] запропоновано в якості критерію вибору схеми доставки використовувати питомі витрати, що відносяться до виконаної транспортної роботи. Цей показник можна застосовувати при значних відстанях перевезення, які порівняно близькі за значенням для альтернативних схем. В іншому випадку заздалегідь зрозуміло, що раціональною схемою доставки виявиться та, де значення відстані перевезення найбільше, а це обумовлює погіршення і інших технологічних параметрів, наприклад, часу доставки, нераціональне використання рухомого складу та ін. При виборі оптимальних маршрутів за критерієм сумарних транспортних витрат враховуються витрати на транспортування взагалі, але це не дає суб'єктам доставки повної інформації про час доставки вантажу [31].

Оскільки експлуатаційні витрати при доставці вантажу мають найбільшу частку, то зі збільшенням партії відправки сумарні витрати мають тенденцію збільшення. Загалом запропонований критерій має переваги, проте найбільш доцільним є застосування питомих витрат. Для вибору оптимального виду сполучення в роботі [32] автором запропоновано в якості критерію ефективності сумарні витрати, що враховують загальні витрати замовника транспортної послуги, пов'язані з витратами на доставку та з забезпеченням якості обслуговування замовника. Проте такий критерій враховує лише інтереси вантажовласника, не враховує розмір партії відправки та конкурентні переваги окремих транспортно-технологічних схем. В [33] запропоновано критерій ефективності взаємодії РРЦ та

вантажовласників, що являє собою інтегрований сумарний ефект від скорочення витрат на перевезення, від скорочення термінів доставки вантажів, внаслідок чого відбувається зменшення тривалості циклу обороту капіталу у вантажовласників, від збільшення надходжень коштів в бюджет за рахунок скорочення термінів доставки вантажів. Однак цей критерій не враховує ризиків, що характерні для ринкових ситуацій, особливо при взаємодії окремих підсистем.

Також для оцінки причин незадоволеності споживачів якістю транспортно-експедиційного сервісу слід розглянути гар-модель Зейтгамла. Ця модель описує шлях реалізації очікувань покупців щодо якості транспортного сервісу та причини можливого незадоволення (рис. 1.2).

На схемі рис. 1.2 виділено п'ять причин і відповідних рівнів виникнення незадоволеності клієнта в якості транспортно-логістичного обслуговування при організації вантажних перевезень. Таким чином, виділяємо п'ять «розходжень».

Гар 1 – розходження (розрив) між очікуваннями якості транспортно - логістичного сервісу у споживача і сприйняттям цих очікувань логістичним менеджментом компанії;

Гар 2 – розходження між сприйняттям очікувань клієнтів логістичним менеджментом компанії і специфікаціями, що визначають якість транспортно-логістичного сервісу;

Гар 3 – розходження між стандартами специфікації якості обслуговування та фактичною «доставкою» логістичних послуг;

Гар 4 – розрив між якістю наданих послуг та зовнішньою інформацією про цю якість, зазвичай через маркетингові комунікації;

Гар 5 – розрив між сформованими очікуваннями споживачів відносно якості сервісу та фактично отриманим сервісом і відповідно його сприйняттям [34].

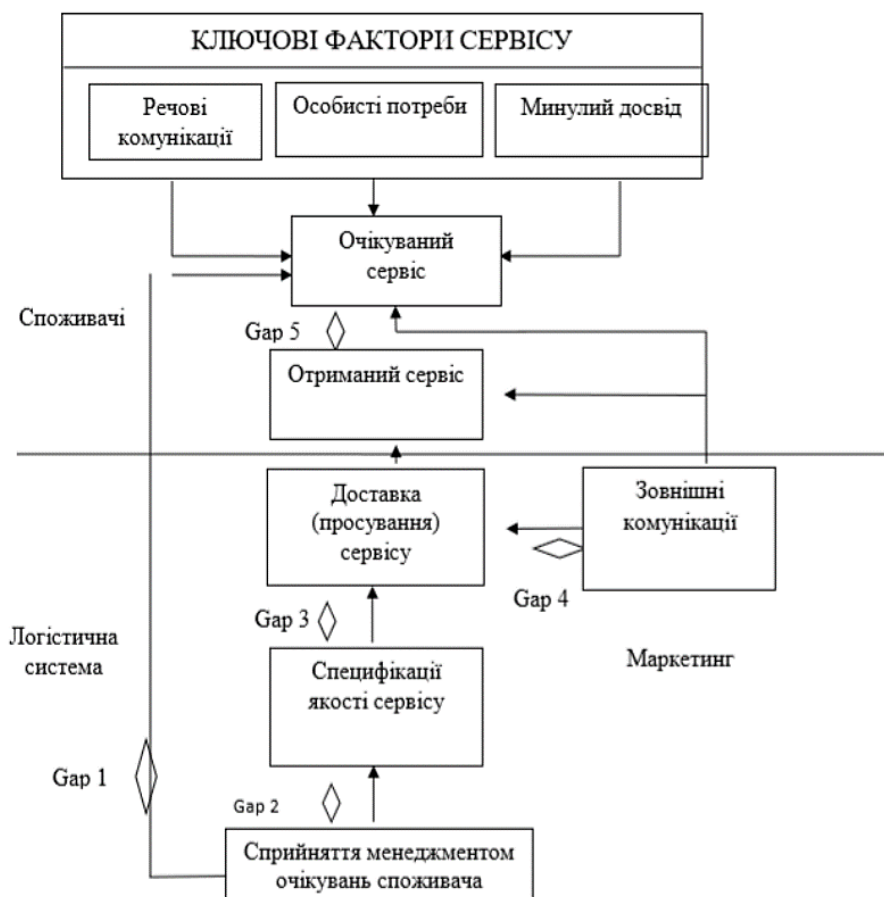


Рисунок 1.5 – Схема розходжень в GAP-моделі Зейтгамла

Джерело: [34]

Отже, ефективність перевезень оцінюється системою показників, серед яких особливу увагу приділяють наступним: тривалість та своєчасність доставки вантажів; втрата вантажу в процесі транспортування; продуктивність транспортних засобів та навантажувально-розвантажувальних механізмів; енергоємність перевезень; собівартість доставки, прибуток АТП. В якості критеріїв також можуть виступати: загальні витрати на доставку вантажу, питомі витрати, що відносяться до 1 т вантажу, приведені витрати та ін. Вчені пропонують застосовувати багатокритеріальний підхід при плануванні перевезень, що допомагає здійснити вибір раціональної технології протікання процесу та підвищити його ефективність. Проте, запропоновані авторами критерії не досить детально описують процес перевезення вантажів у

міжнародному сполученні, та не враховують особливості митних процедур. Не останнє значення при цьому мають ризики.

За результатами аналізу критерії ефективності можна класифікувати за сферою застосування (вибір способу доставки, вибір транспортно - технологічної схеми доставки, оцінка ефективності функціонування окремих видів транспорту та логістичних систем в цілому), за типом показника (економічні, технологічні, екологічні), за кількістю показників, що враховуються (один, декілька, множина), за врахуванням умов експлуатації (для постійних умов, для умов невизначеності, для наявності ризику). Визначено, що більшість з запропонованих критеріїв не мають універсального характеру, а враховують часткові умови експлуатації. Для оцінки ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів дослідниками не враховуються в повній мірі вимоги, що висуваються з боку всіх учасників процесу доставки з огляду на конкурентне ринкове середовище. При формуванні критеріїв ефективності функціонування логістичних систем необхідна багатокритеріальна оцінка. Складність багатокритеріального підходу до розглянутої проблеми вибору способу організації доставки полягає в різноспрямованості критеріїв, різній розмірності, якісному характері багатьох показників. В якості перспективних напрямків формування критеріїв ефективності функціонування логістичних систем слід зазначити підходи, що враховують комплексний характер, однак вони потребують формалізації [27].

Аналіз показав важливість ефективного розвитку транспортної логістики. Основна частина витрат в логістичній діяльності припадає на транспортну складову. Встановлено, що найбільшу питому вагу у структурі транспортних послуг загального користування займає автомобільний транспорт.

Отож, для ефективної транспортної логістики слід враховувати технічну, технологічну, економічну, інформаційну та управлінську складову. При виборі перевізника необхідно враховувати його позитивні та негативні

характеристики і розраховувати ймовірні ризики втрат чи недоотримання прибутку на основі критеріїв ефективності транспортної логістики.

РОЗДІЛ 2

МАТЕМАТИЧНІ МОДЕЛІ ТА МЕТОДИ ОПТИМІЗАЦІЇ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ

2.1 Огляд існуючих математичних моделей та методів оптимізації доставки вантажів

Одним з методів, які використовуються для розв'язання задачі оптимізації доставки вантажів є динамічне програмування.

Динамічне програмування — розділ математики, який присвячено теорії і методам розв'язання багатокрокових задач оптимального управління [20].

У динамічному програмуванні для керованого процесу серед множини усіх допустимих управлінь шукають оптимальне у сенсі деякого критерію тобто таке, яке призводить до екстремального (найбільшого або найменшого) значення цільової функції — деякої числової характеристики процесу. Під багатоступеневістю розуміють або багатоступеневу структуру процесу, або розподілення управління на ряд послідовних етапів (ступенів, кроків), що відповідають, як правило, різним моментам часу. Таким чином, в назві «Динамічне програмування» під «програмуванням» розуміють «ухвалення рішень», «планування», а слово «динамічне» вказує на суттєве значення часу та порядку виконання операцій в процесах і методах, що розглядаються.

Методи динамічного програмування є складовою частиною методів, які використовуються при дослідженні операцій, і використовуються як у задачах оптимального планування, так і при розв'язанні різних технічних проблем (наприклад, у задачах визначення оптимальних розмірів ступенів багатоступеневих ракет, у задачах оптимального проектування прокладення доріг та ін.)

Харілаос Н. Псарафтіс запропонував наступний метод динамічного програмування для вирішення задачі PDP для одного транспортного засобу [21]. У задачі кожен клієнт звертається за послугою по телефону, таким чином може бути сформований хронологічний список запитів. У певний момент часу ($t=0$) стає доступним один транспортний засіб. Завданням оператора транспортного засобу є виконання усіх замовлень, список яких відомий при $t = 0$. Іншими словами, при $t = 0$ наш список закривається і до нього не додаються нові запити клієнтів під час виконання маршруту. Будь-які такі запити можуть бути розміщені в іншому списку для розгляду після завершення маршруту або для планування руху іншого транспортного засобу. У «динамічному» випадку нові запити клієнтів, що виникають під час виконання маршруту, автоматично підлягають розгляду під час їх появи. Наступні два пункти будуть зроблені при формулюванні «статичної» проблеми з метою полегшення її подальшого поширення на еквівалентний "динамічний" випадок.

По-перше, маршрути транспортних засобів будуть не замкнутими шляхами, що закінчується доставкою останнього замовлення, замість повернення в депо, як у TSP.

По-друге, будуть введені спеціальні пріоритетні обмеження. Їх опис виглядає наступним чином.

У будь-якому конкретному маршруті транспортного засобу ми можемо ідентифікувати послідовність "складів" та послідовність споживачів, які, як правило, будуть об'єднані між собою. Позиція (1-а, 2-а та ін.), яку конкретний клієнт займає в послідовності пікапів, загалом не буде такою ж, як його позиція (FCFS) у початковому списку запитів клієнтів. Наприклад, клієнт, який займає п'яту позицію у початковому списку але обслуговується третім, має зміщення позиції обслуговування +2, та має зміщення -1, якщо клієнт підібраний шостим. Зміщення позиції обслуговування це різниця між позицією замовлення в листі замовлень та фактичним номером.

Згідно з нашими спеціальними пріоритетними обмеженнями для кожного клієнта, ми не допускаємо, щоб будь-який із зміщень позицій, визначених вище, був більшим за величиною, ніж встановлений невід'ємний цілий ліміт МЗП. МЗП означає максимальний зміщення положення та є параметром алгоритму.

Якщо $MPS = 0$, кожного клієнта слід забрати та доставити відповідно до його позиції у початковому списку. З іншого боку, для N клієнтів, $PMZ > N-1$ означає, що наші пріоритетні обмеження зайві, і клієнти можуть бути забрані або доставлені в будь-якому порядку.

Алгоритм має наступні кроки. По-перше ми призначаємо номери клієнтам відповідно до того порядку, в якому вони телефонували в агентство для обслуговування, і розміщуємо їх у списку в тому ж порядку. Таким чином, i -тій клієнт займає i -ту позицію у списку. Нехай N - загальна кількість клієнтів. Також нехай "+" буде пунктом відправлення, а "-" - пунктом доставки (призначення) клієнта i ($i = 1, 2, \dots, N$) та нехай A буде початковою точкою транспортного засобу (розташування транспортного засобу при $t = 0$). Будемо вважати, що час переходу від будь-якої з $2N + 1$ точок нашої задачі, i , до будь-якої іншої точки y є відомою і фіксованою величиною $r_i(y)$. Наша мета - знайти маршрут транспортного засобу, що починається в A і закінчується в одному з пунктів доставки, та задовольнити наступні умови.

Метод гілок та відтинань є розвитком алгоритму повного перебору. Основна ідея полягає в перевірці критерію обмеженої функції, за яким можна призупинити побудову гілки дерева перестановок на певному рівні. Відомі модифікації даних підходів дозволяють вирішувати задачу PDP з декількома сотнями вершин, однак вони вимагають високої обчислювальної потужності комп'ютера.

Алгоритм гілок та відтинань відрізняється від традиційного методу гілок та меж для задач лінійного програмування, тим, що він використовує

алгоритм Гоморрі під час фази розгалуження (розмежування). Метод гілок та меж обчислює межі шляхом рішення релаксації цілочисельного лінійного програмування. Алгоритм гілок та відтинань використовує результат цього обчислення (дробове рішення) в алгоритмі Гоморрі, що покращує межі, зменшуючи тим самим розмір дерева пошуку.

Підсумовуючи, метод вирішує задачу лінійного програмування без цілочисельного обмеження за допомогою звичайного симплексного алгоритму. Коли отримано оптимальне рішення, що має не ціле значення для змінної яка вважається цілою, алгоритм Гоморрі може бути використаний для пошуку подальших лінійних обмежень, які задовольняються всіма можливими цілими точками, але порушують поточне дробове рішення.

Далі використовується метод гілок та границь. Проблема розділяється на кілька (зазвичай дві) версії. Отримані проблеми вирішуються за допомогою симплекс-методу і процес повторюється. Під час використання методу гілок та границь не цілі розв'язки служать верхніми межами, а цілі розв'язки - нижніми межами.

Метод гілок і меж – один з широко відомих методів дискретної оптимізації. Цей метод працює на дереві рішень та визначає принципи роботи конкретних алгоритмів пошуку розв'язків, тобто, є мета - алгоритмом. Для різних задач комбінаторної оптимізації створюють спеціалізовані алгоритми гілок та меж [23].

Результатом роботи алгоритму є знаходження максимуму або мінімуму функції на допустимій множині. При чому множина може бути як дискретною, так і раціональною. В ході роботи алгоритму виконується дві операції: розбиття вихідної множини на підмножини (гілки), та знаходження оцінок (меж). Існує оцінка множини згори та оцінка знизу. Оцінка згори – точка що гарантовано не менша за максимум на заданій підмножині. Оцінка знизу – точка що гарантовано не більша за мінімум на заданій підмножині. Множина що має найбільшу оцінку зверху зветься рекордною. На початку

вся множина вважається рекордною. В загальному вигляді алгоритм має наступні кроки:

- початкова множина розбивається на підмножини;
- знайти оцінки згори та знизу для нових підмножин;
- визначити максимальну оцінку знизу серед усіх підмножин;
- видалити ті множини у яких оцінка зверху менша за максимальну оцінку знизу;
- знайти максимальну оцінку згори серед усіх підмножин та вважати її рекордною;

Якщо не досягнуто дискретності, або необхідної точності перейти по пункту 1;

Результатом роботи є значення між оцінкою згори та знизу для рекордної множини. Точністю є різниця між верхньою та нижньою оцінками, тобто для дискретних множин алгоритм завершений тоді, коли ці оцінки збігаються.

Враховуючи обмеження точних методів у вирішенні великих проблем комбінаторної оптимізації, у багатьох практичних ситуаціях часто надають перевагу методам апроксимації. Алгоритми апроксимації, як евристика та мета - евристика, є методами, які вирішують "важкі" проблеми комбінаторної оптимізації швидше за точні алгоритми. Однак немає жодних гарантій того, що отримане рішення є оптимальним, або що одне й те саме рішення буде отримано кожного разу, коли запускається алгоритм.

Евристичні алгоритми, як правило, базуються на досвіді, без застосування конкретних заздалегідь визначених правил. Важливий підклас евристичних алгоритмів – мета-евристичні алгоритми – можуть бути застосовані до широкого кола проблем комбінаторної оптимізації, лише з незначними змінами до базового визначення алгоритму. Багато мета-евристичних методів намагаються імітувати біологічні, фізичні чи природні явища, почерпнуті з реального світу.

При вирішенні проблем комбінаторної оптимізації з використанням евристичних або мета-евристичних алгоритмів пошук рішення проблеми близького до оптимального, як правило, поділяється на дві фази: побудова рішення та вдосконалення рішення. Побудова рішення стосується процесу створення одного або декількох початкових можливих рішень, які є відправною точкою, з якої починається пошук. На цій фазі, як правило, починається побудова можливого рішення проблеми. З іншого боку, фаза вдосконалення рішення відповідає за поступову модифікацію початкового рішення на основі певної заданої метрики, поки не буде отримана певна якість рішення або не пройде заданий проміжок часу [1].

У контексті пошуку якісного рішення ми зазвичай використовуємо термін пошуковий простір для позначення простору станів усіх можливих рішень / станів, до яких можна дійти з поточного рішення / стану. Щоб знайти якісне рішення, евристичні та мета-евристичні алгоритми переходять від одного стану до іншого, тобто від одного рішення-кандидата до іншого, за допомогою процесу, який часто називають локальним пошуком (ЛП). Під час ЛП нове рішення зазвичай генерується в околиці попереднього рішення. Окіл $N(x)$ розв'язку x – це підмножина пошукового простору, що містить один або кілька локальних оптимумів, найкращих рішень у цій околиці. Процес переходу від одного рішення-кандидата до іншого що лежить в околиці цього першого рішення вимагає переміщення околу (його меж), яке змінює деякі атрибути поточного рішення, що перетворити його на нове рішення x' . Функція витрат $f(x)$ використовується для оцінки кожного рішення-кандидата x та визначення його вартості порівняно з іншими рішеннями в його околі. Найкраще рішення в загальному просторі пошуку називається глобально-оптимальним рішенням або просто оптимальним рішенням. На рис. 2.1 показано простір пошуку для функції мінімізації. Ця функція має три точки-рішення: A , B і C . Глобальним оптимумом серед трьох точок є точка C .

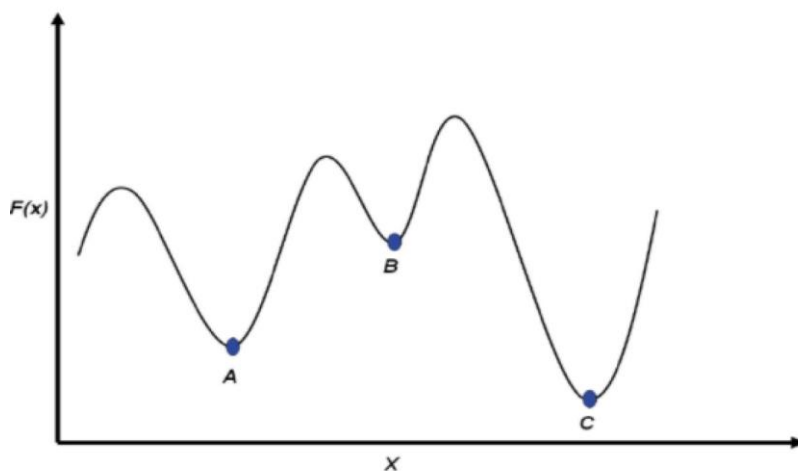


Рисунок 2.1 – Пошуковий простір: локальні та глобальний мінімуми

Далі наведено стислий опис широко відомих евристичних алгоритмів. Алгоритм сходження на вершину являє собою техніку математичної оптимізації, що належить сімейству алгоритмів локального пошуку. Алгоритм є ітераційним методом, який починається з довільного рішення задачі, а потім намагається знайти краще рішення шляхом покрокової зміни одного з елементів рішення. Якщо нове рішення є кращим за попереднє, робиться приріст для отримання наступного рішення. Це повторюється доки не знайдено рішення яке не може бути покращеним.

Алгоритм імітації відпалу – алгоритм схожий на алгоритм сходження на вершину з доданням можливості вийти з локального мінімуму. Із-за цього він набагато повільніший. Алгоритм є стохастичним, а саме перехід до гіршого стану здійснюється з деякою ймовірністю яка зменшується з кожною ітерацією алгоритму. Сама це дозволяє уникати локального мінімуму.

Генетичний алгоритм – еволюційний алгоритм пошуку, що використовується для вирішення задач оптимізації і моделювання шляхом послідовного підбору, комбінування і варіації шуканих параметрів з використанням механізмів, що нагадують біологічну еволюцію. Суть

алгоритму полягає в тому, по-перше генерується початкова популяція - набір можливих рішень задач. Далі усі рішення оцінюються, якщо рішення яке нас задовольняє не знайдено, то з існуючої популяції вибираються найкращі рішення. Далі вони схрещуються та мутують для отримання нової популяції. Процес повторюється поки не знайдено рішення що б задовільнило нас.

Мурашиний алгоритм – це мета-евристичний алгоритм, який натхненний поведінкою реальних мурах. Є один з ефективних поліноміальних алгоритмів для знаходження наближених рішень задачі комівояжера, а також аналогічних завдань пошуку маршрутів на графах. Справжні мурахи співпрацюють для пошуку їжі. Вони виділяють «феромон» на шляху від гнізда до джерела їжі. Робота алгоритму починається з розміщення мурашок у вершинах графа (містах), потім починається рух мурашок – напрям визначається імовірнісним методом, чим більше феромонів на шляху, тим більша ймовірність того, що цей шлях буде обраним. З часом коротші шляхи до їжі міститимуть більшу кількість феромону. Результат роботи алгоритму не є точним і навіть може бути одним з гірших, проте, в силу своєї стохастичності, повторення алгоритму може видавати досить точний результат.

Табу-пошук – алгоритм покращує ефективність локального пошуку, пом'якшуючи його основне правило. По-перше, на кожному кроці можуть бути прийняті рішення гірші за попередні, якщо немає жодного кращого ходу (наприклад, коли пошук застряг у локальному мінімумі). Окрім цього, вводяться заборони-табу, що запобігають повернення пошуку до вже існуючих рішень. Табу-пошук може бути використаний для пошуку задовільного рішення для задачі маршрутизації. По-перше, пошук із заборонами починається з початкового рішення, яке може бути згенероване випадково, або за допомогою якогось алгоритму найближчого сусіда. Для переходу до нового рішення два міста з поточного рішення змінюються місцями. Загальна відстань маршруту використовується для

оцінки та порівняння рішень один з одним. Для запобігання циклів і, щоб не застрягти в локальних оптимумах, рішення буде додано до табу списку, якщо воно буде задовольняти рішення в околиці.

Пошук змінних околів – це мета-евристичний метод вирішення набору задач комбінаторної оптимізації та глобальної оптимізації. Метод досліджує віддалені околи поточного діючого рішення та переходить звідти до нового, лише тоді, коли було зроблено поліпшення. Метод локального пошуку неодноразово застосовується для переходу від рішень в околах до локальних оптимумів. Пошук змінних околів був розроблений для апроксимації рішень дискретних і безперервних задач оптимізації, він призначений для вирішення задач лінійного програмування, задач цілочисельного програмування, змішаних задач цілочисельного програмування, задач нелінійного програмування тощо.

2.2 Підходи до пошуку оптимальних рішень на основі метаевристик

В задачах доставки вантажів, як правило, є багато обмежень, які ускладнюють застосовність відомих алгоритмів. Тому для таких задач є виправданим застосування метаевристик.

Особливістю застосування подібних алгоритмів є те, що отримати будь-які гарантовані результати з їх допомогою не представляється можливим. Однак приклад живої природи показує, що подібні моделі містять у собі певну «родзинку» – властивості, які дозволяють отримувати дуже хороші результати при порівняно невеликих обчислювальних витратах. Саме тому інтерес до метаевристичних алгоритмів моделювання не слабшає і в найближчі роки варто очікувати лише активізації досліджень у цьому напрямку.

Перевагами застосування метаевристичних алгоритмів є:

- відносна простота побудови моделі. Фактично, для того щоб побудувати математичну модель оптимізаційної задачі достатньо уявити простір допустимих рішень в якому-небудь стандартному кодуванні;

- універсальність моделі. Такий алгоритм може застосовуватися практично для будь оптимізаційної задачі;

- невелика кількість складових елементів дозволяє легко створювати програмні продукти;

- можливість розв'язання задач великої розмірності;

- можливість вести пошук глобального оптимуму на всьому просторі допустимих розв'язків.

Основні властивості метаевристик:

- метаевристика є стратегією, яка управляє процесом пошуку;

- метою метаевристики є ефективне дослідження простору пошуку для знаходження субоптимального рішення;

- методи, що використовуються метаевристичним алгоритмом, знаходяться в діапазоні від простого локального пошуку до складного процесу навчання;

- метаевристичний алгоритм є наближеним і зазвичай недетермінованим;

- метаевристика може використовувати механізм, що запобігає потраплянню в пастку в обмеженій області простору пошуку;

- основні положення метаевристики допускають абстрактний опис;

- метаевристика не є проблемно-орієнтованою;

- метаевристика може використовувати проблемно орієнтоване знання в формі евристик, керованих високорівневою стратегією;

- передові метаевристики використовують досвід, накопичений в процесі пошуку і представлений у вигляді пам'яті, для управління пошуком.

Множина локальних оптимумів може виявитися експоненціально великою, і на перший погляд здається, що такий варіант алгоритму не

матиме переваг. Однак експериментальні дослідження розподілу локальних оптимумів свідчать про високу концентрацію їх в безпосередній близькості від глобального оптимуму [35-38]. Це спостереження відоме як гіпотеза про існування «глибокої долини» для задач на мінімум або «центрального гірського масиву» для задач на максимум.

Сутність цієї гіпотези полягає в тому, що в середньому локальні оптимуми розташовані набагато ближче до глобального оптимуму ніж до випадково обраної точки. Їх розподіл в області допустимих рішень не є рівномірним. Вони концентруються в районі глобального оптимуму, займаючи область невеликого діаметру.

Ця гіпотеза частково пояснює працездатність метаевристичних алгоритмів. Якщо в популяції збираються локальні оптимуми, які відповідно до гіпотези сконцентровані в одному місці, і чергове рішення обирається десь між двома довільними локальними оптимуму, то такий процес має багато шансів знайти глобальний оптимум. У зв'язку з цим перевірка і теоретичне обґрунтування цієї гіпотези за допомогою алгоритмів метаевристики представляє безперечний інтерес. Також постає питання як зменшувати область пошуку.

Для оцінки якості метаевристичних алгоритмів використовують наступні методики, засновані на чисельних експериментах, а саме порівняння:

- а) з відомим точним алгоритмом (для задач невеликої розмірності);
- б) з відомими наближеними алгоритмами;
- в) з методом випадкового пошуку на множині перестановок фрагментів;
- г) з точними та наближеними розв'язками з відомих баз даних тестових задач.

Одним зі способів зменшення області пошуку екстремуму є використання опуклих множин.

Нехай X – деяка непорожня множина точок.

Відстань (або метрика) на множині X є Функція ρ , яка ставить у відповідність кожній парі точок x, y множини X невід'ємне число $\rho(x, y)$ таке, що для довільних $\{x, y, z\} \subseteq X$ виконуються умови:

$$\rho(x, y) = \rho(y, x);$$

$$\rho(x, y) = 0 \Leftrightarrow x = y;$$

$$\rho(x, y) \leq \rho(x, z) + \rho(z, y) \text{ (нерівність трикутника).}$$

Визначення. Пара (X, ρ) називається метричним простором.

Зрозуміло, що на одній і тій же множині X можна задати різні метрики, утворивши різні метричні простори. Якщо на X задано фіксовану метрику ρ , то простір (X, ρ) позначатимемо просто літерою X .

Визначення. Нехай (X, ρ) – метричний простір. Відкритою (замкненою) кулею радіуса $\varepsilon > 0$ з центром в точці $x \in X$ називається множина

$$O_\varepsilon(x) = \{y \in X : \rho(x, y) < \varepsilon\} \quad (\bar{O}_\varepsilon(x) = \{y \in X : \rho(x, y) \leq \varepsilon\}). \quad (2.1)$$

Визначення. Нехай (X, ρ) – метричний простір. **Відрізком**, що з'єднує точки x і y цього простору називається множина точок

$$\{z \in X \mid \rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y)\},$$

тобто точок, для яких нерівність трикутника стає рівністю.

Визначення. Множина $M \subseteq X$ називається **опуклою**, якщо разом із двома своїми точками вона містить і відрізок, що їх з'єднує.

Стимулом виникнення еволюційних обчислень свого часу стали кілька відкриттів у біології. Самі еволюційні алгоритми поділяються на декілька видів:

- генетичний алгоритм, призначений для оптимізації функції дискретних змінних, що акцентує увагу на рекомбінації генів;
- еволюційне програмування, орієнтоване на оптимізацію неперервних функцій без використання рекомбінації;
- еволюційні стратегії, орієнтовані на оптимізацію неперервних функцій з використанням рекомбінації;
- генетичне програмування, що використовує еволюційний метод для оптимізації комп'ютерних програм.

Ідея генетичних алгоритмів запозичена у живої природи і полягає в організації еволюції, ціль якої є отримання оптимального рішення у складній комбінаторній задачі. Загальна схема роботи генетичного алгоритму наступна.

Спочатку генерується початкова популяція особин (індивідуумів), тобто деякий набір рішень задачі. Як правило, це робиться випадковим чином. Потім моделюється розмноження всередині цієї популяції. Для цього випадково відбирається декілька пар індивідуумів, відбувається схрещування між хромосомами в кожній парі, а отримані нові хромосоми втілюються в популяцію нового покоління. У генетичному алгоритмі зберігається основний принцип природнього відбору – чим пристосованіший індивідуум (чим більше відповідає йому значення цільової функції), тим з більшою ймовірністю він буде брати участь у схрещуванні. При такому відборі члени популяції з більш високою пристосованістю з більшою ймовірністю будуть частіше вибиратися, ніж особини з низькою пристосованістю. Для кожного індивідуума може застосовуватися кросинговер, після якого отримані нащадки замінюють собою батьків і переходять до мутації. Тоді моделюються мутації – у декількох випадково обраних особинах нового покоління змінюються

деякі гени. Потім стара популяція частково або цілком знищується, здійснюється перехід до розгляду наступного покоління. Популяція наступного покоління в більшості реалізацій генетичних алгоритмів містить стільки ж особин, скільки початкова, але в силу відбору пристосованість у ній у середньому вища. Після чого процеси відбору, схрещування й мутації повторюються вже для цієї популяції, тощо. У кожному наступному поколінні спостерігається виникнення зовсім нових рішень задачі, що розв'язується. Серед них будуть як погані, так і хороші, але завдяки відбору число прийнятних рішень буде зростати. Робота генетичного алгоритму є ітераційним процесом, що продовжується, поки не виконається задане число ітерацій або інший заданий критерій зупинки. Таким чином, генетичні алгоритми є однією з важливих парадигм широкої області алгоритмів пошуку оптимальних рішень, що активно розвиваються, а з розвитком методів комп'ютерної підтримки ухвалення рішень вони набувають все більшого значення.

Програмні продукти в цій області діляться на декілька великих категорій. Перша категорія програм – це пакети, що реалізують класичний генетичний алгоритм з можливим відлагодженням параметрів керування основними операторами генетичних алгоритмів. Модель хромосоми в таких пакетах має, як правило, стандартну бінарну структуру, а функція відбору задана одним математичним виразом. До таких програм відносяться: пакет Evolver 4.0 компанії Palisade Corp, пакет GeneHunter компанії Ward System Group, тощо. Істотним недоліком цих методів є прив'язка до бінарної або числової моделі хромосоми (хромосома не може мати складної структури). До другої категорії програм відносяться спеціалізовані програми, призначені для вирішення конкретних завдань. Їх генетичні алгоритми розроблені і оптимізовані для вирішення вузької, чітко визначеної проблеми. Ефективність даної категорії програм залежить від багатьох чинників і, зокрема, від таких, як генетичні оператори і вибір відповідних значень параметрів, а також від способу представлення

рішення на хромосомі. Оптимізація цих чинників приводить до підвищення швидкості і стійкості пошуку, що істотно впливає на застосування генетичних алгоритмів. Третя категорія розробок по генетичних алгоритмах включає наукові дослідження, що полягають в дослідженні властивостей і характеристик різних генетичних алгоритмів, їх збіжності і виродженості (MATLAB 7.0, Evolvica, E2K).

Останніми роками одним із основних напрямків підвищення ефективності прикладних алгоритмів задачі оптимізації є розробка і дослідження метаевристичних алгоритмів, в яких деяка ключова ідея (метаевристика) слугує базисом для організації покрокових обчислень – ітераційного процесу, який породжує послідовність точок у відповідності із вбудованою процедурою. Якщо вбудована процедура – якийсь оптимізаційний алгоритм, то такі алгоритми називаються гібридними. Переважна більшість відомих гібридних методів розроблялася на базі двох концепцій: еволюційних обчислень та методів стохастичного локального пошуку. Тому саме на їх основі в роботі розроблені гібридні алгоритми, які використали позитивні якості, притаманні зазначеним підходам.

Існує два основних способи поєднання переваг ГА та G-алгоритмів. У першому із цих гібридних алгоритмів, названому модифікованим ГА (МГА) [35], в схемі еволюційних обчислень як оператор мутації була використана модифікація G-алгоритмів. В частинному випадку цей алгоритм охоплює відомий клас меметичних алгоритмів, які почали розвиватися останнім часом.

Використання G-алгоритмів в еволюційних обчисленнях як процедури підсилення масштабу мутації, яке було здійснене в МГА, дозволило підвищити ефективність пошуку варіантів розв'язку порівняно з автономним застосуванням G-алгоритмів та ГА. При цьому аналіз результатів використання такого підходу для розв'язання багатьох задач КО показав, що застосування в комбінованому методі G-алгоритму у повному обсязі на початкових етапах ГА можна уникнути, якщо основні

його параметри, які визначають умови переходу до наступного кроку при локальному пошуку на кожній ітерації, змінювати узгоджено з динамікою змін параметрів ГА та поведінкою цільової функції.

В іншому алгоритмі, названому G-ГА, на відміну від поширених способів гібридизації комбінаторних алгоритмів, ГА виступає не як загальна схема (метаевристика), а як вбудований алгоритм. Алгоритм G-ГА дозволяє здійснювати автоматичну адаптацію своїх параметрів в ході обчислювального процесу: за рахунок послаблення на початковій стадії пошуку умов прийняття до розгляду варіантів розв'язку збільшується кількість точок простору X , що можуть проглядатися за певний проміжок часу, та підвищується ймовірність потрапляння до «зони притягання» більш точного варіанту розв'язку.

Так як поняття відрізка між двома точками можна визначити в будь-якому метричному просторі, можна перенести класичне визначення опуклості в будь-який метричний простір. Однак поняття опуклості можна ввести незалежно від поняття відрізка. Для цього розглянемо структури зі спадковістю.

Визначення. **Структурою зі спадковістю** будемо називати пару (X, Θ) , де X - множина, а Θ - функція, яка кожній парі точок $x, y \in X$, ставить у відповідність підмножину $\Theta_{xy} \subseteq X$, причому:

$$\begin{aligned} 1) \forall x, y \in X, x \in \Theta_{xy}, y \in \Theta_{xy} \\ 2) \forall x, y \in X, \Theta_{xy} = \Theta_{yx} \\ 3) \forall x, y \in X, \forall u \in \Theta_{xy}, \Theta_{xy} \supseteq \Theta_{xu} \cup \Theta_{uy} \end{aligned} \quad (2.2)$$

Множина Θ_{xy} називається **множиною нащадків** точок $x, y \in X$. Таким чином, структура зі спадковістю визначається сукупністю множин нащадків $\{\Theta_{xy}\}_{x,y \in X}$ із властивостями, що наведено вище.

Наведемо тепер деякі властивості структур із спадковістю.

Теорема. Нехай задана структура зі спадковістю (X, θ) . Тоді для будь-якої точки $x \in X$ і будь-якої точки $y \in \theta_{xx}$ справедлива рівність $\theta_{xx} = \theta_{xy}$.

Доведення. Нехай $y \in \theta_{xx}$. Тоді, відповідно до визначення, отримуємо, що $\theta_{xx} \supseteq \theta_{xy} \cup \theta_{yx}$. З іншого боку, відповідно до того ж визначення, $\theta_{xy} \supseteq \theta_{xx} \cup \theta_{xy}$. Отже $\theta_{xx} = \theta_{xy}$,
Зокрема, $\forall y \in \theta_{xx}$ виконується рівність $\theta_{yy} = \theta_{xx}$.

Теорема. Нехай задана структура зі спадковістю (X, θ) . Тоді для будь-якої множини нащадків θ_{xy} і для будь-якої $z \in \theta_{xy}$ точки з умови $y \in \theta_{xz}$ випливає, що $\theta_{xz} = \theta_{xy}$.

Доведення. Нехай $z \in \theta_{xy}$. Тоді, відповідно до визначення, отримуємо, що $\theta_{xy} \supseteq \theta_{xz} \cup \theta_{zy}$ і, відповідно, . Якщо точка $y \in \theta_{xz}$, то $\theta_{xy} \subseteq \theta_{xz}$. Отже, $\theta_{xz} = \theta_{xy}$

Зауважимо, що наявність структури зі спадковістю на множині X дозволяє визначити на цій множині структури опуклості.

Випуклим підмножиною називається підмножина в X , яке разом із будь-якими двома своїми точками містить безліч нащадків цих точок. Порожня множина за визначенням вважається опуклим. Очевидно таке твердження: перетин будь-якої кількості опуклих підмножин опукло.

Визначення. Нехай задана структура (X, θ) зі спадковістю. Випуклою оболонкою підмножини $Y \subseteq X$ називається перетин всіх опуклих підмножин множини X , що містять підмножина Y .

Іншими словами – опукла оболонка підмножини $Y \subseteq X$ це найменше за включенням опукле підмножина X , що містить Y .

Один із тривіальних прикладів структури зі спадковістю - це розбиття множини. Нехай множини X розбито на k підмножин X_1, X_2, \dots, X_k , причому

- 1) $\bigcup_{i=1}^k X_k = X$;
- 2) $\forall i, j, i \neq j X_i \cap X_j = \emptyset$;
- 3) $\forall i X_i \neq \emptyset$.

Кожен елемент $x \in X$ належить рівно одному елементу розбиття, який позначатимемо X_x . Множина різноманітних об'єднань елементів розбиття утворює структуру зі спадковістю. Причому $\forall x, y \in X [x, y] = X_x \cup X_y$, де X_x - це елемент розбиття, який містить елемент x .

У метричному просторі (X, ρ) природно визначається структура зі спадковістю. Має місце така теорема.

Теорема. Множина відрізків (X, ρ) метричного простору утворюють структуру зі спадковістю.

Доведення. Властивості 1) та 2) визначення для метричних відрізків з очевидністю впливають із визначення метрики. Доведемо тепер властивість 3) структур зі спадковістю. Нехай x, y – дві довільні точки простору X . Візьмемо довільну точку $z \in [x, y]$. Покажемо, що $[x, y] \supseteq [x, z] \cup [z, y]$. Нехай $u \in [x, z]$. Відповідно до визначення відрізка $[x, z] \cup [z, y] \supseteq [x, u] \cup [u, z] \cup [z, y]$. За визначенням відстані $\rho(x, y) \leq \rho(x, u) + \rho(u, z) + \rho(z, y) \geq \rho(x, u) + \rho(u, y)$. З іншого боку, маємо співвідношення:

$$\rho(x, y) = \rho(x, z) + \rho(z, y) = \rho(x, u) + \rho(u, z) + \rho(z, y) \geq \rho(x, u) + \rho(u, y)$$

Таким чином $\rho(x, y) = \rho(x, u) + \rho(u, y)$ і, отже, $[x, z] \subseteq [x, y]$. Аналогічно можна показати, що $[z, y] \subseteq [x, y]$ і отже $[x, z] \cup [z, y] \subseteq [x, y]$.

Доведено [43], що для того щоб для еволюційного алгоритму існувала система спадкових властивостей, необхідно і достатньо, щоб оператор кросоверу був геометричним, тобто, щоб на множині B існувала

метрика $\rho: B \times B \rightarrow R_+^1$ така, що для будь-яких розв'язків $x, y \in B$ була справедливою рівність $\rho(x, y) = \rho(x, K(x, y)) + \rho(y, K(x, y))$.

2.3 Фрагментарні структури і їх властивості для задач доставки вантажів

Вимога застосовності генетичних, особливо «жадібних» алгоритмів для пошуку розв'язків дискретних задач призводить до поняття фрагментарної структури.

Визначення. Фрагментарною структурою на скінченній множині X називається сімейство її підмножин E з такими властивостями:

1. $\emptyset \in E$;
2. $\Delta Y \in E, Y \neq \emptyset, \exists y \in Y, Y \setminus \{y\} \in E$.

Елементи множини E називаються *припустимими фрагментами*.

Будь-який припустимий фрагмент фрагментарної структури може бути побудований з порожньої множини «жадібним» алгоритмом, на кожному кроці якого додається один елемент до вже побудованої підмножини таким чином, що знову утворена підмножина належить фрагментарній структурі.

Фрагментарні структури тісно пов'язані з такими комбінаторними об'єктами як матроїди та гридоїди. Зокрема, будь-який гридоїд та будь-який матроїд є фрагментарною структурою.

Означення. Рангом підмножини $A \subseteq X$ називається величина $rg(A)$, що дорівнює максимальній з потужностей припустимих фрагментів, які містяться у множині A .

Теорема. Для того щоб фрагментарна структура була матроїдом, необхідно і достатньо, щоб для будь-яких підмножин $A_1, A_2 \subseteq X$ виконувалась нерівність

$$rg(A_1 \cup A_2) + rg(A_1 \cap A_2) \leq rg(A_1) + rg(A_2).$$

Конструктивно фрагментарну структуру можна задавати інакше. Фрагментарною структурою будемо називати пару $\Omega = (X, \diamond)$, де X – множина, \diamond – бінарне відношення на множині X , що відповідає таким властивостям:

- 1) $\emptyset \diamond \emptyset$;
- 2) $\forall A_1, A_2 \subseteq X \quad A_1 \diamond A_2 \Rightarrow A_2 \diamond A_1$;
- 3) $\forall A_1, A_2 \subseteq X, A_1 \diamond \emptyset, A_2 \diamond \emptyset \Rightarrow (A_1 \diamond A_2 \Leftrightarrow (A_1 \cup A_2) \diamond \emptyset)$.

Такий підхід дозволяє будувати нові припустимі фрагменти з вже наявних шляхом їх об'єднання з урахуванням деяких умов приєднання.

Максимальним припустимим фрагментом фрагментарної структури є такий припустимий фрагмент, що не є власною підмножиною жодного іншого припустимого фрагменту.

«Жадібний» алгоритм на фрагментарній структурі $\Omega = (X, \diamond)$ при заданому порядку фрагментів дозволяє отримати максимальний припустимий фрагмент за число кроків, що не перевищує числа елементів множини X .

Введення поняття фрагментарної структури дає змогу побудувати математичні моделі для великого класу прикладних задач, зокрема, погашення взаємозаборгованості, задачі симетричного розміщення рекламних блоків, задачі розкрою [40-48].

Орієнтованою фрагментарною структурою [43,53] (X, E) на кінцевій множині будемо називати множину кінцевих послідовностей E елементів множини X , таких, якщо послідовність $\{x_1, x_2, \dots, x_m\}$ належить множині E , то і будь-яка її початкова підпослідовність $\{x_1, x_2, \dots, x_k | k < m\}$ також належить множині E .

Послідовності елементів із множини E називаються допустимими фрагментами. Допустимі фрагменти потужності 1 називаються елементарними. Допустимий фрагмент називатимемо максимальним, якщо він не є підпослідовністю жодного іншого допустимого фрагмента. За визначенням порожня множина є допустимим фрагментом.

Якщо задана ефективна процедура перевірки належності послідовності множині E (oracle), то кожен максимальний фрагмент можна побудувати наступним жадібним алгоритмом:

а) спочатку вибирається деяке лінійне впорядкування множини X ;
 б) на початковому кроці вибирається порожня послідовність $X_0 = \emptyset$;
 в) на кроці з номером $k + 1$ вибирається перший за заданим порядком елемент $x_{k+1} \in X \setminus \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$, такий, що виконується умова $\{x_1, x_2, \dots, x_{k+1}\} \in E$. Цю умову називатимемо умовою приєднання;

г) алгоритм закінчує роботу, якщо на черговому k -му кроці не вдалося знайти елемент $x \in X \setminus X_k$, що задовольняє умові приєднання. Зауважимо, що якщо $\forall \{x_1, x_2, \dots, x_k\} \in E$ і $\forall x \in X$ існує алгоритм поліноміальної трудомісткості за кількістю елементів множини X для перевірки умови приєднання $\{x_1, x_2, \dots, x_k, x\} \in E$, то, очевидно, задача побудови максимального фрагмента є поліноміально розв'язною.

Результатом роботи фрагментарного алгоритму є максимальний фрагмент. Цей фрагмент залежить від того, які будуть вибиратися елементи на кожному кроці, тобто від початкового впорядкування множини X . Таким чином, виникає природне відображення з множини

перестановок S_n розмірності $n = |X|$ в множину максимальних фрагментів фрагментарної структури. Очевидно, це відображення є сюр'єктивним.

Нехай задана фрагментарна структура (X, E) на кінцевій множині X . Нехай визначена монотонна за включенням функція - критерій $f: E \rightarrow R^1$, яка кожному допустимому фрагменту ставить у відповідність деяке дійсне число. Тобто $\forall E_1, E_2 \in E$ з умови $E_1 \subseteq E_2$ випливає, що $f(E_1) \leq f(E_2)$ (або $f(E_1) \geq f(E_2)$).

Одним із способів завдання подібної функції є адитивний. А саме: кожному елементу множини $x \in X$ ставиться у відповідність невід'ємне число (вага) $w(x) \geq 0$. Функція f визначається співвідношенням

$$f(\{x_1, x_2, \dots, x_k\}) = \sum_{i=1}^k w(x_i).$$

Задача оптимізації на фрагментарній структурі полягає у відшуванні допустимого фрагмента з максимальним значенням критерію. Очевидно, оптимальним рішенням цієї задачі за монотонного критерію буде один з максимальних фрагментів. Принаймні, у множині максимальних розв'язків задачі є максимальний фрагмент. Зазначимо, що умова максимальності фрагмента може бути обов'язковою у задачі оптимізації і без додаткових припущень про цільову функцію.

З наведених вище результатів випливає, що будь-яка задача оптимізації на фрагментарній структурі може бути зведена до комбінаторної задачі оптимізації на безлічі перестановок розмірності n . З кожною функцією $f: E \rightarrow R^1$, заданою на фрагментарній структурі, пов'язана накриваюча функція $F: S_n \rightarrow R^1$, що відображає множину перестановок в R^1 . Значення цієї функції на перестановці $s \in S_n$ визначається наступним алгоритмом. Спочатку з перестановки з допомогою фрагментарного алгоритму

будується максимальний фрагмент $e \in E$, та був обчислюється значення функції $f(e)$ цьому фрагменті.

Розглянемо тепер завдання пошуку оптимального рішення функції $F: S_n \rightarrow R^1$, заданої на множині перестановок n елементів. Для пошуку субоптимальних рішень задачі оптимізації цієї функції застосуємо еволюційний алгоритм із геометричним оператором кросовера [43]. Опишемо принцип роботи такого алгоритму [49]. Як базова множина рішень вибирається множина всіх перестановок з n елементів. S_n Спочатку за допомогою оператора початкової популяції будується множина рішень $Y_0 \subseteq S_n$. Кожен елемент цієї множини – випадково обрана перестановка. На кожному наступному етапі передбачається заданим кілька перестановок - поточна популяція. На першому кроці це множина $Y = Y_0$. Для кожного з елементів множини Y обчислюється значення критерію селекції, який у цьому випадку є накриваючим відображенням вихідної задачі.

Далі за допомогою оператора відбору поточної популяції Y вибирається безліч пар для кросовера. До кожної пари з вибраної множини пар застосовується оператор кросовера, який кожній парі перестановок «батьків» ставить у відповідність перестановку-«нащадок» а потім до результату кросоверу з ймовірністю $\alpha \in (0,1)$ застосовується оператор мутації.

Таким шляхом знаходиться множина елементів – нащадків \check{Y} . До проміжної популяції $Y \cup \check{Y}$, що є об'єднанням поточної популяції та множини нащадків, застосовується оператор еволюції, який виділяє цієї множині нову поточну популяцію. Процес еволюції повторюється до того часу, доки буде виконано умову зупинки еволюційного алгоритму. «Найкраще» за значенням функції F рішення в останній поточній популяції береться як наближене рішення задачі оптимізації. Блок схему еволюційного алгоритму наведено на рис. 2.2.

Опишемо тепер геометричний оператор кросовера на перестановках. Множину перестановок можна як метричний простір з метрикою Кендалла [50]. У метриці Кендалла відстань $\rho(u, v)$ між двома перестановками визначається як мінімальна кількість транспозицій сусідніх елементів, які необхідно виконати, щоб перевести одну перестановку в іншу.

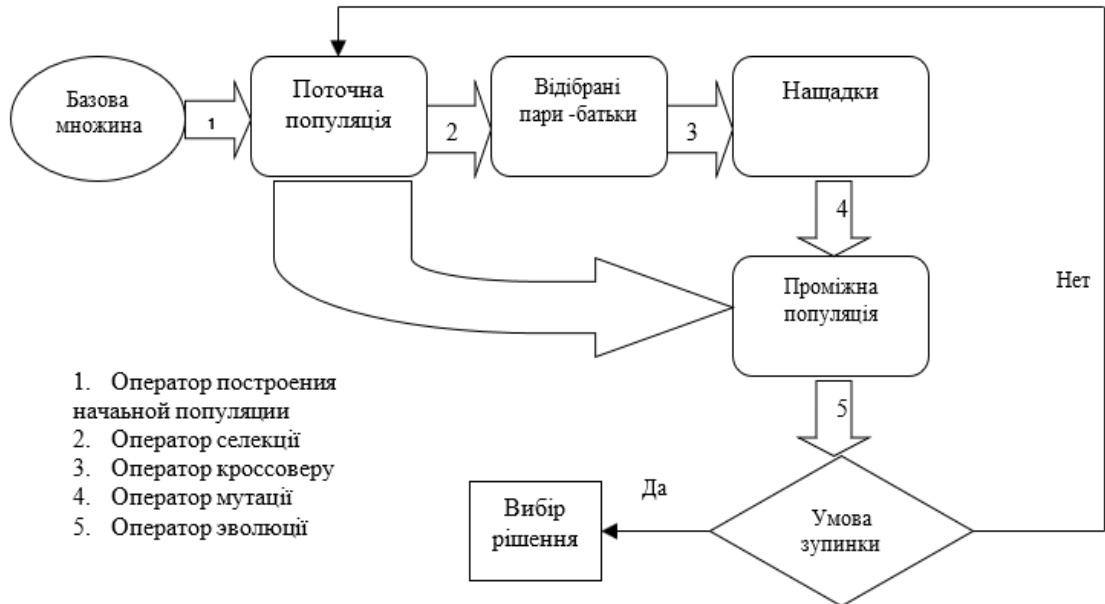


Рисунок 2.2 – Еволюційний алгоритм

Кросовер $K: S_n \times S_n \rightarrow S_n$ є геометричним в метриці Кендалла, якщо для будь-яких перестановок $u, v \in S_n$ має місце рівність

$$\rho(u, v) = \rho(u, K(u, v)) + \rho(K(u, v), v).$$

Це означає, що результат кросовера лежить на відрізку, що з'єднує перестановки u, v .

Нехай $s = s_1 s_2 \dots s_n \in S_n$. Запис $i <_s j$ означатиме, що у перестановці s елемент i передуює елементу j . Визначимо порядкову матрицю (a_{ij}^s) перестановки наступним чином:

$$a_{ij}^s = \begin{cases} 1, & \text{якщо } i <_s j \\ -1, & \text{якщо } i = j \\ 0, & \text{якщо } i >_s j \end{cases}$$

Теорема. Нехай задані дві перестановки $u = u_1 u_2 \dots u_n$ та $v = v_1 v_2 \dots v_n$. Відстань Кендала між перестановками u та v визначається формулою

$$\rho_{\text{Kend}}(u, v) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij}^v - a_{ij}^u|.$$

Доведення. Нехай $u \neq v$. Тоді в перестановці v знайдуться два сусідні елементи i, j такі, що

$$i <_u j \text{ та } i <_v j \quad (2.3)$$

Справді, нехай таких елементів у перестановці v немає. Виберемо в перестановці v найближчі елементи i, j , що мають зазначену властивість. Виберемо елемент k між елементами j та i у перестановці v . Тоді маємо $i <_u j$, $j <_v k <_v i$. Але це означає, що у перестановці u або $k <_u i$, або $j <_u k$. У будь-якому випадку i, j не є найближчими, що володіють властивістю (2.3), у перестановці v . Отже, обов'язково знайдуться сусідні елементи i, j у перестановці v , що мають властивість (2.3). Послідовно змінюючи місцями у перестановці v сусідні елементи, що мають властивість (2.3), можна перейти до перестановки u за мінімальне число кроків, що дорівнює

$$\frac{1}{2} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n |a_{ij}^v - a_{ij}^u|.$$

Це і буде відстань Кендала між перестановками.

Нехай перестановкам $s, t \in S_n$ відповідають лінійні порядки на множині $\{1, 2, \dots, n\}$. Позначимо через $<_{st}$ порядок (власне кажучи не лінійний), який визначається так:

$$x <_{st} y \Leftrightarrow \{x <_s y \text{ и } x <_t y\}$$

Такий порядок може бути описаний у вигляді орієнтованого графа G , вершини якого – елементи множини $\{1, 2, \dots, n\}$. Елементи знаходяться у відношенні $x <_{st} y$, якщо існує орієнтований шлях у графі G , що з'єднує вершину x з вершиною y .

Наведемо приклад для $n=6$. Нехай $s = \{1, 3, 5, 2, 6, 4\}$, $t = \{2, 6, 5, 1, 3, 4\}$. Відповідний порядку $<_{st}$ граф наведено на рис. 2.3.

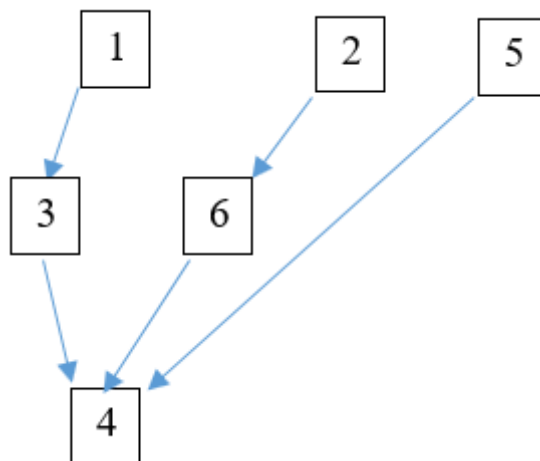


Рисунок 2.3 – Граф порядку

Лінійний порядок $<_u$ визначений перестановкою $u \in S_n$ на множині $\{1, 2, \dots, n\}$ називається узгодженим з порядком $<_{st}$, якщо з умови $x <_{st} y$ випливає, що $x <_u y$. Множина перестановок, що відповідають узгодженим з $<_{st}$ лінійними порядками, утворює відрізок, що з'єднує перестановки $s, t \in S_n$ в метриці Кендала.

Нехай задані дві перестановки $s, t \in S_n$. Тепер опишемо алгоритм пошуку перестановок, які лежать на відрізку $[s, t]$. Розглянемо граф, що

відповідає порядку \prec_{st} . Виберемо випадково одну з вершин, яка є джерелом у цьому графі. Ця вершина визначить перший елемент перестановки результату. Внесемо цю вершину в результуючу перестановку і видалимо з графа разом з ребрами, що з неї виходять. Процес повторимо на решті графа. Продовжимо цей процес, доки всі вершини графа не будуть видалені. В результаті роботи алгоритму буде побудовано деяку перестановку u , яка визначає лінійний порядок на множині $\{1, 2, \dots, n\}$, узгоджений з порядком \prec_{st} . Легко показати, що будь-яка перестановка, що визначає узгоджений порядок, може бути отримана таким алгоритмом при відповідному виборі послідовності перегляду вершин графа.

Зокрема, розглянемо алгоритм такого виду. Нехай $s = (s_1, s_2, \dots, s_n)$ і $t = (t_1, t_2, \dots, t_n)$ – дві довільні перестановки. Перестановка на відріжку поміж них будується так: послідовності s і t проглядаються у порядку прямування елементів. На k -му етапі вибирається будь-який з перших елементів послідовностей і додається в нову перестановку-результат. Потім цей елемент видаляється з двох послідовностей s та t . Наприклад, результатом роботи алгоритму на перестановках $(2, 3, 6, 1, 7, 8, 4, 5)$ та $(4, 6, 7, 1, 3, 2, 8, 5)$ буде перестановка $(2, 3, 4, 6, 1, 2, 8, 5)$. Перестановка результату завжди знаходиться на відріжку $[s, t]$ в метриці Кендала.

РОЗДІЛ 3

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ДОСТАВКИ ВАНТАЖІВ НА БАЗІ ЗАСТОСУВАННЯ КОМБІНАЦІЙ ФРАГМЕНТАРНОГО АЛГОРИТМУ ТА МЕТАЕВРІСТИК

3.1 Фрагментарна модель для задачі доставки вантажів

Розглянемо завдання в наступній постановці. Є n пунктів зберігання продукції, у яких зберігається однотипний товар та m пунктів споживання цього товару. З будь-якого пункту зберігання товар може бути доставлений до будь-якого пункту споживання за відповідним маршрутом. При цьому будь-який з mn маршрутів, що з'єднують пункти зберігання та споживання, може виявитися ненадійним. Завдання полягає у пошуку такого плану доставки товару, за яким можливі втрати будуть мінімальними.

За основу математичної моделі візьмемо класичну постановку транспортної задачі з n пунктами виробництва та m пунктами споживання товару. Всі можливі маршрути доставки вважатимемо допустимими. Крім того, розглянемо випадок, коли інформація про можливі втрати на маршрутах невідома, і тому надійності маршрутів будемо припускати однаковими.

Таким чином, ситуація, для якої буде побудовано відповідну математичну модель, характеризується такими умовами:

- а) про можливість появи зовнішніх станів нічого не відомо;
- б) доводиться розраховувати появу різних зовнішніх станів;
- в) розв'язок реалізується лише один раз;
- г) лише на одному з маршрутів передбачаються втрати;
- д) необхідно виключити будь-який ризик.

У прийнятих припущеннях розумно як критерій оцінки ефективності розподілу транспортного потоку використовувати мінімакський критерій.

Нехай у пунктах зберігання товар зберігається в обсягах $a_i, i=1,2,\dots,n$. У пунктах споживання обсяг споживання становить відповідно $b_j, j=1,2,\dots,m$. Завдання полягає у доставці всього товару із пунктів зберігання до пунктів споживання. Розглянемо замкнуту транспортну задачу, тобто задачу для якої має місце умова:

$$\sum_{i=1}^n a_i = \sum_{j=1}^m b_j.$$

До кожного можливого маршруту (i,j) визначено частку можливих втрат p_{ij} на цьому маршруті. Передбачається, що $0 < p_{ij} < 1 \quad \forall i, j$.

Допустимий розв'язок задачі визначається матрицею $(x_{ij})_{i=1,2,\dots,n}^{j=1,2,\dots,m}$, де кожен елемент матриці x_{ij} дорівнює обсягу перевезення товару з пункту i пункт j . З урахуванням умови замкнутості отримуємо такі стандартні обмеження транспортної задачі:

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^m x_{ij} &= a_i \quad i=1,2,\dots,n \\ \sum_{i=1}^n x_{ij} &= b_j \quad j=1,2,\dots,m \\ x_{ij} &\geq 0 \quad \forall i, j \end{aligned} \tag{3.1}$$

Критерієм задачі з урахуванням висунутих вище припущень є мінімакський критерій

$$\max_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ j=1,2,\dots,m}} p_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \tag{3.2}$$

Враховуючи обмеженість і замкнутість області допустимих рішень, що визначається співвідношеннями (3.1), можна стверджувати, що задача завжди має оптимальний розв'язок. Позначимо значення критерію на оптимальному розв'язку через V . Вочевидь, що V – строго додатня величина. З (3.2) випливає, що для оптимального розв'язку задачі $\forall i, j \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m$ має місце нерівність

$$p_{ij}x_{ij} \leq V \quad (3.3)$$

Перейдемо до нових змінних, поклавши

$$z = \frac{1}{V}, \quad y_{ij} = zp_{ij}x_{ij} . \quad (3.4)$$

Тоді математична модель задачі розподілу транспортних потоків набуває вигляду задачі лінійного програмування (ЗЛП) с $nm+1$ змінними

$$z \rightarrow \max \quad (3.5)$$

При обмеженнях

$$\begin{aligned} za_i - \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij}}{p_{ij}} &= 0 \quad i=1,2,\dots,n \\ zb_j - \sum_{i=1}^n \frac{y_{ij}}{p_{ij}} &= 0 \quad j=1,2,\dots,m \\ 0 \leq y_{ij} &\leq 1 \quad \forall i, j \end{aligned} \quad (3.6)$$

Цю задачу, своєю чергою, можна вирішити звичайними методами пошуку оптимальних розв'язків ЗЛП (симплекс-метод, метод внутрішньої

точки, метод еліпсоїдів та інших.). Зауважимо, що задачу можна розв'язати і за умови, що не всі маршрути є допустимими. У цьому випадку в (3.6) потрібно обмежитися тільки допустимими маршрутами і перейти від рівнянь до нерівностей.

Зі співвідношень (3.6) випливають нерівності:

$$za_i \leq \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_{ij}} \quad i = 1, 2, \dots, n$$

$$zb_j \leq \sum_{i=1}^n \frac{1}{p_{ij}} \quad j = 1, 2, \dots, m$$

Відповідно маємо верхню оцінку для значення цільової функції:

$$z \leq \min \left\{ \min_{\substack{i=1,2,\dots,n \\ a_i > 0}} \sum_{j=1}^m \frac{1}{a_i p_{ij}}, \min_{\substack{j=1,2,\dots,m \\ b_j > 0}} \sum_{i=1}^n \frac{1}{b_j p_{ij}} \right\}$$

Розглянемо найпростіший випадок, коли обсяги зберігання у всіх пунктах однакові та обсяги потреб у товарі також однакові у всіх пунктах споживання:

$$a_1 = a_2 = \dots = a_n = a, \quad b_1 = b_2 = \dots = b_m = b.$$

З умови замкнутості завдання маємо $an = bm$, а із співвідношень (3.6) маємо

$$z = \frac{1}{na} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij}}{p_{ij}} = \frac{1}{mb} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{y_{ij}}{p_{ij}} \leq \frac{1}{na} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_{ij}}.$$

Таким чином, максимум цільової функції z досягається при

$$y_{ij}=1, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m$$

і цей максимум дорівнює величині $z^* = \frac{1}{na} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_{ij}}$. Введемо позначення:

$$Q = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m \frac{1}{p_{ij}}.$$

З (3.4) випливає, що оптимальний план доставки товару у цьому найпростішому випадку визначається формулами

$$x_{ij} = \frac{a}{p_{ij}Q}, \quad i=1,2,\dots,n, \quad j=1,2,\dots,m.$$

Розглянемо тепер випадок, коли серед маршрутів є абсолютно надійні, тобто такі маршрути (i,j) , для яких $p_{ij}=0$. В цьому випадку задача розбивається на два етапи. На першому з них розв'язується транспортна задача наступного виду:

$$\begin{aligned} \sum_{p_{ij}=0} x_{ij} &\rightarrow \max \\ \sum_{j=1, p_{ij}=0}^m x_{ij} &\leq a_i \quad i=1,2,\dots,n \quad ; \\ \sum_{i=1, p_{ij}=0}^n x_{ij} &\leq b_j \quad j=1,2,\dots,m \quad ; \\ x_{ij} &\geq 0 \quad \forall i, j \quad . \end{aligned}$$

Якщо вдалося доставити весь товар до пунктів призначення, задачу розв'язано. В іншому випадку до отриманого розв'язку додаємо розв'язок нової транспортної задачі виду (3.5)-(3.6), в якому присутні тільки ненадійні маршрути ($p_{ij} > 0$) та обмежуємося залишками товару у пунктах зберігання та пунктах доставки.

Серед варіантів задачі доставки вантажів, найбільш відомим є наступний (CVRP) [51]. Вхідні дані для CVRP складаються з n місць (депо та набір з $n - 1$ клієнтів), симетричної матриці D розміру $n \times n$, що визначає відстань (або деякі інші витрати), яку необхідно пройти між кожною парою місць, кількість q_i , яка визначає потребу кожного клієнта i в деякому ресурсі та максимальна кількість Q ресурсу, що може перевозити транспортний засіб.

Можливе рішення для CVRP складається з набору маршрутів, які починаються і закінчуються в депо, тому кожен клієнт відвідується рівно по одному маршруту, а загальна потреба клієнтів, призначених для маршруту, не перевищує пропускну здатність Q транспортного засобу. Оптимальне рішення для CVRP - це рішення, яке зводить до мінімуму загальну комбіновану відстань маршрутів. Передбачається, що немає обмежень на кількість маршрутів у рішенні.

Покажемо, що може розглядатися як завдання оптимізації на фрагментарній структурі. Множина X складається з точок маршруту. Причому кожна точка крім точки 0 входить у цю множину 1 раз, а точка 0 входить у множину X у кількості $n+1$ шт. Тепер опишемо допустимий фрагмент, як послідовність точок множини X . Кожен допустимий фрагмент можна уявити, як конкатенацію послідовностей E_1, E_2, \dots, E_k .

Кожній з таких послідовностей $E = \{0, x_{i_1}, x_{i_2}, \dots, x_{i_p}\}$ $i = 1, 2, \dots, k$ відповідає маршрут, який починається в точці 0, проходить послідовно через всі точки послідовності. Причому довжина цього маршруту вибирається у довжини пробігу машини з відрахуванням відстані від

останньої точки маршруту до точки 0. У послідовності можуть бути кілька точок 0, які відповідають поверненням в депо і перезавантаження машини. Сума потреб у точках між двома черговими поверненнями в депо повинна перевищувати вантажопідйомності машини. У конкатенації послідовностей E_1, E_2, \dots, E_k точки $x \in X$, за винятком депо (точка 0), є рівно по одному разу. Легко переконатися, що такі фрагменти утворюють фрагментарну структуру. Допустимому розв'язку задачі відповідає максимальний фрагмент, який містить усі точки множини X . Нехай вартість оренди однієї машини дорівнює c , а вартість перевезення однієї одиниці вантажу (довжини) на маршруті – p . Тоді значення цільової функції на допустимому фрагменті E_1, E_2, \dots, E_k визначається формулою $kc + pL$, де L – довжина маршруту, що відповідає даному допустимому фрагменту.

Таким чином, завдання доставки вантажу є оптимізаційною задачею на фрагментарній структурі і, отже, для пошуку субоптимальних розв'язків цієї задачі може бути використаний еволюційний алгоритм для задач на фрагментарній структурі.

3.2 СУБД для тестування та оцінки якості метаевристик

Комп'ютерна система «Фрагментарні структури та метаевристики» призначена для тестування та оцінки якості різних метаевристик. Система включає такі файли: файл основної програми-СУБД: EVFTester.mdb, файл документації: EVFTester.DOC, тестові бази даних: файли з розширенням .mdb, які містять серії завдань. Кількість таких файлів необмежена.

Вимоги до обладнання:

- процесор із частотою не нижче 2 мГц.
- об'єм оперативної пам'яті не менше 512 мб
- об'єм дискової пам'яті не менше 50 Мб

- операційна система: WINDOWS 2007/2010
- СУБД: ACCESS XP 2007/2010/2016

Запуск системи здійснюється подвійним натисканням лівої кнопки миші на файлі EVFTester.mdb. У стартовому вікні (рис. 3.1) системи вибирається тип завдань, які розглядатимуться. На сьогодні у переліку типів присутні такі:

- завдання ЦЛП
- завдання розміщення блоків
- завдання на графах
- розклади

Однак, цей список може поповнюватися.



Рисунок 3.1 – Комп'ютерна система «Фрагментарні структури та метаеврістики»

Для початку роботи системи потрібно натиснути кнопку «Старт».

Для закінчення роботи використовується кнопка виходу або закриття вікна.

Головне вікно програми

Після натискання кнопки старту відкривається головне вікно програми (рис 3.2). У цьому вікні представлено таблицю з описами завдань обраного класу.

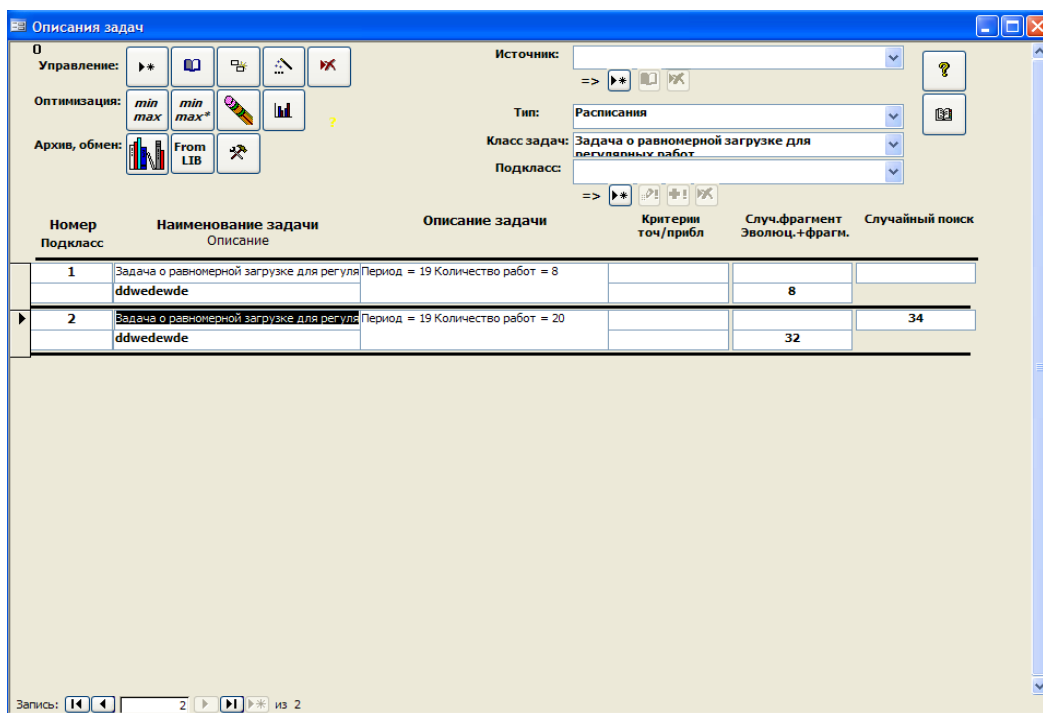



Рисунок 3.2 – Головне вікно системи «Фрагментарні структури та метаеврістики»

Кожен тип завдань складається з кількох класів завдань. Клас задач визначається набором параметрів, що визначає індивідуальне завдання класу. Клас буде розбитий на підкласи за деякими ознаками. Проте належність завдання тому чи іншому підкласу можна змінити. Кожне завдання обов'язково входить у певний клас, але може входити у підкласи цього.

У назві форми розташовані кнопки управління, списки вибору та титульний рядок таблиці описів завдань.

Поле «Джерело» вказує базу даних, в якій знаходяться розглянуті описи завдань. Якщо ця підлога порожня, то як база використовується сама база EVFTester.mdb.

Кнопка  в заголовку форми дозволяє отримати довідку поточного вікна завдання.

Робота із джерелами. Кнопки керування джерелами. Вибір джерела зі списку. Джерело вибирається зі списку джерел за назвою зі списку джерел (рис. 3.3).

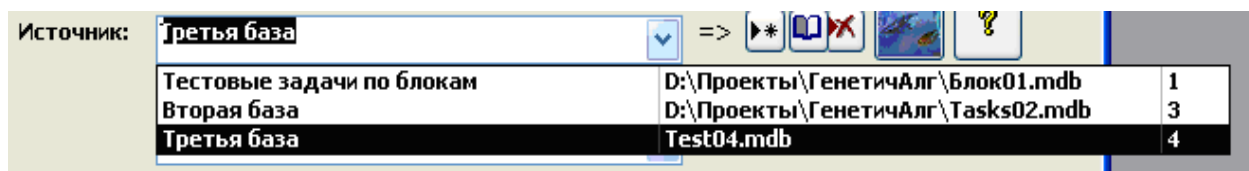



Рисунок 3.3 – Вибір джерел даних

У списку вказано найменування джерела, повне ім'я файлу бази даних та номер джерела у списку. Якщо список порожній або потрібне джерело у списку відсутнє, необхідно створити новий елемент списку, натиснувши кнопку «додати» .

Подвійне клацання лівої кнопки миші на полі «Джерело» очищає це поле та автоматично підключає дані поточної бази даних програми, тобто файл EVFTester.mdb.

Вибір класу завдань провадиться зі списку класів даного типу завдань у зазначеному джерелі. Перелік описів завдань класу відображається у табличній частині форми. Подвійне клацання лівої кнопки миші очищає поле «клас». У цьому таблична частина форми зникає.

У міру розвитку системи до списку класів будуть додаватися нові класи. З кожним класом задач пов'язаний алгоритм опису задачі класу, алгоритми пошуку рішення та алгоритми візуалізації задач класу. Опис цих алгоритмів кожного конкретного класу завдань наводяться в окремому розділі документації, присвяченому цьому класу.

У табличній частині форми (рис. 3.4) виводяться рядки таблиці, що містить перелік згенерованих у системі завдань.

Номер Подклас	Наименование задачи Описание	Описание задачи	Критерии точ./прибл	Случ.фрагмент Эволюц.+фрагм.	Случайный поиск
1	Задача директора (задача одного станка) Версия №1.	Количество работ = 11	1556	2198 1615	1636
2	Задача директора (задача одного станка) Версия №2.	Количество работ = 91	153315	214719 188431	193372
3	Задача директора (задача одного станка) Версия №3.	Количество работ = 94	134087	205646 180697	175898
4	Задача директора (задача одного станка) Версия №4.	Количество работ = 54	57499	79919 67814	68619
5	Задача директора (задача одного станка) Версия №5.	Количество работ = 100	183017	267660 232042	239875
6	Задача директора (задача одного станка)	Количество работ = 42	31057	41610	39259

Рисунок 3.4 – Перелік згенерованих у системі завдань

У першій колонці вказуються порядковий номер завдання та номер підкласу. Друга колонка містить найменування задачі та її короткий опис. Повний опис задачі наводиться у третій колонці. Наступні три колонки містять останні результати роботи алгоритмів різних типів для обраного завдання. Результат роботи алгоритму це обчислене значення цільової функції. У програмі використовуються такі типи алгоритмів:

- точний алгоритм;
- відомий наближений алгоритм;
- фрагментарний алгоритм за деякого упорядкування фрагментів;
- ЕВФ-алгоритм;
- алгоритм випадкового пошуку на множині допустимих рішень.

Особливості реалізації алгоритмів для різних класів завдань описані в окремих файлах інструкції.

Щоб детальніше побачити параметри останніх розрахунків, можна скористатися кнопкою «min-max».

Перелік завдань у таблиці можна фільтрувати та сортувати за звичайними правилами роботи з таблицями СУБД ACCESS.

Для пошуку оптимальних рішень будь-який із завдань переліку потрібно перейти у вікно пошуку рішень (рис. 3.5).

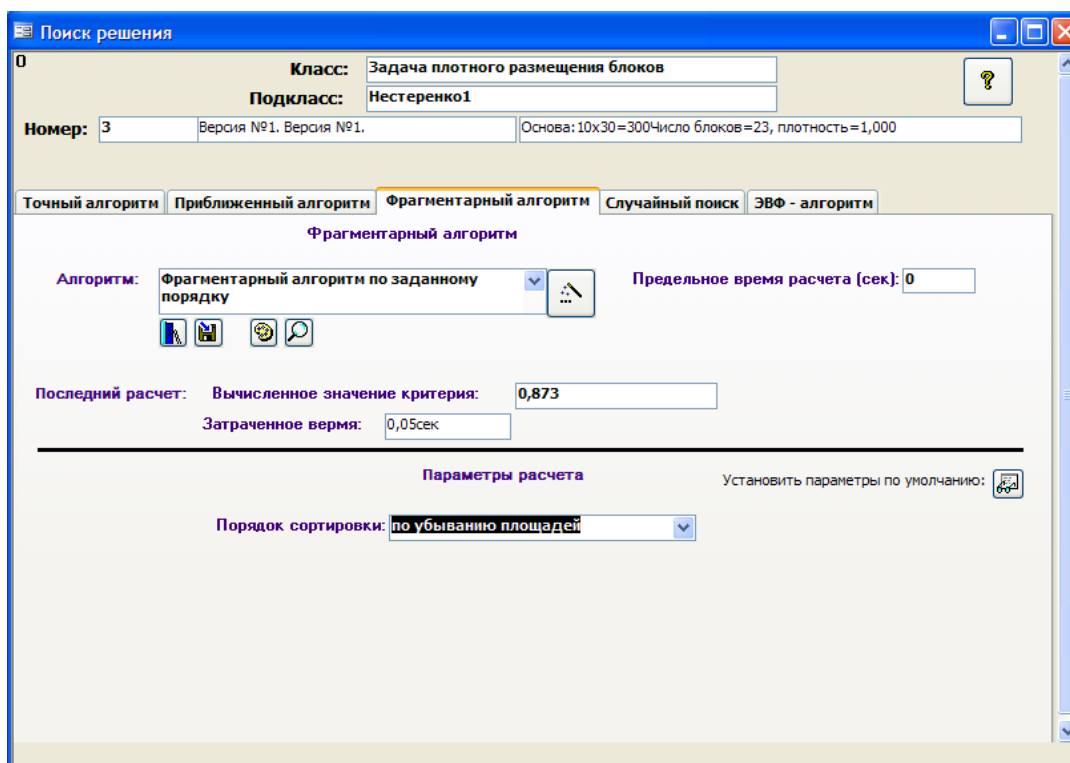


Рисунок 3.5 – Вікно пошуку рішень

Область даних форми "Пошук рішення" розбита на п'ять зон, кожна з яких присвячена одному з типів алгоритмів для обраного класу завдань. Кожен тип алгоритмів має власний набір параметрів розрахунку.

Область даних форми "Пошук рішення" розбита на п'ять зон, кожна з яких присвячена одному з типів алгоритмів для обраного класу завдань. Кожен тип алгоритмів має власний набір параметрів розрахунку. Параметри розрахунку за замовчуванням всім типам надаються натисканням кнопки .

У будь-якій із зазначених зон вибирається зі списку конкретний алгоритм розв'язання задачі, встановлюються параметри розрахунку, запускається процедура розрахунку шляхом натискання кнопки розрахунку для відповідного алгоритму. У полі "обчислене значення

критерію" заноситься результат розрахунку оптимального значення критерію.

Граничний час розрахунку встановлюється за секунди. Якщо граничний час розрахунку дорівнює нулю, то розрахунок проводиться без обмеження часу. В іншому випадку алгоритм зупиняється після закінчення часу розрахунку.

Якщо час розрахунку вичерпано, то для процедури точного алгоритму виконується спроба протягом такого самого проміжку часу знайти оптимальне наближене значення критерію. Якщо наближене значення знайдено, воно виводиться у полі значення критерію зі знаком «*».

Для інших типів алгоритмів після закінчення часу розрахунку у полі значення критерію виноситься значення, отримане на останньому етапі відповідного алгоритму.

Значення критерію може мати вигляд $\pm Ma + b$, де M - велике позитивне число. Наявності величини M у значенні критерію показує, що опис рішення входять неіснуючі фрагменти.


Якщо процедура пошуку оптимального рішення закінчилася невдачею, то поле значення критерію заноситься слово «ні».

Для алгоритму випадкового пошуку необхідно вказати кількість розіграшів, тобто рішень, що визначаються випадковим чином.

Для ЕВФ-алгоритму необхідно встановити такі параметри розрахунку:

- а) розмір (чисельність) популяції;
- б) кількість пар, що схрещуються, в одному поколінні;
- в) кількість поколінь;
- г) ймовірність мутації;
- д) коефіцієнт відбору.

Аналіз результатів. Для того щоб отримати порівняльні оцінки якості алгоритмів на серії завдань необхідно виконати такі дії:

- виконати розрахунки для досліджуваної серії завдань за всіма порівнюваними алгоритмами;
- досягти того, щоб у табличній частині форми «Опису завдань» були присутні всі завдання серії і тільки вони. Цього можна досягти, виділивши відповідний підклас та встановивши необхідні фільтри;
- натиснути кнопку аналізу результатів .

В результаті відкриється вікно діаграм, що відображають порівняльну якість роботи різних алгоритмів на заданій серії задач (рис. 3.6).



Рисунок 3.6 – Вікно діаграм порівняння якості роботи різних алгоритмів

У заголовку вікна виділяються типи алгоритмів порівняння (типи алгоритмів, які описані цієї серії завдань, недоступні для позначки).

Розподіл перших місць за типами алгоритмів: діаграма показує кількість завдань, для яких тип алгоритмів, що розглядається, приводив до найкращих результатів серед усіх застосовуваних алгоритмів в аналізованій серії завдань. Ця діаграма застосовна лише за порівнянні наближених алгоритмів.

Порівняльний розподіл за типами алгоритмів: число показує скільки разів у серії завдань результат, отриманий за цим типом алгоритмів, був не гіршим за результати, отримані за іншими типами.

Рейтинг алгоритмів: обчислюється за правилом Борда як сума балів, набраних алгоритмом з усіх завдань вибірки. За перше місце алгоритм отримує 4 бали, за друге – 3 бали, за 3-тє два бали, за 4-тє 1 бал та за п'яте місце порівняно – 0 балів.

Порівняльний аналіз різних метаевристичних алгоритмів показав, що ефективність алгоритмів приблизно однакова з невеликою перевагою еволюційно-фрагментарного алгоритму.

ВИСНОВКИ

Проведений аналітичний огляд існуючих задач доставки вантажів дозволив зробити висновок про те, що для розв'язку задачі класифікації найчастіше застосовуються методи, побудовані на метаевристиках. На разі залишилося багато прикладних невирішених задач доставки вантажів, а саме задач для яких на сьогодні не знайдено точних алгоритмів розв'язку.

Виявлено, що задача доставки вантажів, як і більшість задач дискретної оптимізації є NP-важкою. Крім того, вона містить велику кількість змінних, які в свою чергу можуть мати невизначений (непрямий) характер. До того ж у прикладних задачах, як правило, є багато обмежень, які ускладнюють застосовність відомих алгоритмів. Тому для задач оптимальної класифікації є виправданим застосування метаевристик.

Розроблено фрагментарну модель для пошуку субоптимальних рішень задачі доставки вантажів, що дозволяє відшукати допустимий розв'язок і, відповідно, отримувати значення критерію на цьому розв'язку. Однак допустимий розв'язок, отриманий шляхом застосування фрагментарного алгоритму, взагалі кажучи, не є оптимальним. Для пошуку наближених оптимальних розв'язків подібних задач запропоновано модель, що поєднує фрагментарні та генетичні алгоритми.

Доведено властивість досяжності для розроблених фрагментарних моделей, оскільки результатом роботи фрагментарного алгоритму є допустиме покриття графу зірками з можливістю вибору нумерації.

У роботі побудовано математичну модель доставки вантажів в умовах ризику втрати частини товару на одному з маршрутів. Запропоновано метод пошуку оптимального розв'язку розглянутого варіанта транспортної задачі шляхом зведення до задачі лінійного програмування. Розглянуто найпростіший випадок задачі, для якого вдається отримати оптимальний розв'язок у явному аналітичному вигляді.

Математична модель може бути узагальнена і на складніші випадки розподіленої доставки товарів в умовах невизначеності та ризику

Розроблено програмну реалізацію генерації випадкових задач та розв'язку задачі доставки вантажів за допомогою різних метаевристичних алгоритмів. Порівняння алгоритмів та налаштування параметрів проводилося за допомогою обчислювальних експериментів.

Проведені математичні експерименти для оцінки якості метаевристичних алгоритмів не дають можливість однозначно зробити висновок про перевагу одного алгоритму над іншими, що підтверджує теорему «про відсутність безкоштовних обідів».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ballou R. H. (1987). Basic business logistics. New York.
2. Окландер М. А. Контури економічної логістики : монографія. Київ : Наук. думка, 2000. 176 с.
3. Банько В. Г. Логістика : навч. посіб. 2-е вид., перероб. Київ : КНТ, 2007. 332 с.
4. Економіка логістики : навч. посіб. / Є. В. Крикавський та ін. ; ред. : Є. В. Крикавський, О. А. Похильченко. Львів : Нац. ун-т «Львів. Політехніка», 2014. 637 с.
5. Перебийніс В. І., Перебийніс О. В. Транспортно-логістичні системи підприємств: формування та функціонування : монографія. Полтава : РВВ ПУСКУ, 2005. 207 с.
6. Ачкасова Л. М. Місце і роль транспортної логістики в загальній логістичній системі. *Економіка транспортного комплексу*. 2017. Вип. 30. С. 76-85.
7. Стоколяс В. С. Ефективність транспортної логістики як складової логістичної системи. *Ефективна економіка*. 2014. № 7. URL: <http://www.economy.nayka.com.ua/?op=1&z=3216> (дата звернення: 02.09.2022).
8. Boldyrieva L., Zelinska H., Khrapkina V., Komelina A. Problems and Solutions of Transport Logistics. *Proc. of the 2019 7th Int. Conf. on Modeling, Development and Strategic Management of Economic System (MDSMES 2019). Advances in Economics, Business and Management Research*. 2019. Vol. 99. Pp. 317–320. DOI: 10.2991/mdsmes-19.2019.59.
9. Офіційний сайт Державної служби статистики. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 24.09.2022).
10. Міжнародні вантажоперевезення онлайн Lardi-Trans : транспортно-інформаційний сервер. URL: <https://lardi-trans.com/en/> (дата звернення: 25.09.2022).

11. Яшкін Д. С. Методи оптимізації в управлінні логістичними ризиками промислових підприємств. *Економіка: реалії часу*. 2016. № 5 (27). С. 52–58. URL: <https://economics.net.ua/527-2>.
12. Максишко Н. К., Негрей М. В. Оптимізаційні методи та моделі : навч. посіб. Київ : КОМПРИНТ, 2015. 336 с.
13. Михалевич В. С., Трубин В. А., Шор Н. З. Оптимизационные задачи производственно-транспортного планирования: Модели, методы, алгоритмы. Москва : Наука, 1986. 264 с.
14. Cordeau, JF., Pasin, F. & Solomon, M.M. An integrated model for logistics network design. *Ann Oper Res*. 2006. Pp. 59–82. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10479-006-0001-3>
15. Bokor Z. Cost Calculation Model for Logistics Service Providers. *Promet – Traffic&Transportation*. 2012. No 24 (6). Pp. 515–524. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v24i6.1198>.
16. Shramenko N.Y., Shramenko V.O. Mathematical model of the logistics chain for the delivery of bulk cargo by rail transport. *Naukovyi Visnyk NHU*. 2018. № 5. Pp. 136–141. DOI: [10.29202/nvngu/2018-5/15](https://doi.org/10.29202/nvngu/2018-5/15)
17. Facchini F., Oleśków-Szłapka J., Ranieri L., Urbinati A. A Maturity Model for Logistics 4.0: An Empirical Analysis and a Roadmap for Future Research. *Sustainability*. 2020. No 12(1). P. 86. DOI: <https://doi.org/10.3390/su12010086>.
18. Fernandez Pernet, S., Amaya, J., Arellana, J., Cantillo, V. Questioning the implication of the utility-maximization assumption for the estimation of deprivation cost functions after disasters. *International Journal of Production Economics*. 2022, May. Vol. 247. Page: 108435. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108435>.
19. Kundu, T., Sheu, J.-B., Kuo, H.-T. Emergency logistics management – Review and propositions for future research. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*. 2022, August. Vol. 164. Page: 102789. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.tre.2022.102789>.

20. Finger, G.S.W., Lima-Junior, F.R. A hesitant fuzzy linguistic QFD approach for formulating sustainable supplier development programs. *International Journal of Production Economics*. 2022. Vol. 247. Page: 108428. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108428>.
21. Gharbi, A., Kenné, J.-P., Kaddachi, R. Dynamic optimal control and simulation for unreliable manufacturing systems under perishable product and shelf life variability. *International Journal of Production Economics*. 2022, May. Vol. 247. Page: 108417. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2022.108417>.
22. Takeyasu, K., Kainosho, M. Optimization technique by genetic algorithms for international logistics. *J. Intell Manuf.* 2014. Vol. 25. Pp. 1043–1049. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10845-013-0823-1>.
23. Подвальна Г. В. Оптимізація перевезень: проблеми використання «транспортної задачі». *Вісник Національного університету «Львівська політехніка»*. 2012. № 735. С. 176–180.
24. Wang, X., Chen, Y., and Zhang, L. Construction of a system for evaluating the efficiency of transport of logistics companies. *Journal of Industrial Engineering and Management*. 2013. Iss. 6. № 4. Pp. 1084–1104.
25. Воркут Т. А. Тенденції розвитку ринку вантажних автомобільних перевезень в Україні. *Системні методи керування, технологія та організація виробництва і експлуатації автомобілів*. Київ : НТУ, ТАУ. 1999. Вип. 7. С. 110–114.
26. Стоколяс С. Ефективність транспортної логістики як складової логістичної системи. *Ефективна економіка*. 2014. № 7. URL: <http://www.economy.nauka.com.ua/?op=1&z=3216> (дата звернення: 02.10.2022).
27. Нагорний Є. В., Шраменко Н. Ю. Аналіз критеріїв ефективності функціонування логістичних систем при доставці вантажів. *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. 2010. Вип. №28. С. 353–357.
28. Скриньковський Р. М., Костюк Н. Р., Коваль Н. М., Галелюк М. М. Діагностика транспортної діяльності як складової

логістичної системи підприємства. *Проблеми економіки*. 2016. № 2. С. 123–128.

29. Волошина Н. А. Обґрунтування критерію ефективності функціонування автомобільного транспорту у логістичній системі. *Вісник Харківського національного автомобільно-дорожнього університету*. 2005. Вип. 28. С. 60–62.

30. Россолов О. В. До питання про критерій вибору раціональної схеми доставки вантажу. *Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету*. 2006. Вип. 2 (37). С. 101–102.

31. Нефедов Н. А., Черепаха О. С. Визначення критерію оптимальності схем доставки товарів народного споживання. *Автомобильный транспорт*. 2006. Вып. 19. С. 62–65.

32. Пономарьова Н. В. Прогнозування вантажопотоків на наземних видах транспорту у міжнародному сполученні : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.22.01. Харків, 2007. 20 с.

33. Нагорный Е. В. Рационализация технолого-логистических параметров транспортного обслуживания грузовладельцев в транспортных узлах. *Автомобильный транспорт*. 2006. Вып.18. С. 54–56.

34. Найти Н. М., Аксьонов М. В. Аналіз міжнародних транспортних коридорів, як засіб економічної інтеграції України. *Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. 2015. № 1. С. 293–296.

35. Stekh Y., Lobur M., Faisal M.E. Sardieh, Dombrova M., Artsibasov V. Research and development of methods and algorithms non-hierarchical clustering. *Proc. of the XIth Int. Conf. CADSM*. Lviv-Polyana, 2011. Pp. 205–207.

36. Balas E., Niehaus W. Optimized crossover-based genetic algorithms for the maximum cardinality and maximum weight clique problems. *Journal of Heuristics*. 1998. No 4. Pp. 107–122.

37. Boese K. D., Kahng A. B., Muddu S. A new adaptive multi-start technique for combinatorial global optimizations. *Oper. Res. Lett.* v16 (1994). No 2. Pp. 101–114.

38. Kirkpatrick S., Toulouse G. Configuration space analysis of traveling salesman problems. *J. de Phys.* v46 (1985). Pp. 1277–1292.

39. Перепелиця В. О., Козін І. В., Терещенко Е. В. Задачі класифікації: підходи, методи, алгоритми : монографія. Запоріжжя : Поліграф, 2008. 188 с.

40. Козин И. В., Полюга С. И. Использование ЭВФ-алгоритмов для задачи прямоугольного раскроя. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпропетровськ, 2009. С. 199–208.

41. Козин И. В., Полюга С. И. Наследственные структуры в метрических пространствах *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпропетровськ, 2012. С. 166–177.

42. Козин И. В., Полюга С. И. О свойствах фрагментарных структур. *Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки*. 2012. № 1. С. 99–106.

43. Козин И. В. Фрагментарные модели для некоторых экстремальных задач на графах. *Математичні машини і системи*. 2014. № 1. С. 143–150.

44. Козин И. В., Полюга С. И. Фрагментарные структуры и эволюционные алгоритмы *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Дніпропетровськ, 2008. С. 138–146.

45. Козин И. В. Фрагментарный алгоритм для задачи симметричного размещения. *Радиоэлектроника, информатика, управление*. 2005. № 1. С. 76–83.

46. Козин И. В., Полюга С. И. Эволюционная модель упаковки многомерных объектов. *Вісник Запорізького національного університету. Фізико-математичні науки*. 2010. № 1. С. 61–67.

47. Козин И. В., Полюга С. И. Эволюционно-фрагментарная модель упаковки пентамино. *Дискретный анализ и исследование операций*. 2014. Т. 21, № 6. С. 35–50.

48. Козин И. В. Фрагментарные алгоритмы в системах поддержки принятия решений. *Питання прикладної математики і математичного моделювання*. Днепропетровск, 2006. С. 131–137.

49. Kozin I. V., Maksyshko N. K., Perepelitsa V. A., Fragmentary Structures in Discrete Optimization Problems. *Cybernetics and Systems Analysis*. 2017. Vol. 53. Iss. 6. Pp. 931–936. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10559-017-9995-6>.

50. Deza M. M., Deza E. Encyclopedia of Distances. *Springer Ver-lag*. 2009. DOI: 10.1007/978-3-642-00234-2_19.

51. Augerat, J. Belenguer, E. Benavent, A. Corberán, D. Naddef, and G. Rinaldi. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. *Technical Report 949-M*, Université Joseph Fourier. Grenoble, France, 1995.

52. Kozin I.V., Maksyshko N.K., Rusanov V.S., Cheverda S.S. Model of distributed cargo delivery under the conditions of a state of war. *Фінансові стратегії інноваційного розвитку економіки*. 2022. № 2 (54).

53. Русанов В. С., Козін І. В. Світовий досвід розвитку транспортнологістичної системи. *Виклики та перспективи розвитку нової економіки на світовому, державному та регіональному рівнях* : зб. матеріалів XVII Міжнар. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 13-14 жовт. 2022 р. Запоріжжя: ЗНУ, 2022. С. 172-174.