

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет програмування та комп'ютерних і телекомунікаційних систем
Кафедра телекомунікацій, медійних та інтелектуальних технологій

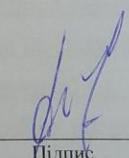
ДИПЛОМНА РОБОТА МАГІСТРА

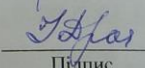
**ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ
НА ПРИКЛАДІ ТОВ «КРЕАТИВ ТРАНС»**


ДРПМ.15/017.01.23.00

Галузь знань 11 Математика та статистика

Спеціальність 113 Прикладна математика

Виконав:
студент 2 магістерського курсу, групи ПМм-19-1  Д.О. Островський
Підпис

Керівник канд.техн.наук, доцент  І.В. Драч
Підпис

До захисту допускаю:
Зав. кафедри ТМІТ, д-р техн.наук, проф.  С.К. Підченко
Підпис

10 грудня 2020 р.

Хмельницький 2020

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: ПРОГРАМУВАННЯ ТА КОМП'ЮТЕРНИХ І ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ

Кафедра: ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній рівень: МАГІСТР

Галузь знань: 11 МАТЕМАТИКА ТА СТАТИСТИКА

Спеціальність: 113 ПРИКЛАДНА МАТЕМАТИКА

Освітня програма: ОСВІТНЬО-ПРОФЕСІЙНА

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедри ТМІТ

Підченко С.К.

« 4 » вересня 2020 р.

ЗАВДАННЯ

НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ)

Островському Денису Олександровичу

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема проекту (роботи) Оптимізаційні моделі задачі маршрутизації на прикладі ТОВ «Креатив Транс»

Керівник проекту (роботи) Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент

Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджена наказом ректора університету від 01.09.2020 р. № 118

2. Строк подання студентом проекту (роботи) на кафедру 01.12.2020 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи). Наукові джерела з проблем математичного моделювання технологічних процесів автопідприємств; планові та звітні дані, а також чинні на підприємстві виробничі інструкції, положення, нормативи, зібрані під час проходження науково-дослідної практики на підприємстві ТОВ «Креатив Транс» (Хмельницька обл.).

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити). Виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач галузі автомобільних вантажних перевезень; узагальнити існуючі положення розробки розгорнутих економіко-математичних моделей організації ефективних маршрутів перевезень; побудувати математичну модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»; побудувати математичну модель планування оптимального розвізно-збирального маршруту на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»; визначити можливі шляхи вдосконалення транспортної діяльності ТОВ «Креатив Транс»; обґрунтувати доцільність запропонованих заходів покращення транспортної діяльності підприємства.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень).



6. Консультанти розділів дипломного проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			

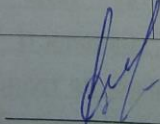
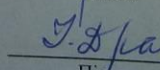
7. Дата видачі завдання « 03 » вересня 2020 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів (розділів) дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Затвердження теми науковим керівником	01.09.2020 – 02.09.2020	Виконано
2	Аналіз сучасних підходів до дослідження задач організації вантажоперевезень.	03.09.2020 – 08.09.2020	Виконано
3	Розробка 1 розділу написання ДРМ	09.09.2020 – 20.09.2020	Виконано
4	Вивчення теоретичних основ математичного моделювання транспортних послуг автопідприємств	21.09.2020 – 27.09.2020	Виконано
5	Розробка 2 розділу написання ДРМ	28.09.2020 – 7.10.2020	Виконано
6	Побудов і аналіз моделей організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів за параметрами підприємства ТОВ «Креатив Транс». Розробка практичних рекомендацій щодо оптимізації організації транспортної діяльності при впровадженні розроблених кільцевих і маятникових маршрутів доставки вантажів	08.10.2020 – 13.10.2020	Виконано
7	Розробка 3 розділу написання ДРМ	14.10.2020 – 05.11.2020	Виконано
8	Написання вступу, висновків, формування переліку джерел посилання та додатків	06.11.2020 – 08.11.2020	Виконано
9	Попередній захист дипломної роботи	09.11.2020 – 10.11.2020	Виконано
10	Подача роботи на: кафедру, антиплагіат, рецензування, нормоконтроль	12.11.2020 – 3.12.2020	Виконано
11	Захист дипломної роботи	4.12.2020 – 15.12.2020	Виконано

Студент

Керівник проекту (роботи)


Підпис

Підпис

Д. О. Островський

І. В. Драч

АНОТАЦІЯ

Тема дипломної роботи: Оптимізаційні моделі задачі маршрутизації на прикладі ТОВ «Креатив Транс».

Автор роботи: Денис Олександрович Островський.

Керівник роботи: Драч Ілона Володимирівна.

Загальний обсяг роботи: 106 сторінок, 2 додаток, 24 посилання

ОПТИМІЗАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЛІНІЙНЕ ПРОГРАМУВАННЯ,
ДИНАМІЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, ЗАДАЧА МАРШРУТИЗАЦІЇ,
РАЦІОНАЛЬНИЙ МАРШРУТ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Метою дипломної роботи є побудова і дослідження комплексної оптимізаційної моделі маршрутизації перевезень автомобільним транспортом в межах великого міста. Проаналізовано особливості формування маршрутів доставки вантажів споживачам на ТОВ «Креатив Транс». Визначено напрямки удосконалення маршрутизації перевезень з урахуванням інтересів вантажовласника і перевізника.

ANNOTATION

Thesis topic: Optimization models of the routing problem on the example of LLC "CREATIVE TRANS".

Author of the work: Denis Ostrovskiy.

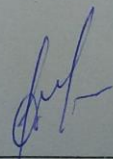
Mentor: Ilona Drach.

The total amount of the work: 106 pages, 2 appendices, 24 references.

OPTIMIZATION MODELING, LINEAR PROGRAMMING, DYNAMIC
MODELING, ROUTING PROBLEM, RATIONAL TRANSPORTATION ROUTE

The aim of the thesis is to build an integrated research and routing optimization model transport by road within the big city. Peculiarities of formation of cargo delivery routes to consumers at Creative Trans LLC are analyzed. The directions of improvement of routing of transportations taking into account interests of the cargo owner and carrier are defined.

9 грудня 2020р.
Дата/Date


Підпис/Signature

SHARP
AQUOS S2



ЗМІСТ

Вступ	7
1 Огляд сучасного стану проблеми моделювання технологічних процесів підприємства автомобільного транспорту	12
1.1 Моделювання. Основні поняття	12
1.2 Моделі. Математичні моделі	13
1.3 Оптимізаційне моделювання	16
1.4 Критерії оптимізації	16
1.5 Основні етапи оптимізаційного моделювання	17
1.6 Діагностування діяльності підприємства ТОВ «Креатив Транс» в сфері транспортних послуг	20
1.7 Постановка задачі та завдань дослідження. Розробка гіпотези дослідження	24
2 Теоретичні основи математичного моделювання транспортних послуг автопідприємства	26
2.1 Методи лінійного програмування	26
2.1.1 Загальні положення	26
2.1.2 Двоїста задача лінійного програмування	29
2.1.3 Основні методи розв'язання ЗЛП	30
2.2 Специфічна ЗЛП – транспортна задача	37
2.2.1 Формулювання транспортної задачі	37
2.2.2 Послідовність розв'язання транспортної задачі	39
2.3 Методи динамічного моделювання	42
2.3.1 Постановка задачі	42
2.3.2 Принципи оптимізації	44
2.3.3 Основне рівняння динамічного програмування	45
2.3.4 Попередня (умовна) оптимізація	47
2.3.5 Остаточна (безумовна) оптимізація	49

3	Оптимізаційні моделі маршрутизації підприємства автомобільного транспорту ТОВ «Креатив Транс» та результати її дослідження	51
3.1	Методи раціональної організації перевезення вантажів	51
3.2	Задача організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів	56
3.2.1	Постановка задачі організації раціональних маршрутів перевезень вантажів. Змістова модель	58
3.2.2	Розробка раціональних маршрутів	60
3.2.3	Розрахунок показників рухомого складу на маршруті	67
3.3	Планування оптимального розвізно-збирального маршруту	74
3.3.1	Змістова модель	74
3.3.2	Побудова математичної моделі	76
3.3.3	Послідовність розв'язання задачі	78
3.3.4	Розробка оптимального розвізно-збирального маршруту	80
	Висновки	89
	Перелік джерел посилання	92
	Додаток А	95
	Додаток Б	99

ВСТУП

Актуальність теми.

Вантажні перевезення автомобільним транспортом є важливою сферою економічної діяльності сучасної України. Автомобільний транспорт займає одне з провідних місць у забезпеченні комплексної корисності логістичного продукту. Вирішальним фактором розвитку ринку автотранспортних перевезень є його економічна та соціальна ефективність, яка може бути забезпечена тільки при обґрунтованому виборі раціонального виду транспорту та маршрутів перевезення вантажів. Раціональна маршрутизація перевезень призводить до підвищення продуктивності та оперативності перевізного процесу, скорочення порожніх автопробігів, більш повного використання вантажопідйомності рухомого складу, підвищення коефіцієнту використання навантажувально-розвантажувального обладнання. Маршрутизація автомобільних перевезень, яка полягає у формуванні оптимальних маршрутів в умовах наявності альтернатив переміщення вантажу може забезпечити раціональність перевезень та високу їх рентабельність. Проблема полягає в удосконаленні існуючих та розробці нових методів та алгоритмів формування маршрутів вантажних автомобільних перевезень вантажів [1].

Суттєвий резерв підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту вбачають у використанні при формуванні маршрутів математичних методів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питання удосконалення панування вантажних перевезень, а також його економічного обґрунтування розглянуто в роботах вітчизняних вчених М. Бідняка [2], О. Дорохова [3], А. Левтерова [3], О. Мороза [2], Є Нагорного [3], Г Нечаєва [4], Г. Прокудіна [5], А Шептури [6], Ю. Давідіча [7], М. Оліскевича [8], а також зарубіжних вчених В. Апатцева [9], В. Бернарського [10], А. Вельможина [11], С. Левіна [9], О. Васільєвої [12] та інших.

Аналіз літературних джерел з цього питання свідчить, що суттєву увагу приділено методикам вирішення задач маршрутизації за критерієм оптимізації витрат перевізника (мінімізації пробігу, часу доставки).

Визначення оптимального співвідношення транспортних операцій при створенні єдиної технології перевезення вантажу належить до задач оптимізаційного типу. Оптимізацію транспортних циклів донедавна здійснювали при розв'язуванні транспортної задачі. Зміст її класичного формулювання та модифікацій – це оптимізація вантажопотоків за різними критеріями, зокрема загального вантажообігу, тривалості, витрати коштів та інших ресурсів тощо [5]. У цих задачах накладались додаткові обмеження, наприклад, на пропускну спроможність доріг транспортної мережі. Однак, у більшості з них вантажопотоки розглядали абстраговано від автомобілепотоків, тобто до уваги брали лише ймовірні часові затримки товароруку, а непродуктивні простоювання рухомого складу не розглядали. Переважна більшість публікацій, які стосуються оптимізації вантажопотоків, обмежена розглядом їх у статистиці – обсяги запасів та потреба у доставці вантажів не залежать від початку й тривалості виконання перевезень. В умовах сучасного конкурентного середовища для конкретного перевізника такі умови задачі не відповідають реальності. Адже навіть за відомого прогнозу замовлень на перевезення для них встановлені часові обмеження. Крім того, далеко не усі вантажі можна вважати однорідними, тобто такими, які з однаковим успіхом можуть бути доставлені споживачеві від будь-якого відправника. Зрештою, якщо вантажопотоки розглядати абстраговано від автомобілепотоків, як було в усіх попередніх дослідженнях, то це спричиняє появу у транспортних циклах марного пробігу, що для магістральних вантажних перевезень неприпустимо.

З математичної точки зору задачі маршрутизації належать до класу задач дискретного математичного програмування. До методів розв'язання таких задач належать точні методи динамічного програмування, метод гілок та меж, цілочислове лінійне програмування, та наближені методи, які дають хоч і не обов'язково оптимальне рішення, але серед припустимих – найбільш задовільне.

Використанням наближених методів займались М. Бідняк [2], О. Мороз [1], М. Майборода [10], А. Вельможин [11], та інші. В роботах цих авторів були запропоновані різні обмеження, різні критерії ефективності тощо. Усі наближені методи мають кілька загальних недоліків. Ні один із них не дає точного вирішення питання розмірності і як, наслідок, складання оперативних планів потребує багато часу, при цьому точність та якість цих планів часто недостатньо висока.

Отже, відомі методи розв'язання зазначених питань є не цілком придатними, оскільки вони не дають можливості визначити оптимальну послідовність транспортних операцій при заданих директивних термінах виконання замовлень і обґрунтуванні доцільної кількості залучених одиниць транспорту та їх завантаження. Такі задачі не дають гарантованого оптимального розкладу за критерієм мінімальних часових затримок для реальних умов функціонування реального підприємства-перевізника.

Метою цього дослідження є розробка і аналіз структурної оптимізаційної економіко-математичної моделі організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної та динамічної оптимізації для підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області.

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

1) виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач галузі автомобільних вантажних перевезень; узагальнити існуючі положення розробки розгорнутих економіко-математичних моделей організації ефективних маршрутів перевезень;

2) побудувати математичну модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;

3) побудувати математичну модель планування оптимального розвізно-збирального маршруту на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;

4) визначити можливі шляхи вдосконалення транспортної діяльності ТОВ «Креатив Транс»; обґрунтувати доцільність запропонованих заходів покращення транспортної діяльності підприємства.

Об'єктом дослідження є організація маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів, характерною рисою якої має стати максимально можлива ефективність її функціонування.

Предметом дослідження є комплексне економіко-математичне оптимізаційне моделювання транспортної діяльності підприємства галузі вантажних автомобільних перевезень.

Гіпотеза дослідження.

Перевезення вантажів на магістральній мережі без марного пробігу, коли наперед відомі замовлення, середня тривалість виконання, директивні терміни їх виконання, наперед задано кількість залучених транспортних засобів, можна розглядати як багатостадійну систему обслуговування з нефіксованими маршрутами. Тому задача дослідження полягає в тому, щоб із всіх можливих варіантів виробництва обрати ту виробничу модель, яка б з одного боку задовольняла інтереси підприємства-замовника, а з другого – при наявності лімітованих ресурсів давала б максимальний ефект для автопідприємства.

Розв'язання цієї задачі можливе з використанням оптимізаційних економіко-математичних методів моделювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, темами. Робота проводилась у зв'язку з договором ТС-3-2020 про науково-технічне співробітництво з ТОВ «Креатив Транс».

Науково-практична новизна дипломної роботи полягає в наступному: комплексна структурна економіко-математична модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів розроблена для параметрів підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області; на основі її аналізу розроблено рекомендації для прийняття і обґрунтування ефективних управлінських рішень.

Основна частина складається з трьох розділів.

У першому розділі проаналізовані сучасні підходи при дослідженні задач організації вантажоперевезень, які показали, що на сучасному етапі значення математичного моделювання в розвитку автопідприємств суттєво зростає. Це обумовлено тим, що воно дозволяє виключити невизначеність, визначити фактори обмежень та їх динаміку, розрахувати необхідні витрати на досягнення поставлених цілей.

У другому розділі розглянуто теоретичні основи математичного моделювання транспортних послуг автопідприємств; визначено специфіку застосування лінійного і динамічного моделювання технологічних процесів підприємств галузі автомобільних вантажних перевезень.

У третьому розділі, побудовано і проаналізовано модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації та модель маршрутизації на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області. Надано практичні рекомендації щодо оптимізації організації транспортної діяльності при впровадженні розроблених кільцевих і маятникових маршрутів доставки вантажів.

Публікації та апробація результатів дослідження.

За темою роботи опубліковано тези (Додаток А) - Островський Д.О. Сучасні аспекти моделювання виробничо-логістичних систем в ланцюгах постачань // Актуальні проблеми комп'ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – С. 209 - 213.

1 ОГЛЯД СУЧАСНОГО СТАНУ ПРОБЛЕМИ МОДЕЛЮВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ ПІДПРИЄМСТВА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ

1.1 Моделювання. Основні поняття

Сучасне виробництво, не виключенням є і підприємства автомобільного транспорту (road transport), потребує широкого застосування методів математичного моделювання й, зокрема, оптимізаційного.

Для автомобільного транспорту (АТ) розрахункові методи моделювання дозволяють визначити необхідну кількість постів обслуговування, запасних частин та інших ресурсів для здійснення транспортного процесу.

Основним виробничим процесом АТ є транспортний. На здійснення цього процесу працює ряд служб АТП – технічна, комерційна (експлуатації), служба постачання, служба головного механіка і т. д.

Кожна служба веде своє виробництво (B), яке має свої конкретні цілі (C), для досягнення яких необхідно вирішувати певні завдання (Z), кожне з яких вимагає своїх методів розв'язання (P).

Всю цю послідовність дій можна подати у вигляді виразу [13]:

$$B \rightarrow C \rightarrow Z \rightarrow P. \quad (1.1)$$

У цій роботі розглядаються всі складові цього виразу.

При вивченні технологічного процесу, останній замінюють моделлю з метою економії витрат (грошових, часових, трудових).

Модель (model) – це аналог, макет чи інший вид відображення найбільш істотних властивостей досліджуваного процесу або явища [13].

1.2 Моделі. Математичні моделі

Математичними моделями (mathematical model) називають комплекс математичних залежностей і логічних виразів, що відображають суттєві характеристики досліджуваного явища (процесу). Математичні залежності встановлюють залежність між відомими і шуканими величинами [13].

Модель – це відображення системи, що досліджується, або деяких явищ, що цікавлять дослідника (процесів, подій). Моделі використовуються з метою управління і прогнозування (передбачення) можливої ефективності системи в разі зміни її характеристик. Вони дозволяють пояснити явища, що нас цікавлять, і виявити взаємозв'язок окремих явищ, а також замінити вартісні і складні випробування в реальних умовах функціонування досліджуваної системи. Моделювання здійснюється з метою удосконалення системи, а також для ознайомлення і навчання персоналу із системами та ситуаціями, які важко здійснити в реальних умовах. За допомогою моделі можна перевіряти або демонструвати нові ідеї, отримувати кількісну оцінку за різних варіантів управління. До прикладу, діяльність автотранспортного підприємства можна розглядати в уповільненому або прискореному темпі. При моделюванні можна зазирнути на декілька кроків вперед і розглянути «майбутній» стан системи [13].

Можна виділити три типи моделей: Описові (портретні), аналогові й символічні (логіко-математичні). Описові (портретні) моделі або моделі геометричної подібності точно копіюють оригінал і відображають зовнішні характеристики системи – фотографії, макети виробничих корпусів, ситуаційні плани, моделі автомобілів або двигунів і т.п. За допомогою цих моделей можна описати явище (об'єкт), але не можна пояснити або встановити причинні зв'язки і передбачити можливі зміни.

Аналогові моделі (analogue model) використовують для опису перебігу перехідних процесів в різних механічних і електричних системах і пов'язують властивості оригіналу з іншими більш наочними властивостями. Ці моделі

дозволяють, наприклад, уявити дорожню мережу лініями різного кольору або рельєф місцевості за допомогою горизонталей. Температура повітря, наприклад, може подаватись графічно за висотою рівня позначки в термометрі і т.д.

У більш складних логіко-математичних (символічних) моделях (symbolic model) використовуються символи математичного або логічного характеру для відображення властивостей системи і пояснення явищ. Розрізняють два методи аналізу цих моделей: аналітичний (дедуктивний) і чисельний (індуктивний). Аналітичні моделі базуються на аналітичних формульних залежностях між параметрами задачі (алгебраїчних, диференціальних, інших рівняннях та їх системах). У практиці моделювання технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту зустрічаються такі види моделей: фізичні, математичні, графічні, аналогові, механічні та ін. [14].

Існують й інші символічні моделі: моделі транспортних процесів в задачах лінійного програмування; теорії масового обслуговування; мережевих графіків [15].

Зазвичай, при вирішенні практичних завдань, заснованих на дослідженні операцій, доводиться розглядати кілька послідовних і взаємопов'язаних частин (етапів) моделювання. Основними етапами є: постановка (формулювання) задачі; складання математичної моделі керованої системи; складання плану, проведення контрольних експериментів і відшукування розв'язку за допомогою цієї моделі; перевірка даної моделі і прийнятого розв'язку, уточнення розв'язку і застосування його на практиці [13].

Прикладами математичних моделей є такі залежності:

$$y = \sum_{i=1}^n c_i x_i - \text{лінійна алгебраїчна залежність,}$$

де c_i – параметри моделі; x_i - змінні; y - шукана величина.

$$y = \int_a^b f(x) dx - \text{інтегральна залежність,}$$

де y - інтеграл обчислення площі, роботи, швидкості та ін.

$y' = f'(x) = 0$ - математична модель пошуку екстремуму функції $f(x)$.

Перевагами математичних моделей (математичного моделювання) перед іншими типами є:

- а) порівняно низька вартість їх створення;
- б) швидке отримання результатів дослідження;
- в) можливість проведення розрахункових експериментів і перевірки правильності побудови моделі.

До недоліків математичних моделей слід віднести те, що вони суто абстрактні.

Математичні моделі можна класифікувати за рядом ознак. Одна із класифікацій за характером параметрів, змінної і типом залежності наведена на рис. 1.1 [15].

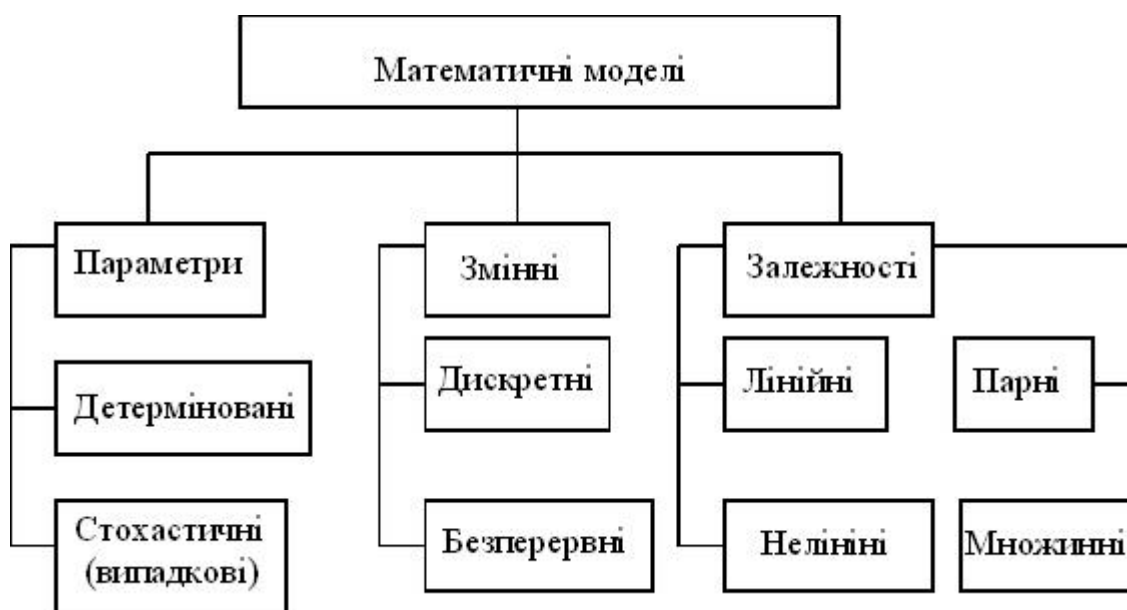


Рисунок 1.1 – Класифікація математичних моделей

Детермінованими називають такі моделі, в яких значення параметра і змінних величин передбачаються заданими і достовірними при жорстких зв'язках. Стохастичні моделі – описують випадкові процеси, тобто процеси, що здійснюються під дією випадкових факторів (задачі теорії ймовірності, імовірнісні процеси, задачі теорії масового обслуговування).

1.3 Оптимізаційне моделювання

Сучасне виробництво вимагає широкого використання методів оптимізації (optimization method). Розмірність виробничих оптимізаційних задач, як правило, велика, тому розв'язувати їх доцільно засобами ЕОМ. Одна і та сама задача може бути розв'язана різними методами, у той час, коли різні задачі можуть розв'язуватися за допомогою одного методу. У будь-якому випадку, основна мета - це оптимальні (як найвигідніші) показники виробничого процесу.

Всі методи оптимізації умовно можна розділити на класичні та сучасні.

До класичних методів належать: методи диференційного числення; чисельні методи; методи умовної і безумовної оптимізації; методи перебору варіантів.

До сучасних методів можна віднести: лінійне програмування; нелінійне програмування; динамічне програмування; стохастичне програмування; теорія масового обслуговування; мережеве планування; теорія ігор, теорія планування експерименту.

1.4 Критерії оптимізації

При розв'язанні оптимізаційних задач спочатку треба визначити вигляд математичної моделі (математичної залежності) досліджуваного процесу. При цьому вона повинна адекватно відображати його властивості. Надалі математичну залежність (її вигляд), яку необхідно дослідити на оптимальність, будемо називати цільовою функцією. Якщо показник цільової функції W має фізичний зміст, то його разом з цільовою функцією називають критерієм оптимізації (критерієм ефективності). Одним з найважливіших питань оптимізаційного моделювання виробничих процесів є вибір критерію

оптимізації та опис його цільової функції. Розрізняють часткові і загальні критерії оптимізації. Загальні критерії, як правило, характеризують народногосподарський ефект підприємства (прибуток, собівартість, рентабельність і т.д.). Часткові критерії – окремі сторони виробничого процесу (витрати праці, заробітна плата і т.д.).

1.5 Основні етапи оптимізаційного моделювання

Основними етапами оптимізаційного моделювання є:

Етап 1. Постановка завдання. Етап включає в себе обстеження об'єкта (процесу), вивчення факторів, що впливають на досліджуваний об'єкт, виявлення істотних факторів, формулювання завдання.

Етап 2. Побудова математичної моделі. У загальному вигляді вона записується \max (\min) W при обмеженнях (на ресурси і т.д.):

$$q_i(\bar{x}, \bar{\alpha}) \leq b_i \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (1.2)$$

де W – цільова функція (показник ефективності);

$\bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ – вектор керованих змінних;

$\bar{\alpha} = \{\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n\}$ – вектор некерованих змінних;

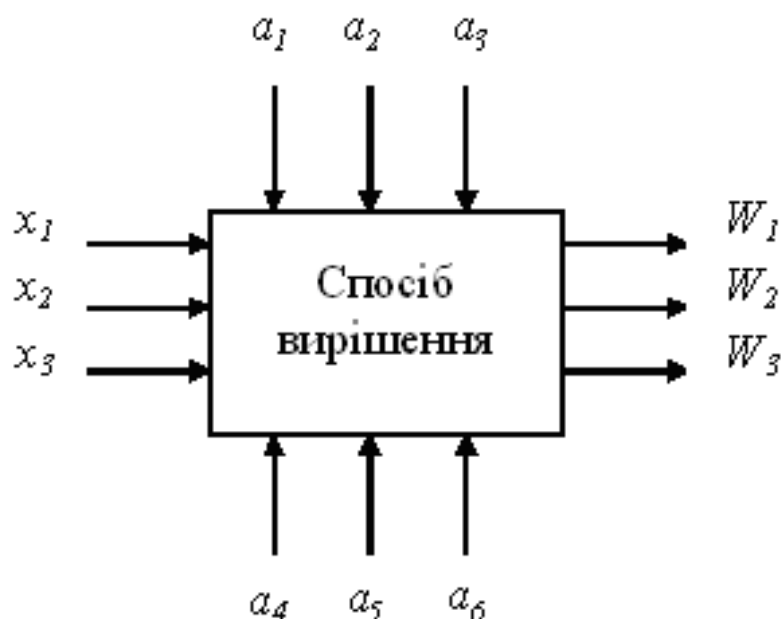
q_i, b_i – функція обмеження та показник обмеження.

Графічно математичну модель процесу моделювання можна представити так (рис. 1.2) [15].

Етап 3. Знаходження методу розв'язання. Залежно від структури цільової функції і обмежень застосовується той чи інший метод розв'язання:

а) якщо $f(\bar{x}, \bar{\alpha})$ і $q_i(\bar{x}, \bar{\alpha})$ – лінійні функції відносно змінних \bar{x} і $\bar{\alpha}$, то маємо лінійне програмування;

б) якщо $f(\bar{x}, \bar{\alpha})$ і $q_i(\bar{x}, \bar{\alpha})$ - хоча б одна нелінійна функція, то маємо нелінійне програмування;



$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ – зовнішні некеровані фактори; $\alpha_4, \alpha_5, \alpha_6$ – внутрішні некеровані фактори; W_1, W_2, W_3 – критерії ефективності (цільові функції);
 x_1, x_2, x_3 – керовані змінні

Рисунок 1.2 – Графічна модель процесу

в) якщо $f(\bar{x}, \bar{\alpha}) = \bar{W}$ можна подати у вигляді суми $\sum W_i = W$, і задача розбивається на ряд "кроків" (етапів), то застосовують динамічне програмування;

г) якщо \bar{x} і $\bar{\alpha}$ випадкові величини, то застосовується стохастичне програмування (моделювання).

Етап 4. Перевірка і корегування моделі. На цьому етапі перевіряється відповідність математичної моделі реальному процесу.

Етап 5. Розв'язання задачі та її реалізація на практиці. Розмірність виробничих задач автомобільного транспорту, як правило, велика, тому розв'язувати їх доцільно на ЕОМ. Якщо в якості обробки даних виступає ЕОМ, то розв'язання задачі можна розбити на наступні окремі етапи (рис. 1.3) [15].

Перший етап (постановка завдання) полягає у вивченні досліджуваного явища, формулюванні завдання і цілей його вирішення.

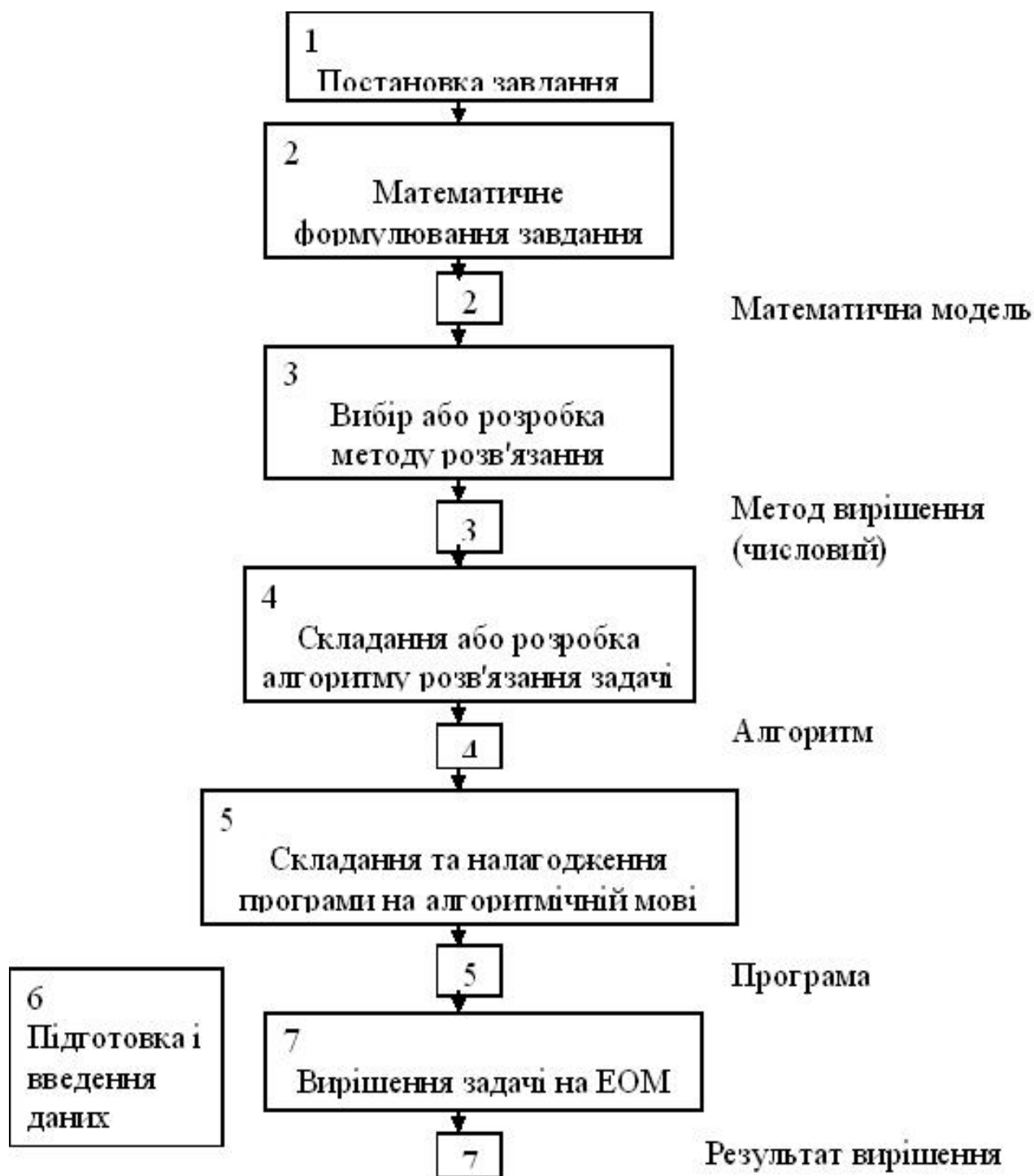


Рисунок 1.3 – Послідовність підготовки і рішення задач на EOM

Визначаються вихідні дані та очікувані результати (їх зміст, обсяг, достовірність описуваного явища).

Цей етап закінчується словесним описом завдання. Перший етап безпосередньо пов'язаний з другим - Математичне формулювання завдання. У підсумку другого етапу має бути отримана математична модель.

На третьому етапі - Розробка методу вирішення - проводиться вибір доцільного (оптимального) математичного методу вирішення поставленого завдання. Результат – математичний опис обраного методу розв'язання.

Четвертий етап - Складання алгоритму вирішення завдання. Тут виробляється детальний аналіз обраного методу розв'язання. Результат складається з необхідним ступенем деталізації за допомогою блок – схеми.

Етап - Програмування (programming) - полягає в записі розробленого алгоритму на одній з мов програмування. Етапи 5, 6, 7 відповідають етапу налагодження програми на ЕОМ.

Після отримання правильних результатів за всіма контрольними прикладами програма вважається налагодженою і готовою до експлуатації.

Етап - Вирішення задачі - полягає в отриманні результатів для різних варіантів вихідних даних. Цей етап є розрахунком за програмою.

1.6 Діагностування діяльності підприємства ТОВ «Креатив Транс» в сфері транспортних послуг

ТОВ «Креатив Транс» заснована у 2017 році. В цьому ж році компанія придбала 4 вантажні автомобілі. З початку своєї роботи ТОВ «Креатив Транс» ставила за ціль здобуття неперервного робочого процесу та постійне впровадження новітніх технологій в виробничій процес для забезпечення стабільного розвитку, якісного обслуговування та зростанню прибутку компанії. Рішучість керівництва та злагоджена робота всіх підрозділів компанії дозволили

їй за досить короткий термін зайняти лідерську позицію на ринку вантажних перевезень автомобільним транспортом у Хмельницькій області та тримати жорстку конкуренцію з іншими учасниками цього ринку.

Організаційна структура підприємства спрямована насамперед на встановлення чітких взаємозв'язків між окремими підрозділами організації, розподілу між ними прав відповідальності. У ній реалізуються різні вимоги до удосконалювання систем управління, що знаходять вираження в тих чи інших принципах управління. Організаційна структура організації і її управління не є сталою, вони постійно змінюються, удосконалюються відповідно до мінливого сьогодення.

Успіх компанії здобутий завдяки постійному інноваційному розвитку компанії, вдосконаленню виробничих процесів, а також використанню передових технологій управління.

Адреса: 31312, Хмельницька обл., Хмельницький район, село Олешин, вулиця Богдана Хмельницького, будинок 12.

ТОВ «Креатив Транс» володіє, користується, та за погодженням з засновниками розпоряджається майном, переданим засновниками до статутного фонду, а також виготовленими та придбаними товарами та іншим майном, набутих ТОВ «Креатив Транс» на законних правах, на праві повного господарського володіння.

Компанія «Креатив Транс» знаходиться наближено на 2-3 етапі життєвого циклу організації. Зараз вона розширює масштаби сегментів клієнтської бази, в управлінні використовуються правила та посадові інструкції. Це характерно для етапу «молодий вік». Стосовно третього етапу «середній вік» компанії характерні невеликі масштаби, на виробництві та у маркетингу зайняті спеціалісти-професіонали.

Продовжується формування іміджу компанії, збалансоване зростання та підтримка рівня прибутковості на оптимальному рівні.

Таким чином, можна визначити, що основними цілями компанії вважаються:

- 1) забезпечення стабільного зростання;
- 2) задоволення потреб клієнтів;
- 3) утримання статусу якісного перевізника;
- 4) підвищення кваліфікації персоналу на всіх рівнях;
- 5) розширення клієнтської бази у межах України та ближнього зарубіжжя;
- 6) удосконалення маркетингової системи;
- 7) уведення інновацій в технології управління та виробництва.

Транспортно-експедиторська діяльність на підприємстві включає в себе комплексну систему робіт та послуг по доставці та перевезенні вантажу або товару від складів клієнтів-підприємств до споживачів за допомогою вантажного автотранспорту. На ТОВ «Креатив Транс» вся транспортно-експедиторська діяльність поділяється на 2 складові:

- 1) транспортна логістика, або транспортне обслуговування, що включає в себе забезпечення доставки товару, надання автопарку та повне обслуговування вантажу та транспортних засобів;

- 2) оформлення відповідної документації, ордерів, страхування та торгових декларацій, а також контроль за виконанням доставок, за завантаженням та відвантаженням товару, оформлення замовлень та забезпечення збереження вантажу, тобто експедиторське обслуговування.

Такий простий поділ дає можливість легко контролювати та відслідковувати ефективність транспортно-експедиторської діяльності підприємства.

Етап комплектації замовлень здійснюється за рахунок підготовки товару за замовленням споживачів. Сюди входять наступні операції:

- обробка замовлення клієнта, перевірка наявності всіх товарів;
- відбір кількості потрібного товару на замовлення клієнта;
- комплектацію відібраного товару для конкретного клієнта чи для груп клієнтів за їх замовленням;

- підготовку товару до відправлення;
- документальне оформлення замовлення та їх контроль;
- об'єднання замовлень клієнтів в партію відправлення й оформлення транспортних накладних;
- відвантаження вантажів у транспортний засіб.

На ТОВ «Креатив Транс» велику увагу при підготовці та при відправленні товару приділяють документації, адже це є основним документом при розрахунках з клієнтами, його ще називають товарно-транспортною накладною. Зазвичай в документах міститься така інформація: про кількість товару, ціну та об'єм поставки. Також існують документи, що засвідчують якість товару та його комплектацію:

- підтвердження того, що товар поставлений за номенклатурою і в кількості, передбачених контрактом;
- пакувальний лист, що засвідчує в яких упаковках міститься певний вид товару і в яких кількостях;
- транспортний документ, що підтверджує прийняття товару до перевезення;
- комплектувальні відомості;
- рахунок на оплату відвантажених товарів.

Рахунок виписується постачальником на певну поставлену партію товару разом із товарно-транспортною накладною та містить такі дані:

- номер і дата його виписки постачальником;
- найменування та банківські реквізити вантажовідправника і платника;
- найменування товару, його кількість, ціна і сума, на яку відвантажено товар, з виділенням ПДВ;
- номер контракту.

Підготовка замовлень та їх оформлення як документації здійснюється через інформаційну систему. Така система дозволяє вказувати у відбірковому аркуші місце відбору товару, що значно скорочує час відбору і допомагає відслідковувати відпуск товару зі складу.

Завдяки використанню підприємство спеціальної інформаційної системи при комплектації товару значно підвищується ефективність формування поставок та максимально мінімізується час на їх збирання. Але на жаль, ця система не в змозі формувати поставки індивідуально для кожної невеликої товарної точки, тому виникають певні труднощі на етапі відвантаження товару від транспортного засобу до споживача.

1.7 Постановка задачі та завдань дослідження. Розробка гіпотези дослідження

Стратегія поведінки суб'єктів підпорядкована основній меті – завоювання найбільш вигідної позиції на транспортному ринку. Для споживача транспорту це означає по можливості максимально скоротити витрати на перевезення, досягти доступності транспорту у будь-який час, забезпечення збереження і доставки вантажу «точно в строк».

Підприємство-перевізник, зокрема, невелике молоде підприємство, має обмежені ресурси у фахових аспектах, у параметрах рухомого складу. На доставці вантажу працюють 1 автомобіль МАЗ – 5551 вантажопідйомністю $q = 7$ т і 1 автомобіль КАМАЗ–53212 вантажопідйомністю $q = 10$ т і 2 автомобілі .

При організації доставки вантажів були виявлені наступні недоліки:

1) на складах постачальників не виконується комплектація замовлень, внаслідок чого збільшується час виконання вантажних операцій на об'єктах доставки вантажів;

2) на перевезеннях не оптимально використовується вантажопідйомність автомобілів;

3) головним чином перевезення здійснюються за маятниковими маршрутами із порожнім зворотнім пробігом.

У роботі розглядається удосконалення транспортно-технологічного процесу доставки вантажів до споживачів.

Для усунення вищевказаних недоліків, які збільшують витрати підприємства, в магістерській роботі пропонується вирішення наступних задач:

1) розробка розвізних маятникових та кільцевих розвізних маршрутів руху автомобільного транспорту на основі оптимізаційних моделей лінійного програмування;

2) розробка оптимального розвізно-збирального маршруту на основі оптимізаційних моделей динамічного програмування.

Вирішення поставлених задач дозволить більш ефективно використовувати рухомий склад та зменшить транспортні витрати підприємства.

Гіпотеза дослідження.

Перевезення вантажів без марного пробігу, коли наперед відомі замовлення, середня тривалість виконання, директивні терміни їх виконання, наперед задано кількість залучених транспортних засобів, можна розглядати як багатостадійну систему обслуговування з нефіксованими маршрутами. Тому задача дослідження полягає в тому, щоб із всіх можливих варіантів виробництва обрати ту виробничу модель, яка б з одного боку задовольняла інтереси підприємства-замовника, а з другого – при наявності лімітованих ресурсів давала б максимальний ефект для автопідприємства.

Розв'язання цієї задачі можливе з використанням методів оптимізаційного моделювання, які дозволяють встановити оптимальне закріплення споживачів вантажу за постачальниками, вибрати маршрути перевезень вантажів, вирішити питання розподілу парку рухомого складу по АТП і т.д.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОСЛУГ АВТОПІДПРИЄМСТВА

2.1. Методи лінійного програмування

2.1.1 Загальні положення

При розв'язанні широкого кола задач організації технологічних процесів підприємств автомобільного транспорту використовуються методи лінійного програмування (method of linear programming) [16].

Лінійне програмування метод розв'язання екстремальних задач, для яких:

1) показник ефективності W - визначається лінійною функцією змінних

$$x_1, x_2, \dots, x_n.$$

$$W(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n; \quad (2.1)$$

2) обмеження є системою лінійних рівнянь або нерівностей виду:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m \end{cases} \quad (2.2)$$

де $i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n; x_{1,2,\dots,n} \geq 0$

У цьому випадку задача лінійного програмування (ЗЛП) формулюється так: знайти величини x_1, x_2, \dots, x_n , за яких цільова функція (2.1) досягає максимуму (мінімуму), і задовольняє обмеження (2.2).

Задачі лінійного програмування мають декілька форм запису:

1) векторна форма:

цільова функція

$$W = \bar{C}\bar{x}, \quad (2.3)$$

при обмеженнях

$$\bar{A}_1 x_1 + \bar{A}_2 x_2 + \dots + \bar{A}_n x_n \leq \bar{B},$$

де $\bar{C}\bar{x}$ – скалярний добуток векторів

$$\bar{C} = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}; \quad \bar{x} = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}.$$

Вектори,

$$\bar{A}_1 = \begin{Bmatrix} a_{11} \\ a_{21} \\ \dots \\ a_{m1} \end{Bmatrix} \quad \bar{A}_2 = \begin{Bmatrix} a_{12} \\ a_{22} \\ \dots \\ a_{m2} \end{Bmatrix} \quad \dots \quad \bar{A}_n = \begin{Bmatrix} a_{1n} \\ a_{2n} \\ \dots \\ a_{mn} \end{Bmatrix} \quad \bar{B} = \begin{Bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_m \end{Bmatrix}$$

елементами яких є відповідно коефіцієнти при невідомих і вільні члени.

2) матрична форма запису:

цільова функція

$$W = CX, \tag{2.4}$$

при обмеженнях

$$AX \leq B,$$

де $C = (C_1, C_2, \dots, C_n)$ - матриця-рядок;

$X = \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \dots \\ x_n \end{pmatrix}$ - матриця-стовпець;

$A = (a_{ij}) = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & \dots & a_{1n} \\ a_{21} & a_{22} & \dots & a_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ a_{m1} & a_{m2} & \dots & a_{mn} \end{pmatrix}$ - матриця системи;

CX і AX – добутки відповідних матриць;

$B = \begin{pmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \dots \\ b_n \end{pmatrix}$ - матриця-стовпець.

3) запис за допомогою знаків сум:

цільова функція

$$W = \sum_{j=1}^n C_j x_j \rightarrow (\max(\min)), \tag{2.5}$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^n a_{ij} x_j \leq b_j; \quad i = 1, 2, \dots, m..$$

Система обмежень (2.2) визначає область допустимих розв'язків (ОДР).
Зобразимо ОДР для двовимірного випадку, тобто на площині x_1 О x_2 (рис. 2.1.).

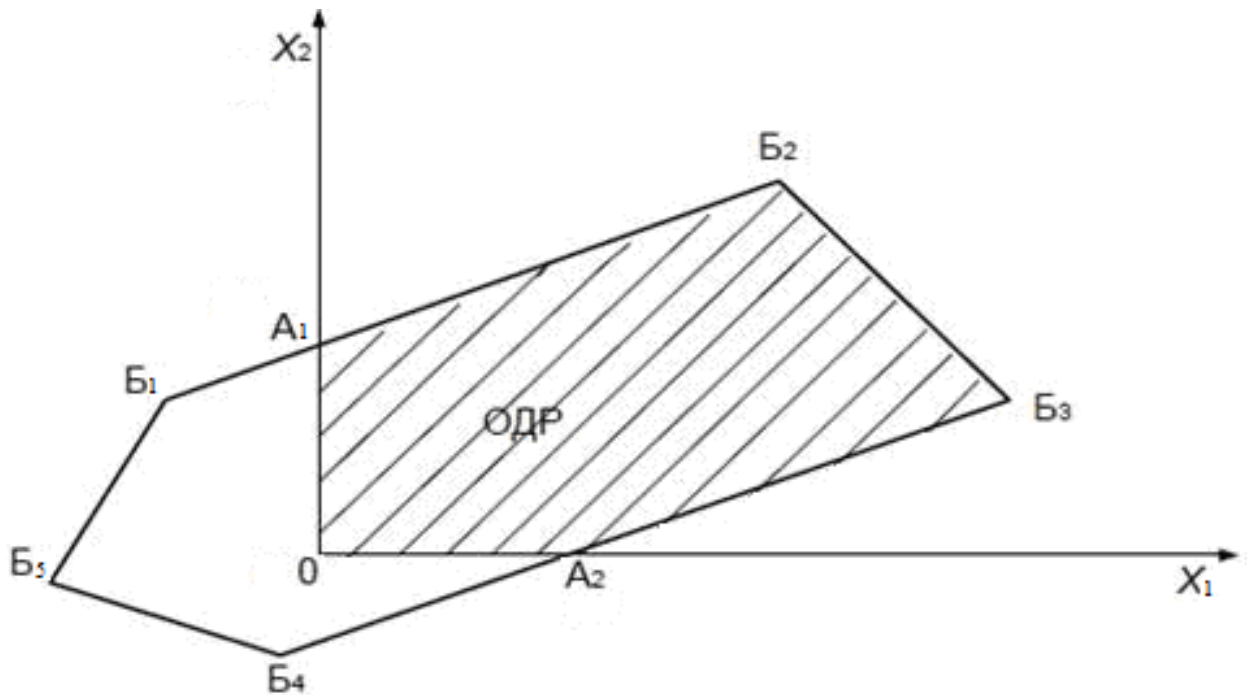


Рисунок 2.1 – Область допустимих розвозів ЗЛП для двовимірного випадку

Тоді:

- 1) $B_1B_2B_3B_4B_5B_1$ – багатокутник розв'язків системи обмежень;
- 2) $A_1B_2B_3A_2OA_1$ - область допустимих розв'язків (ОДР) задачі, оскільки $x_1 \geq 0, x_2 \geq 0$;
- 3) вершини багатокутника, для яких виконуються умови $x_{1,2} \geq 0, A_1, B_2, B_3, A_2$ називають опорними точками;
- 4) значення цільової функції в опорних точках називають опорними розв'язками;
- 5) в вершинах - O, A_1, B_2, B_3, A_2 - цільова функція може досягати свого екстремального значення $W \rightarrow \max(\min)$, яке називають оптимальним розв'язком.

2.1.2 Двоїста задача лінійного програмування

Кожна задача лінійного програмування, що задається системою лінійних нерівностей з невід'ємними змінними, може мати форму прямої задачі та задачі, двоїстої до прямої.

Нехай маємо пряму задачу (початкову).

Знайти значення $x_j \geq 0$ і мінімум цільової функції $W(x)$ при обмеженнях.

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \geq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \geq b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \geq b_m, \end{cases} \quad (2.6)$$

де $W(x) = C_1x_1 + C_2x_2 + \dots + C_nx_n \rightarrow \min$.

Побудова двоїстої задачі:

- 1) транспонувати матрицю коефіцієнтів системи обмежень;
- 2) поміняти ролями вільні члени системи обмежень і коефіцієнти цільової функції;
- 3) змінити напрямки нерівностей;
- 4) в цільовій функції замінити \min і \max .

Двоїста задача матиме вигляд.

Знайти значення $y_i \geq 0$ і максимум цільової функції $Z(y)$ за умови:

$$\begin{cases} a_{11}y_1 + a_{12}y_2 + \dots + a_{1n}y_n \leq C_1 \\ a_{21}y_1 + a_{22}y_2 + \dots + a_{2n}y_n \leq C_2 \\ \dots \\ a_{m1}y_1 + a_{m2}y_2 + \dots + a_{mn}y_n \leq C_n, \end{cases} \quad (2.7)$$

де $Z(y) = b_1y_1 + b_2y_2 + \dots + b_my_m \rightarrow \max$.

Зауважимо.

- 1) двоїста задача до двоїстої – є прямою задачею;

- 2) перехід до двоїстої задачі дозволяє скоротити обсяги розрахунків;
- 3) за розв'язком однієї з двоїстих задач можна знайти оптимальний розв'язок іншої, що підтверджується теорією двоїстості.

Теорема двоїстості. Якщо з пари двоїстих задач одна має оптимальний розв'язок, то й інша має оптимальний розв'язок, причому для екстремальних значень цільової функції виконується співвідношення:

$$\min W(x) = \max z(y). \quad (2.8)$$

2.1.3 Основні методи розв'язання ЗЛП

Графічний метод розв'язування задач лінійного програмування

Графічний метод застосовується для розв'язання ЗЛП, записаних в стандартній формі, що містять дві змінні.

Нерівність $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1$ задає на площині півплощину, обмежену прямою $a_{11}x_1 + a_{12}x_2 \leq b_1$.

Півплощина є опуклою областю. Переріз скінченної кількості півплощин може бути: пустою множиною; точкою; відрізком, променем або прямою; обмеженим опуклим багатокутником; необмеженим опуклим багатокутником.

Розглянемо ЗЛП:

$$z = C_0 + C_1x_1 + C_2x_2 \rightarrow \text{opt} \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 &\leq b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 &\leq b_2 \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \end{aligned} \quad (2.10)$$

$$\begin{aligned} a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 &\leq b_m \\ x_1 &\geq 0, \quad x_2 \geq 0 \end{aligned} \quad (2.11)$$

Множина, яка є перерізом півплощин, заданих нерівностями (2.10), (2.11) називається областю допустимих розв'язків (ОДР).

Якщо ОДР є порожня множина, то ЗЛП не має сенсу.

Якщо ОДР – одна точка, то максимум і мінімум співпадають.

ОДР обмежений многокутник. В цьому випадку цільова функція має обидва оптимуми.

ОДР необмежений многокутник. В цьому випадку один із оптимумів не існує (ЗЛП не має розв'язку).

Цільова функція досягає найбільшого і найменшого значення на межі ОДР.

Алгоритм графічного методу

Крок 1.

Будуємо ОДР.

Крок 2.

Будуємо вектор цілі $W = (C_1, C_2)$. В напрямку цього вектора цільова функція буде зростати.

Крок 3.

Будуємо лінію нульового рівня $C_1x_1 + C_2x_2 = 0$.

Крок 4.

Переносимо цю пряму паралельно самій собі, до тих пір доки не з'являться спільні точки з межею області. В цих точках цільова функція досягає мінімуму, якщо така точка одна – то мінімум єдиний, якщо це відрізок або промінь то мінімумів безліч.

Переносячи лінію рівня паралельно далі в напрямку вектора цілі, знаходимо положення, після якого вона вже не буде мати спільних точок з ОДР. В цьому положенні вона має спільні точки тільки з границею області, і в цих точках досягає максимуму, якщо ця точка єдина, то максимум єдиний, якщо це відрізок або промінь, то їх безліч.

Зауважимо. Графічний метод можна розповсюдити на випадок трьох змінних.

Симплексний метод розв'язання задач лінійного програмування

Нехай потрібно знайти \max (\min) цільової функції:

$$W = \sum_{j=1}^n C_j x_j \quad (2.12)$$

при обмеженнях

$$\sum_{j=1}^n C_j x_j \leq b_j \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.13)$$

де $x_j \geq 0$;

a_{ij}, b_i, C_j – сталі величини (коефіцієнти).

Для розв'язання ЗЛП застосовують різні чисельні методи. Одним з найбільш поширених (універсальних) методів є симплексний метод (табличний). Для розв'язання ЗЛП симплекс-методом попередньо необхідно провести наступні перетворення:

1) рівняння системи обмежень (2.2) записати в канонічному вигляді, для чого замінюємо нерівності (2.2) рівностями шляхом уведення додаткових невід'ємних змінних. Одержуємо:

$$\begin{cases} a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n + x_{n+1} = b_1 \\ a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n + x_{n+2} = b_2 \\ \dots \\ a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n + x_{n+m} = b_m, \end{cases} \quad (2.14)$$

де $x_{n+1}, x_{n+2}, \dots, x_{n+m}$ - деякі нові невід'ємні змінні, які називають додатковими (фіктивними);

2) додаткові змінні можна ввести і в цільову функцію з нульовими коефіцієнтами. Тоді отримаємо:

$$W(x) = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n + 0x_{n+1} + 0x_{n+2} + \dots + 0x_{n+m}. \quad (2.15)$$

Зауважимо.

- 1) форма ЗЛП у вигляді рівнянь (2.14) із цільовою функцією (2.15) називають канонічною;
- 2) додаткові змінні x_{n+1} і т.д. невід'ємні, як і x_1, \dots, x_n ;
- 3) загальна кількість змінних буде $n_1 = n + m$, де n - початкові, m - додаткові (дорівнює кількості рівнянь);
- 4) завжди можливий обернений перехід.

На перший погляд перехід ЗЛП до канонічної форми ускладнює задачу, але виявляється, що це дозволяє більш ефективно провести дослідження задачі на оптимальність.

Алгоритм симплексного методу

Опишемо алгоритм симплекс-методу для загальної канонічної задачі лінійного програмування (2.14), (2.15). Допустимим розв'язком назвемо всякий розв'язок системи (2.14), що задовольняє умови $x_j \geq 0$. Допустимий розв'язок, на якому цільова функція (2.15) набуває максимального значення, назвемо оптимальним.

Залежно від матриці системи (2.14) можливі наступні випадки:

- 1) система (2.14) не має розв'язків, тобто несумісна. У цьому випадку задачу лінійного програмування не можна розв'язати;
- 2) система (2.14) не має допустимих розв'язків, а отже, задача лінійного програмування не має розв'язку;
- 3) система (2.14) має єдиний допустимий розв'язок. У цьому випадку єдиний розв'язок системи (2.14) є оптимальним;
- 4) система (2.14) має нескінченну множину допустимих розв'язків, але цільова функція не обмежена на цій множині допустимих розв'язків, а, отже, задача лінійного програмування нерозв'язна;
- 5) система (2.14) має множину допустимих розв'язків, і цільова функція обмежена на множині допустимих розв'язків. У цьому випадку задача лінійного програмування має оптимальний розв'язок. Будемо надалі вважати, що задача (2.14), (2.15) має оптимальний розв'язок.

Симплекс-метод полягає в послідовній побудові таких опорних розв'язків, коли кожний наступний збільшує цільову функцію і максимум досягається за скінчену кількість кроків.

Узагальнений алгоритм симплексного методу розв'язання ЗЛП наведено в симплекс-таблицях і включає наступну послідовність операцій:

1) рівняння системи обмежень запишемо в канонічному вигляді;

Для цього:

а) замінимо нерівності рівностями шляхом уведення додаткових (фіктивних) змінних;

б) елементарними перетвореннями добиваємось, щоб всі вільні члени системи обмежень були невід'ємними.

2) знаходимо перший опорний розв'язок;

Для цього:

а) усі змінні n_1 розбиваємо на m - базисних і $k=n-m$ - вільних;

б) в якості базисних змінних вибираємо додаткові змінні;

в) вважаючи, що всі вільні змінні дорівнюють нулю отримуємо перший опорний розв'язок.

3) обчислюємо значення

$$z = \sum_{i=1}^m C_i b_i + C_0, \quad \Delta_j = \sum_{i=1}^m C_i a_{ij} + C_j \quad (2.16)$$

і визначаємо оптимальність прийнятого розв'язку за правилами:

1) якщо всі оцінки вільних змінних невід'ємні ($\Delta_j \geq 0$), то отриманий базисний розв'язок є оптимальним. При чому, якщо всі оцінки додатні ($\Delta_j > 0$), то даний розв'язок єдиний. Якщо ж серед оцінок вільних змінних є нулі, то оптимальних розв'язків безліч, і отриманий є одним із них;

2) серед оцінок вільних змінних є від'ємні, але всі елементи стовпчика, що знаходиться над найменшою від'ємною оцінкою не додатні. Тоді ЗЛП розв'язків не має;

3) серед оцінок вільних змінних є від'ємні, але серед елементів стовпчика, що знаходиться над найменшою від'ємною оцінкою є додатні. Тоді даний розв'язок не є оптимальним і необхідно перейти до нового базисного розв'язку;

4) за відсутності оптимальності за певним правилом видаляємо з базисних одну змінних і вводимо іншу з числа вільних;

5) проводимо повторну перевірку на оптимальність.

Зауважимо. Для впорядкування переходу від одного опорного розв'язку до іншого користуємося ітераційними таблицями.

Алгоритм симплексного методу в симплексних таблицях

Крок 1.

Записуємо вихідну симплекс таблицю.

x_1	x_2	...	x_p	...	x_m	x_{m+1}	...	x_q	...	x_n	B	C	X	
C_1	C_2	...	C_p	...	C_m	C_{m+1}	...	C_q	...	C_n	$-C_0$			
1	0	...	0	...	0	$a_{1,m+1}$	...	a_{1q}	...	a_{1n}	b_1	C_1	x_1	b_1 / a_{1q}
0	1	...	0	...	0	$a_{2,m+1}$	...	a_{2q}	...	a_{2n}	b_2	C_2	x_2	b_2 / a_{2q}
...	
0	0	...	1	...	0	$a_{p,m+1}$	...	a_{pq}	...	a_{pn}	b_p	C_p	x_p	b_p / a_{pq}
...	
0	0	...	0	...	1	$a_{m,m+1}$	...	a_{mq}	...	a_{mn}	b_m	C_m	x_m	b_m / a_{mq}
$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 0$	...	$\Delta_p = 0$	...	$\Delta_m = 0$	Δ_{m+1}	...	Δ_q	...	Δ_n	Z			

В першому рядку записуємо коефіцієнти цільової функції. В основній частині записуємо матрицю коефіцієнтів системи виробничих обмежень. В останніх двох стовпчиках записуємо базисні змінні і відповідні їм коефіцієнти цільової функції.

Базисний розв'язок: $\bar{x}_0 = (b_1, b_2, \dots, b_q, \dots, b_m, 0, \dots, 0)$

Крок 2.

Нижній рядок називається індексним, або оціночним. Його елементи обчислюються за формулами (2.16), з яких видно, що оцінки базисних змінних дорівнюють нулю.

Крок 3.

Перевіряємо отриманий розв'язок на оптимальність за вище зазначеними правилами.

Крок 4.

Знаходимо розв'язувальний елемент.

Стовпчик з найменшою від'ємною оцінкою називається розв'язувальним. Якщо таких стовпчиків декілька, то розглядаються усі.

Далі, знаходимо відношення елементів стовпчика В до відповідних додатних елементів розв'язувального стовпчика. Рядок, для якого це відношення найменше, називають розв'язувальним.

Елемент, що знаходиться на перетині розв'язувального рядка і розв'язувального стовпчика називають розв'язувальним елементом. Якщо таких елементів декілька, то обираємо будь-який з них.

Нехай найменша від'ємна оцінка Δq , тоді стовпчик x_q є розв'язувальним. Нехай найменшим буде відношення b_q/a_{pq} , тоді рядок x_p є розв'язувальним. Таким чином розв'язувальним буде елемент a_{pq} .

Крок 5.

Симплекс – перетворення. Елементи розв'язувального рядка ділимо на розв'язувальний елемент

$$a_{pj}^{\otimes} = \frac{a_{pj}}{a_{pq}}, \quad b_p^{\otimes} = \frac{b_p}{a_{pq}},$$

а всі інші елементи розраховуємо за формулами прямокутників:

$$a_{ij}^{\otimes} = a_{ij} - \frac{a_{iq}a_{pj}}{a_{pq}}, \quad b_i^{\otimes} = b_i - \frac{a_{iq}b_p}{a_{pq}}.$$

В результаті перетворення змінна x_p стане вільною, а x_q - базисною. Всі інші базисні змінні залишаються базисними.

Після цього повертаємось до кроку 2.

x_1	x_2	...	x_p	...	x_m	x_{m+1}	...	x_q	...	x_n	B	C	X
C_1	C_2	...	C_p	...	C_m	C_{m+1}	...	C_q	...	C_n	$-C_0$		
1	0	...	a_{1p}^{\otimes}	...	0	$a_{1,m+1}^{\otimes}$	...	0	...	a_{1n}^{\square}	b_1^{\square}	C_1	x_1
0	1	...	a_{2p}^{\otimes}	...	0	$a_{2,m+1}^{\otimes}$	...	0	...	a_{2n}^{\square}	b_2^{\square}	C_2	x_2
...
0	0	...	a_{qp}^{\square}	...	0	$a_{q,m+1}^{\otimes}$	...	1	...	a_{qn}^{\square}	b_q^{\square}	C_p	x_p
...
0	0	...	a_{mp}^{\square}	...	1	$a_{m,m+1}^{\otimes}$	...	0	...	a_{mn}^{\square}	b_m^{\square}	C_m	x_m
$\Delta_1 = 0$	$\Delta_2 = 0$	...	Δ_p	...	$\Delta_m = 0$	Δ_{m+1}	...	$\Delta_q = 0$	...	Δ_n		Z	

Ітераційні таблиці, складані за наведеними правилами, дозволяють здійснювати перехід від гіршого розв'язку до кращого, до отримання оптимального розв'язку.

2.2 Специфічна ЗЛП – транспортна задача

2.2.1 Формулювання транспортної задачі

Задача оптимізації вантажопотоків розв'язуються методами лінійного програмування, які дозволяють встановити оптимальне закріплення споживачів вантажу за постачальниками, вибрати маршрути перевезень вантажів, вирішити питання розподілу парку рухомого складу по АТП і т.д.

В якості критеріїв оптимальності беруть пробіг рухомого складу, час доставки вантажу, грошові або трудові витрати.

Окремим випадком задачі лінійного програмування є транспортна задача, яка формулюється так:

Маємо m постачальників (A_1, A_2, \dots, A_m) , які володіють запасами однорідного вантажу - (a_1, a_2, \dots, a_m) а також є n споживачів (B_1, B_2, \dots, B_n) , яким необхідно завести (b_1, b_2, \dots, b_n) тон вантажу, а також відомі відстані між грузопунктами.

Необхідно так закріпити постачальників за споживачами, щоб затрати на перевезення були мінімальними (тобто досягався міні транспортної роботи).

Вихідні дані транспортної задачі представляють, зазвичай, у вигляді таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідні дані транспортної задачі

Пункти відправлення	Пункти призначення				Запаси a_{ij}
	B_1	B_2	...	B_n	
A_1	$l_{11}x_{11}$	l_{12} x_{12}	...	l_{1n} x_{1n}	a_1
A_2	$l_{21}x_{21}$	l_{22} x_{22}	...	l_{2n} x_{2n}	a_2
...
A_m	l_{m1} x_{m1}	l_{m2} x_{m2}	...	l_{mn} x_{mn}	a_m
Потреби b_j	b_1	b_2	...	b_n	$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j$

Математична модель транспортної задачі в загальному вигляді записується в такій формі.

Цільова функція

$$W = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} l_{ij} \rightarrow \min$$

обмеження

$$\left\{ \begin{array}{l} \sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i=1,2,\dots,m \\ \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j=1,2,\dots,n \end{array} \right\}. \quad (2.17)$$

Необхідно знайти такі невід'ємні значення змінних $x_{ij} \geq 0$, що задовольняють обмеження, а цільова функція при цьому досягає мінімуму.

При розв'язанні задачі оптимального закріплення споживачів вантажу за постачальниками символам виразів (2.17) можна надати наступний фізичний зміст:

m - кількість постачальників;

n - кількість споживачів;

a_i - кількість вантажу, що відправляється i -им постачальником;

b_j - кількість вантажу, що доставляється j -му споживачеві;

x_{ij} - кількість вантажу, що доставляється від i -го постачальника j -му споживачеві.

L_{ij} - відстань між i -им і j -им пунктами.

2.2.2 Послідовність розв'язання транспортної задачі

У розв'язанні транспортної задачі виділяють три етапи:

- 1) визначення початкового плану перевезень;
- 2) перевірка отриманого плану на оптимальність;
- 3) перехід до нового плану перевезень з перевіркою на оптимальність.

Перший етап.

Початковий план перевезень прийнято встановлювати методом північно-західного кута або методом найменшої вартості.

Метод північно-західного кута полягає в тому, що спочатку повністю задовольняються потреби першого споживача (якщо це можливо) за рахунок першого постачальника, залишок передається другому споживачу і т.д. Одночасно потрібно стежити за тим, щоб дотримувався балансу по рядках і стовпцях. Цей метод дозволяє легко знайти початковий план перевезень, але він, як правило, далекий від оптимального.

Метод найменшої вартості передбачає першочергове заповнення тих клітин, які містять найменшу відстань перевезень (найменшу вартість). При цьому план перевезень, як правило, буде ближчим до оптимального.

Другий етап.

Перевірка початкового плану на оптимальність може здійснюватися різними методами. Найбільш поширеним є метод потенціалів. Відповідно до даного методу для отримання оптимального плану перевезень x_{ij} необхідним і достатнім є уведення допоміжних чисел ($U_i, i = 1, 2, \dots, m$ і $V_j, j = 1, 2, \dots, n$), так званих потенціалів, для яких виконуються умови:

$$V_j + U_i = l_{ij}, x_{ij} > 0 \quad (2.18)$$

$$V_j + U_i \leq l_{ij}, x_{ij} = 0 \quad (2.19)$$

де V_j - потенціал j -го стовпця, U_i - потенціал i -го рядка.

Умова (2.18) має дотримуватися для зайнятих клітин таблиці, а умова (2.19) - для вільних. Якщо умова оптимальності (2.18) не дотримується хоча б для однієї клітки, це означає, що отриманий план перевезень не є оптимальним і потрібно шукати інший.

Знайдемо оцінки вільних клітин за формулою:

$$\Delta_{ij} = C_{ij} - (U_i + V_j). \quad (2.20)$$

1) якщо оцінки всіх вільних змінних невід'ємні, то даний розв'язок є оптимальним. При цьому, якщо всі вони додатні, то він єдиний, а якщо серед них є нулі, то мінімумів безліч, і знайдений нами є один із них;

2) якщо серед оцінок вільних змінних є від'ємні, то розв'язок не є оптимальним і необхідно перейти до нового базису.

Третій етап.

Перехід до нового базису. Знаходимо клітину з найменшою від'ємною оцінкою (2.20). Якщо їх декілька, то можемо вибрати будь-яку (бажано з меншою вартістю перевезень), її позначаємо знаком «+» і будуємо із неї цикл.

Означення. Циклом називається замкнута ламана лінія, ланки якої паралельні рядкам і стовпчикам, всі вершини, крім початкової, знаходяться в заповнених клітинах.

Властивості:

- для кожної вільної клітини існує один і тільки один цикл;
- кількість вершин циклу є парною;
- цикл може перетинати сам себе тільки у вільних клітинах;
- заповнені клітини ніколи не утворюють цикл.

Вершини циклу по чергово позначаємо знаками «+» і «-». В клітинах, позначених знаком «-» знаходимо найменшу кількість сировини, яку віднімаємо від кількості усіх клітин з «-» і додаємо до кількості усіх клітин з «+». В результаті одна клітина стане вільною, а клітина з найменшою від'ємною оцінкою стане заповненою.

Зауважимо. Якщо найменша кількість є в декількох клітинах зі знаком «-», то звільняємо лише одну з них (не має значення яку, бажано з більшою вартістю перевезень), а інші вважаємо заповненими з кількостями «0».

Потім повертаємось до кроку 2, тобто перевіряємо новий план на оптимальність.

Відкриті моделі транспортних задач

Введемо позначення: $A = a_1 + a_2 + \dots + a_m$, $B = b_1 + b_2 + \dots + b_n$. Якщо не виконується умова $A = B$, то задачу називають відкритою.

Якщо запаси перевищують потреби, то вводимо фіктивного споживача з потребами $\delta = A - B$. Якщо потреби перевищують запаси, то вводимо фіктивного постачальника з запасами $\delta = B - A$. При цьому вартості перевезень за фіктивними маршрутами вважаємо рівними нулю.

Далі задача розв'язується так само, як і замкнута.

Принципи та методи лінійного програмування застосуємо до задачі розробки раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів.

2.3 Методи динамічного моделювання

Динамічне програмування (dynamic programming) – особливий метод розв'язання оптимізаційних задач. Особливістю даного методу є те, що для знаходження оптимального розв'язку задача розбивається на етапи (кроки) і оптимальний розв'язок шукається поступово крок за кроком [16, 17]. Методом динамічного програмування розв'язуються такі завдання організації технологічних процесів на підприємстві автомобільного транспорту:

- завдання маршрутизації;
- завдання заміни обладнання та рухомого складу;
- оптимізація управління запчастинами;
- оптимізація розподілу ресурсів та ін.

2.3.1 Постановка задачі

Знайти найкоротший шлях з пункту A в пункт B на певній мережі (карті-плані місцевості з проміжними пунктами (заправками, СТО, пунктами

харчування і підпочинку та іншими об'єктами дорожньо-транспортного руху)). З точки зору інтересів оптимізації після кожного найближчого кроку (вибору найкоротшої відстані з точки A_i -в точку A_j , обирається наступний пункт призначення i , таким чином, розробляється оптимальний маршрут руху з мінімальними витратами часу. Тобто маємо деяку систему (маршрут руху автомобільного транспорту), яка з плином часу може міняти свій стан (процес руху від пункту до пункту), тобто в системі відбувається певний процес. Поставимо задачу керувати цим процесом.

Отже, система S (маршрут) може з початкового стану S_0 перейти в кінцевий стан S_m , але не просто, а під дією деякого керування U (рис. 2.2.)

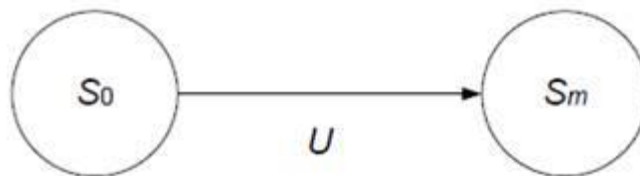


Рисунок 2.2 – Схема станів системи

Керування має бути таким, щоб воно дало певний «виграш», який позначимо через W . Цей виграш залежить від керування, тобто:

$$W = f(U). \quad (2.21)$$

де U – можливі керування.

Очевидно, що ми повинні знайти таке керування, при якому виграш буде максимальним, тобто:

$$W_{max} = \max\{f(u)\}, \quad (2.22)$$

де u – оптимальне керування;

\max – максимум по u , тобто максимальне значення $f(u)$ при всіх можливих керуваннях U .

Отже, загальну задачу динамічного програмування можна сформулювати так: із множини можливих керувань U необхідно знайти таке оптимальне керування U , яке переводить систему S з початкового стану S_0 в кінцевий стан S_m так, щоб при цьому виграш W прямував до максимуму (мінімуму).

2.3.2 Принципи оптимізації

Принципи оптимізації зводяться до наступного:

а) процес переміщення системи зі стану S_0 в стан S_m розбивається штучно або природно на кілька кроків (етапів) (рис. 2.3. і 2.4.);

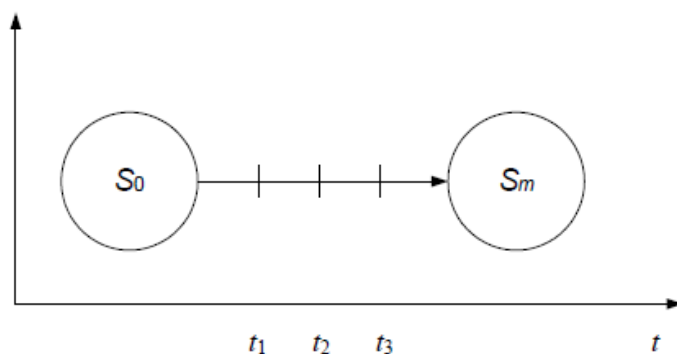


Рисунок 2.3 –Процес переміщення системи зі стану S_0 в стан S_m

У даному випадку маємо 4 кроки.

б) виконується покрокова оптимізація (turn-based optimization), яка полягає в отриманні виграшу на кожному кроці.

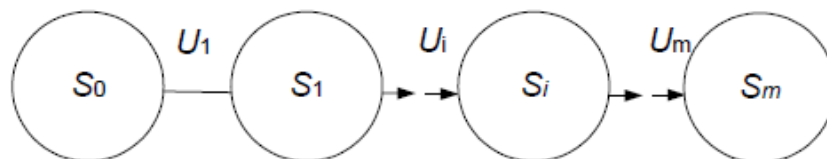


Рисунок 2.4 –Процес переміщення системи зі стану S_0 в стан S_m , розбитий на декілька кроків

Якщо виберемо на першому кроці керування U_1 , то виграш на цьому кроці від прийнятого керування складе:

$$W_1 = f(S_0, U_1). \quad (2.23)$$

Для i -го кроку з керуванням U_i виграш складе:

$$W_i = f(S_{i-1}, U_i) \text{ і т.д.} \quad (2.24)$$

Тобто виграш на i -му кроці є функцією стану і прийнятого керування.

Процедура побудови оптимального керування включає дві стадії: попередню (умовну); остаточну (безумовну).

Попередня (умовна) оптимізація (conventional optimization) проводиться по кроках у зворотному порядку – від останнього кроку до першого. На попередній стадії визначається для кожного кроку умовне оптимальне керування і умовний оптимальний виграш. Остаточна (безумовна) оптимізація проводиться також по кроках, але в природному порядку - від першого кроку до останнього.

На остаточній стадії визначається для кожного кроку остаточне (безумовне) оптимальне керування і безумовний оптимальний виграш.

В основі процедури оптимізації задач динамічного програмування лежить рівняння Беллмана, до розгляду якого і перейдемо.

2.3.3 Основне рівняння динамічного програмування

Нехай маємо задачу динамічного програмування, яка розглядає процес переходу системи S зі стану S_0 у стан S_m [17].

Для розв'язання цієї задачі процес переходу системи зі стану S_0 в стан S_m розбиваємо на t кроків. Одержимо (рис. 2.5).

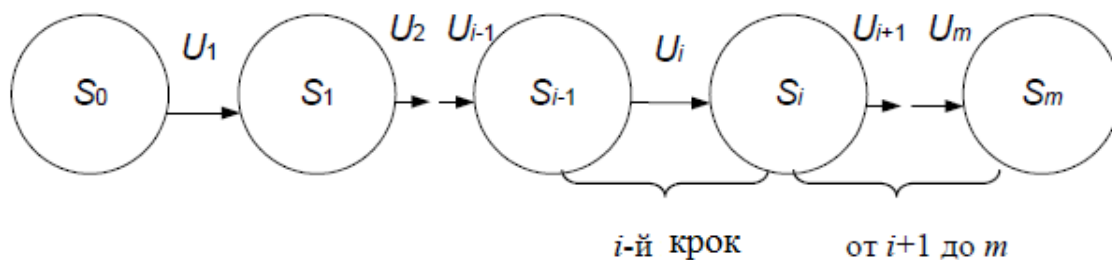


Рисунок 2.5 – Процес переходу системи зі стану S_0 в стан S_m
розбиваємо на m кроків

Будемо керувати цим процесом, тобто приймати керування $U_1 \rightarrow U_2 \rightarrow \dots$

1. Виберемо на i -му кроці керування U_i , яке дає на цьому кроці виграш W_i ,

$$W_i = f(S_{i-1}U_i) = W_i(S_{i-1}U_i). \quad (2.25)$$

Подібний виграш ми можемо мати на кожному кроці від 1 до m .

2. Позначимо оптимальний загальний виграш, одержуваний на всіх кроках наступних за i , через

$$W_{i+1}^*(S_i) \quad (2.26)$$

загальний виграш на кроках від $(i+1)$, ..., до m , який вибирається оптимальним.

3. Таким чином, загальний виграш, який ми маємо на всіх кроках, починаючи з i -го, можемо представити формулою:

$$W_i(S_{i-1}) = w(S_{i-1}U_i) + W_{i+1}^*(S_i) \quad (2.27)$$

тобто загальний виграш дорівнює сумі виграшів:

- виграша на i -му кроці - w_i ;
- оптимального виграша на всіх наступних кроках, починаючи з, $i + 1$ до m - $W_{i+1}^*(S_i)$

4. Відповідно до принципу оптимізації, ми повинні вибрати на, i -му кроці таке керування $W_i^* = W_i^*(S_{i-1})$, при якому виграш був би максимальним, тобто:

$$W_i^*(S_{i-1}) = \max_{U_i} \{w_i(S_{i-1}U_i) + W_{i+1}^*(S_i)\}. \quad (2.28)$$

Вираз (2.28) характеризує умовний оптимальний виграш на всіх кроках з, i -го до m (до кінця) і називається рекурентним рівнянням Беллмана.

Обчислення складових виразу (2.28) починають з останнього m -го кроку.

2.3.4 Попередня (умовна) оптимізація

Використовуючи рівняння (2.28) визначимо умовний оптимальний виграш на останньому кроці m :

$$W_m^*(S_{m-1}) = \max\{W_m(S_{m-1}, U_m)\}. \quad (2.29)$$

Зазначимо, що останній доданок у формулі (2.28) дорівнює 0, тому за S_m немає іншого стану.

Вираз (2.29) визначає умовний оптимальний виграш на останньому кроці, який досягається при керуванні:

$$U_m = u_m(S_{m-1}). \quad (2.30)$$

Схематичні співвідношення (2.28) і (2.29) можна проілюструвати рисунком 2.6.

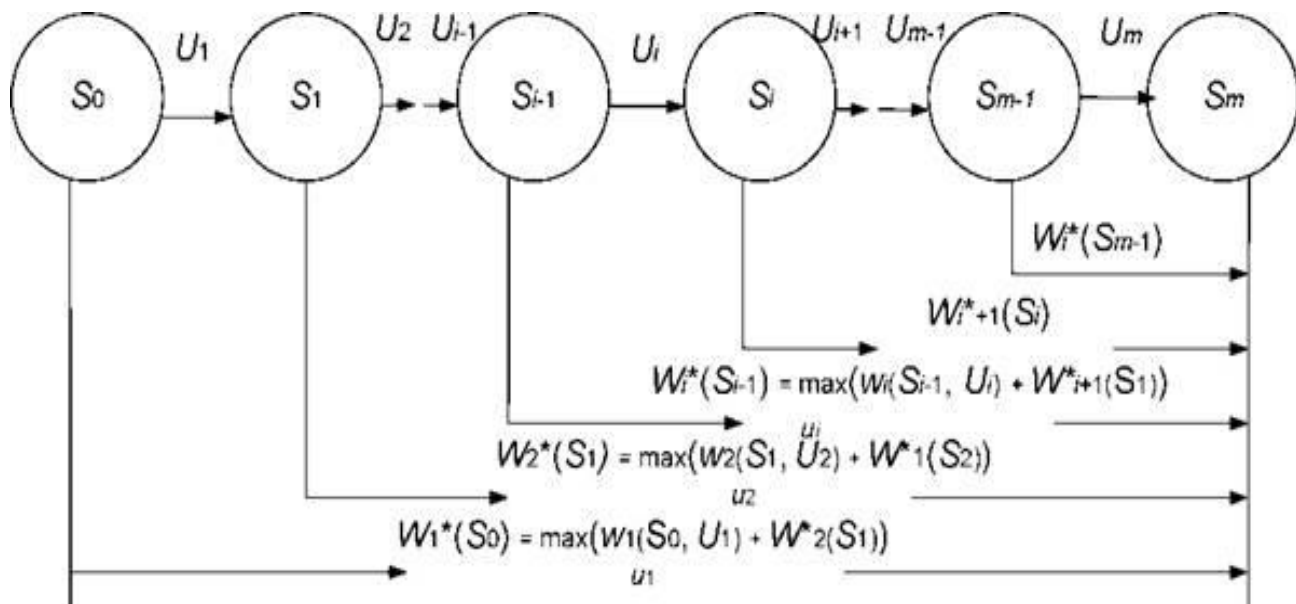


Рисунок 2.6 – Ілюстрація співвідношення (2.28) і (2.29)

Отже, знаючи виграш на m кроці, можемо знайти виграш на кроці $m - 1$, для чого використовуємо рекурентну формулу (2.28), тобто використовуючи вираз (2.28), можемо побудувати весь ланцюжок умовних оптимальних керувань і умовних оптимальних виграшів.

Дійсно, знаючи $W_m^*(S_{m-1})$ можна за рекурентним рівнянням Беллмана (2.28) знайти $W_{m-2}^*(S_{m-2})$ і $u_{m-1}(S_{m-2})$, а потім $W_{m-2}^*(S_{m-3})$ і $u_{m-2}(S_{m-3})$ і т. д. до останнього від кінця (першого) кроку.

$$W_1^*(S_1) \text{ і } U_1(S_0). \quad (2.31)$$

Функція $W_1^*(S_0)$ – є умовним оптимальним виграшем за всю операцію, тобто на всіх кроках, починаючи з останнього, і до першого.

На цьому попередня оптимізація закінчується: знайдені умовний оптимальний виграш і умовне оптимальне керування для кожного кроку.

2.3.5 Остаточна (безумовна) оптимізація

Припустимо, що початковий стан S_0 нам повністю відомий. Підставимо цей стан S_0 у формулу для умовного оптимального виграшу $W_1^*(S_0)$.

Отримаємо:

$$W_{max} = W_1^*(S_0) \quad (2.32)$$

а оптимальне керування на цьому кроці:

$$U_1 = u_1(S_0) \quad (2.33)$$

Далі, знаючи початковий стан S_0 і керування U_1 , можемо знайти стан S_1^* системи після першого кроку:

$$S_1^* = \varphi_1(S_0, u_1). \quad (2.34)$$

Знаючи стан S_1^* , можна знайти оптимальне керування на другому кроці:

$$U_2 = u_2(S_1^*) \quad (2.35)$$

а потім

$$S_2^* = \varphi_2(S_1^*, u_2) \quad (2.36)$$

Таким чином, йдучи по ланцюгу (рис. 2.7.), Ми визначимо одним за одним всі кроки оптимального керування та оптимальне керування операцією в цілому

$$u = f(u_1, u_2, \dots, u_m). \quad (2.37)$$

На цьому процес оптимізації закінчується.

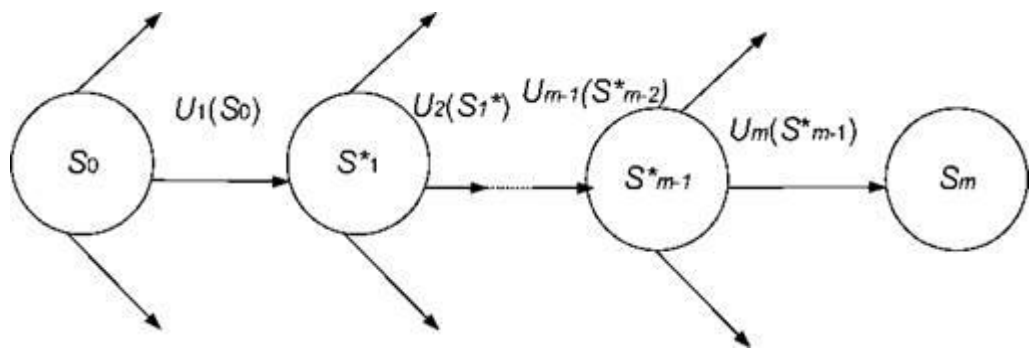


Рисунок 8.6 – Кроки оптимального керування

Принципи та методи динамічного програмування застосуються до задачі вибору найкоротшого маршруту на транспортній мережі.

3. ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ МАРШРУТИЗАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВА АВТОМОБІЛЬНОГО ТРАНСПОРТУ ТОВ «КРЕАТИВ ТРАНС» ТА РЕЗУЛЬТАТИ ЇЇ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1 Методи раціональної організації перевезення вантажів

Дослідниками виділяється транспортна група технологічних операцій, що включає операції перевезення [18]. Стосовно до вантажних автомобільних перевезень - це сукупність прийомів, способів і методів переміщення вантажів від виробників до споживачів продукції [19]. Процес доставки вантажу від відправника до одержувача складається з трьох основних елементів: завантаження продукції на рухомий склад у пункті відправлення; переміщення вантажу рухомим складом від пункту відправлення до пункту призначення; вивантаження продукції з рухомого складу в пункті призначення [18 - 20]. Різноманіття умов і вимог до організації транспортного процесу вимагає, крім того, визначення системи показників ефективності окремих процесів, а також роботи автотранспортного підприємства, що включає різні вимірники, що не інтегруються [19]. Весь комплекс технологічних, технічних і економічних питань, розглянутих при проектуванні технологічного процесу доставки вантажів, спрямований на мінімізацію часу перебування продукції в запасах при заданих обсягах виробництва й споживання, забезпечуючи при цьому безперервність виробничого процесу [20]. Мінімум витрат трудових ресурсів забезпечується при досягненні максимально-можливої продуктивності праці при кожній операції технологічного процесу [20].

Планування перевезень виконується на різних рівнях. На першому етапі проводиться розробка перспективних і поточних планів. На цих рівнях планування вирішуються питання формування парку транспортних засобів, виділення й розміщення підприємств та інші [18]. На їхній основі розробляються оперативні плани, що полягають у складанні змінних завдань з використання

рухомого складу в процесі перевезення [18]. Ці плани повинні бути узгоджені з середньодобовим обсягом перевезень і з даними про випуск рухомого складу за типами й моделями, що надходять від технічної служби автотранспортного підприємства [20]. Вирішення задачі оперативного планування може здійснюватися як вручну, так і з використанням засобів обчислювальної техніки [14].

Оперативне планування перевезень включає: визначення обсягу перевезень і вибору рухомого складу; розробку маршрутів перевезень; складання графіка роботи для кожного водія [19]. Обсяги перевезень визначаються на основі обробки заявок на перевезення вантажів від замовників [19]. Передбачуваність потоку вимог на перевезення визначається ступенем впливу випадкових факторів на процес виробництва й споживання матеріальних коштів [14]. Дані про потреби в перевезеннях збираються в оперативному режимі. Це дозволяє постійно контролювати обсяги транспортного обслуговування [18].

Важливим завданням організації перевезень є вибір ефективних транспортних засобів, що найбільш повно відповідають конкретним умовам [20]. При цьому вирішується дві задачі: визначається спеціалізація рухомого складу й підбирається вантажопідйомність. Вибір найбільш ефективного рухомого складу виконується шляхом порівняння результатів експлуатаційних і економічних розрахунків [19]. При довгостроковому плануванні характерне порівняння широкого кола факторів [19]: транспортних, дорожніх, природно-кліматичних, соціально-екологічних. Для порівняння обирають тільки такий рухомий склад, що своїми технічними параметрами й економічними показниками задовольняє заданим умовам експлуатації і забезпечує мінімум витрат, прямо або побічно пов'язаних з доставкою вантажів [15]. При цьому основними факторами, що обумовлюють вибір, є: вид і характер вантажу; розмір партій вантажу; спосіб здійснення навантажувально-розвантажувальних робіт; дорожньо-кліматичні умови й стан під'їзду до навантажувально-розвантажувальних пунктів; швидкість доставки вантажів [20]. Показниками, за якими проводиться порівняльна оцінка рухомого складу, можуть виступати продуктивність,

собівартість, рентабельність [19]. Інші дослідники відзначають, що кращий варіант організації перевезень і тип рухомого складу визначають порівнянням народногосподарських витрат, пов'язаних з перевезенням вантажів [18]. При цьому пропонують враховувати: собівартість перевезення; можливі втрати вантажу в процесі доставки; розмір матеріальних коштів, що знаходяться в обороті, витрати, пов'язані з використанням допоміжних коштів, що забезпечують транспортний процес; капіталовкладення в рухомий склад, навантажувально-розвантажувальні засоби та й ін. Кількість транспортних засобів при помашинних відправленнях дослідниками пропонується визначати з урахуванням обсягу перевезень, вантажопідйомності автомобіля, ступеня її використання, часу оборту автомобілів [20-22].

При дрібнопартійних перевезеннях, організовуваних при перевищенні вантажомісткості автомобіля розміру партії вантажу у відправників або в одержувачів [23, 24], вибір автомобіля за вантажопідйомністю виконується, як правило, виходячи з прагнення забезпечити відповідність вантажопідйомності рухомої одиниці партії перевезень [19, 24]. Дослідниками пропонуються декілька способів визначення автомобіля з оптимальною вантажопідйомністю для дрібнопартійних перевезень. Перший спосіб полягає в затримці відправлення вантажів, що направляються на адресу одного одержувача, для того, щоб у міру надходження наступних партій вантажу сформувати об'єднану партію обсягу, що відповідає вантажопідйомності автомобіля [19, 23, 24]. Другий спосіб визначення оптимальної структури парку пов'язаний з ідеєю повного перебору всіх можливих варіантів, як у частині структури парку, так і в порядку об'їзду пунктів на маршрутах [22-24]. У переважній більшості випадків, задачі визначення обсягу перевезень і вибору рухомого складу не відносяться до класу оптимізаційних задач, носять розрахунковий характер і досить успішно вирішуються на автомобільному транспорті [23].

Управління автомобільними перевезеннями спрямоване, насамперед, на складання й здійснення достовірних планів доставки вантажів автомобільним транспортом від постачальників до споживачів [21]. Задача маршрутизації

полягає у виборі раціональних або оптимальних схем переміщення вантажів між кінцевим числом пунктів за допомогою транспортних засобів [20]. Маршрутизації перевезень повинне передувати оптимальне закріплення споживачів за постачальниками [15]. Іноді ці задачі вирішуються комплексно [18]. Крім того, дослідники відзначають, що задачі маршрутизації повинні вирішуватися разом з задачами вибору парку автомобілів [24].

У формулюванні завдання маршрутизації важливою є роль усіх елементів транспортного процесу [23]. Вибір маршрутів руху повинен здійснюватися з урахуванням багатьох факторів: масовості перевезень; розмірів перевезених партій вантажів; розташування відправників і одержувачів вантажів; типу й вантажопідйомності рухомого складу; термінів доставки вантажів; умов здійснення навантажувально-розвантажувальних робіт [23]. Також важливим елементом маршрутизації, на думку дослідників, є визначення траси маршруту на транспортній мережі. Завдання маршрутизації є багатофакторним і різноманітним [15]. Вихідними даними в задачах маршрутизації є: обсяги перевезень між пунктами; типи транспортних засобів і їхня кількість; схема географічного розміщення пунктів; характеристика транспортної мережі й умови руху по ній [21].

Розрізняють наступні маршрути руху рухомого складу: маятникові, радіальні, кільцеві, розвізні, збірні, розвізно-збірні, комбіновані й дільничні [20, 21]. Методи маршрутизації деякі дослідники поділяють на два класи: маршрутизація помашинних відправлень вантажів; маршрутизація дрібних партій вантажів [15]. Інші автори виділяють проміжний вид змішаних перевезень, коли завдання не формулюється як чисто розвізне, але й не зводиться до завдання планування помашинних відправлень [18].

Найбільш розповсюдженими серед задач добового планування є задачі організації помашинних відправлень вантажу. Вони характеризуються безліччю варіантів планів перевезення. В методах вирішення маршрутизації помашинних відправлень можна виділити дві групи [20]. Перша група заснована на використанні постановок задачі лінійного програмування [14, 15]. В другій групі

методів задача маршрутизації формулюється як загальна задача лінійного програмування [8].

З розроблених для автомобільного транспорту методів планування в області змішаних перевезень найбільш прийнятні методи маршрутизації дрібнопартійних перевезень [22].

Для виконання завдання планування маршрутів перевезення дрібнопартійних вантажів дослідники використовують різні підходи. Виділяють дві постановки даної задачі: «задача комівояжера» - коли для об'їзду всіх пунктів повинен бути побудований тільки один маршрут; «задача розвезення» - коли будують кілька маршрутів [22-24]. Методи виконання завдання маршрутизації дрібнопартійних перевезень поділяються на точні й наближені [23]. Розрахунки можуть виконуватися як ручним способом, так і з використанням електронно-обчислювальної техніки, реалізуючи метод «гілок і меж» і його модифікації [14]. Однак, найбільш розповсюдженим евристичним методом виконання завдання планування дрібнопартійних вантажів є метод Кларка й Райта [14]. Вся безліч завдань планування дрібнопартійних перевезень розбивається на задачі, в яких здійснюються тільки розвезення або збір вантажу, й задачі, в яких і те й інше робиться одночасно. Однак, задачі збору й розвезення вантажу зовсім еквівалентні. Внаслідок цього, безліч задач розвезення розбивається на дві підмножини: задачі з одним відправником і більше одного відправника [12, 15].

Таким чином, побудова моделі транспортного обслуговування споживачів і фірм ґрунтується на раціональних маршрутах перевезення і графіках доставки продукції споживачам [7]. Регулярність і ритмічність роботи транспорту впливають на процеси поповнення і витрати запасів у логістичних системах, що включають промислові підприємства, транспорт і перевалочні пункти. Терміни подачі рухомого складу й графіки його руху найчастіше порушуються за об'єктивними причинами [7]. Тому при правильній розробці логістичних систем необхідно приймати до уваги цю нерівномірність роботи транспорту [8]. Одним з методів зниження невизначеності транспортно-технологічних систем є організаційні методи, що регламентують послідовність окремих операцій

транспортних і технологічних процесів [9]. Тому для чіткої організації транспортного процесу виникає необхідність у аналізі факторів, що впливають на параметри автотранспортних технологічних процесів.

3.2 Задача організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів

Завдання вибору раціональних або оптимальних схем переміщення вантажів між кінцевим числом пунктів за допомогою транспортних засобів називають завданням маршрутизації. Маршрутизація перевезень – це найбільш досконалий спосіб організації матеріалопотоків вантажів, що суттєво впливає на прискорення обігу автомобіля при раціональному і ефективному його використанні. Проблема удосконалення методів формування маршрутів дрібно партійних перевезень вантажів у транспортній мережі міст є актуальною з огляду на значне загострення конкуренції на ринку автотранспортних послуг. Наявність висококонкурентного середовища змушує власників автотранспорту вести постійний пошук нових конкурентних переваг. Менеджери автопідприємств вбачають такі переваги у підвищенні якості і зниженні витрат на перевезення, поліпшенні умов обслуговування клієнтів, своєчасному реагуванні на зміну вимог до транспортних послуг, переході на якісно нові стандарти організації діяльності та впровадженні нових технологій транспортного процесу.

Однією з головних проблем в організації транспортування, яку доводиться вирішувати кожному перевізникові, є необхідність економічно й ефективно спланувати маршрут по наявній мережі автодоріг [9].

Маршрутом руху називають шлях прямування рухомого складу під час виконання перевезень. Зазвичай вибирають такі маршрути, які забезпечують мінімальні витрати на транспортування вантажів. Вибір маршруту залежить від

дислокації вантажно-розвантажувальних пунктів і АТП, виду і розмірів партій вантажів, характеристик рухомого складу.

Довжина маршруту – це відстань, яку проходить автомобіль від початкового до кінцевого пункту; *оборот рухомого складу* – закінчений цикл руху, тобто рух по всьому маршруту з поверненням у початковий пункт; *їздка* – закінчений цикл транспортної роботи, що складається із завантаження, перевезення, розвантаження вантажу і подачі транспортного засобу для наступного завантаження.

Маятниковими називають маршрути, у яких рух рухомого складу в прямому і зворотному напрямках відбувається за такою самою трасою, при цьому рух між двома пунктами завантаження і розвантаження може багаторазово повторюватися. Вони можуть бути з повним використанням пробігу, з використанням пробігу тільки в прямому напрямку, з неповним використанням пробігу в прямому або зворотному, або в обох напрямках. Різновидом маятникових маршрутів є *радіальні*, які мають різні напрямки, але починаються або закінчуються в одному пункті

Кільцевий маршрут руху – шлях проходження рухомого складу замкнутим контуром, що з'єднує кілька пунктів завантаження і розвантаження.

Розвізний маршрут – маршрут, на якому завантажений рухомий склад розвозить вантаж партіями на пункти, поступово розвантажуючись.

Збірний маршрут – маршрут, на якому рухомий склад, проходячи послідовно пункти навантаження, поступово завантажується і завозить вантаж до одного пункту.

Комбінований маршрут – маршрут, на якому проводяться одночасне розвезення та збирання вантажів.

Складання раціональних маршрутів перевезень масових вантажів має на меті досягнення максимального коефіцієнта використання пробігу автомобілів шляхом визначення порядку проходження автомобілів від місця розвантаження до місця навантаження з тією умовою, щоб загальний пробіг без вантажу був найменшим.

3.2.1 Постановка задачі організації раціональних маршрутів вантажів. Змістовна модель

При вирішенні таких завдань відбираються ті заявки на перевезення вантажів, які збігаються за часом виконання перевезень і які можна здійснити одним і тим самим рухомим складом.

Припустимо, що такі заявки відібрані, встановлені найкоротші відстані між усіма пунктами, обраний тип рухомого складу, визначено кількість поїздок з доставки вантажу від кожного постачальника відповідному споживачеві.

Вихідні дані одного з варіантів подібного завдання ТОВ «Креатив Транс» представлені табл. 3.1, 3.2, де відповідно відображені добовий обсяг перевезень за заявками вантажовідправників і показники роботи автомобілів.

Таблиця 3.1 – Вихідні дані: кількість перевезеного вантажу, кількість поїздок

№ з/п	Вантажовідправник		Вантажоприймач		Тип вантажу	Кількість	
						вантажу, т	поїздок
1	Підприємство-виробник будівельних матеріалів	A_1	Завод	B_3	Пісок	140	20
2	Підприємство-виробник будівельних матеріалів	A_1	Завод ЗБК	B_4	Щебінь	105	15
3	Котлован	A_2	Будівництво 2	B_2	Ґрунт	245	35
4	Піщаний кар'єр	A_3	Будівництво 1	B_1	Пісок	336	48

Кожному відправникові присвоєно умовне позначення A , споживачу - B з відповідними порядковими цифровими індексами. У таблиці 3.1 крім кількості

перевезеного вантажу вказано кількість поїздок, яка визначена за показниками роботи обраного рухомого складу (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – Показники роботи обраного рухомого складу

№ з/п	Параметри	Одиниці вимірювання	Кількість
1	Вантажопідйомність МАЗ - 5551	т	7,0
2	Середня технічна швидкість	км/год	22,0
3	Час в наряді	год	14,0
4	Норма часу на завантаження за поїзду	хв	7,0
5	Норма часу на розвантаження за поїзду	хв	6,0
6	Початок роботи пунктів розвантаження	год	7,0

Матриця відстаней між вантажними пунктами і автотранспортним підприємством (АТП), що відповідає схемі перевезень (рис. 3.1), подана в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Матриця відстаней між вантажними пунктами

Вантажні пункти	A_1	A_2	A_3	АТП
B_1	17	13	13	10
B_2	9	12	13	9
B_3	11	15	12	11
B_4	14	8	5	9
АТП	6	4	7	0

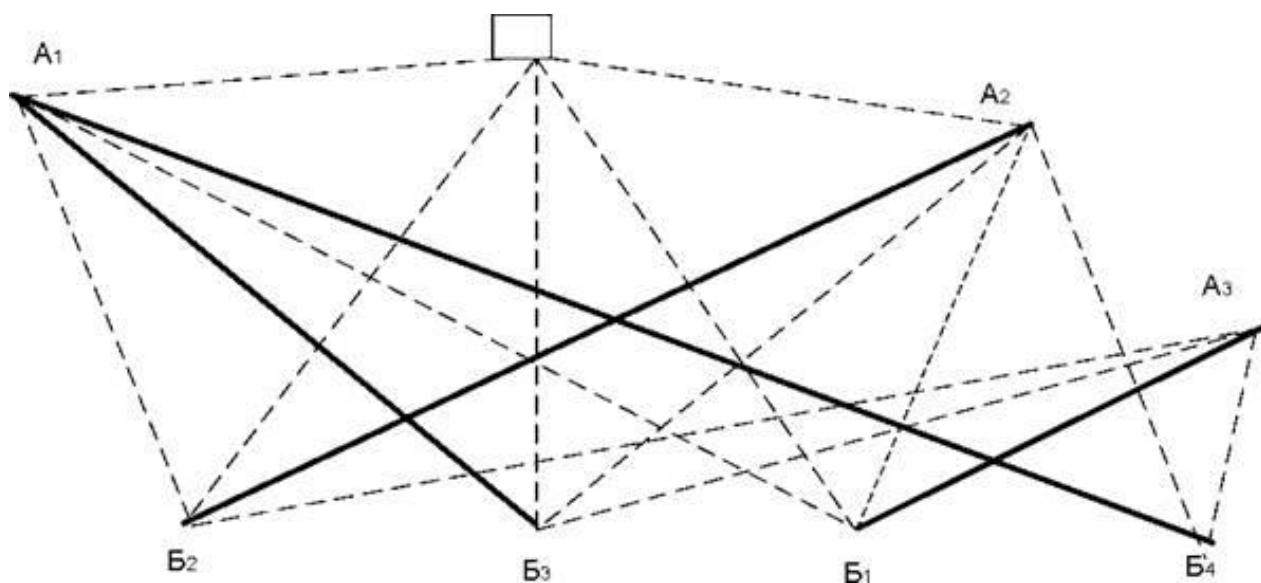


Рисунок 3.1 – Схема перевезень

3.2.2 Розробка раціональних маршрутів

Маршрутизацію перевезень виконують для одноманітних вантажів, що потребують для свого перевезення однотипний рухомий склад.

Перед складанням раціональних маршрутів потрібно провести об'єднання вантажопотоків різних видів вантажів за ознакою можливості їх перевезення рухомим складом із кузовом однакової спеціалізації й експлуатаційних можливостей (автомобілі із універсальною бортовою платформою, самоскиди, фургони і т.п.).

У загальному вигляді маршрутизація перевезень вантажів складається з декількох етапів. Спочатку необхідно визначити найкоротші відстані між усіма пунктами відправлення й одержання вантажів і між автотранспортними підприємствами й зазначеними пунктами, тобто створити мережу найкоротших відстаней. Потім з урахуванням цих відстаней визначити оптимальне закріплення споживачів того самого вантажу за постачальниками. На

останньому етапі визначають маршрути перевезень різних вантажів у тому самому рухливому складі, прикріплення цих маршрутів за автотранспортними підприємствами і розробку завдань водіям на виконання перевезень вантажів по маршрутах. У цьому пункті роботи розглядаються методи розв'язання завдань останнього етапу маршрутизації.

Для розв'язання таких завдань необхідно відібрати ті заявки на перевезення вантажів, які можна здійснювати на тому самому рухливому складі і які збігаються в часі виконання перевезень.

На сьогодні відомо кілька математичних методів розв'язання зазначеного завдання. Нижче наведено метод запропонований В. А. Бобарикініним, який є пристосованим для розв'язання цих завдань вручну, без використання для розрахунків електронних обчислювальних машин [5].

Складемо маршрути перевезень вантажів, заявка на які наведені в таблиці 3.1.

У таблиці 7.1, крім кількості вантажу, показано кількість їздок, яку необхідно зробити, щоб виконати заявлені перевезення. Внаслідок того, що основною маркою автомобіля для виконання перевезень прийнято автомобіль МАЗ - 5551 вантажопідйомністю 7 т, то кількість їздок визначена шляхом ділення заявленої кількості вантажу на 7.

При перевезеннях вантажу, який не забезпечує повного використання вантажопідйомності автомобіля, під час визначення кількості їздок необхідно враховувати коефіцієнт використання вантажопідйомності.

На підставі заявок клієнтів за договорами заповнимо розрахункову таблицю (методом північно-західного кута), в клітинах якої вказана кількість порожніх поїздок з пунктів B_j в пункти A_i і відстані між пунктами (останні проставляються у верхніх правих кутах відповідних клітин). Отримаємо початковий план «холостих» їздок (таблиця 3.4).

Перевіримо цей план на оптимальність, наприклад, методом потенціалів, і доб'ємося такого розподілу порожніх їздок автомобілів, при яких їх пробіг без вантажу буде мінімальним (таблиці 3.5 – 3.10).

Таблиця 3.4 – Початковий план задачі

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	0	-6		-5
B_3	11	11 20	15 10	12 6	20
B_4	14	14 15	8 0	5 -4	15
B_2	18	9 -9	12 35	13 0	35
B_1	18	17 -1	13 1	13 48	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.5 – Ітерація 1

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	14	8		5
B_3	-3	11 20	15 10	12 10	20
B_4	0	14 15	8 0	5 0	15
B_2	4	9 -9	12 35	13 4	35
B_1	8	17 -5	13 -3	13 48	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.6 – Ітерація 2

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	0	3		-9
B_3	11	11 20	15 1	12 10	20
B_4	14	14 15	8 -9	5 0	15
B_2	9	9 0	12 35	13 13	35
B_1	22	17 -5	13 -12	13 48	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.7 – Ітерація 3

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	0	3	
B_3	11	11 20	15 1	12 -2	20
B_4	2	14 12	8 3	5 15	15
B_2	9	9 15	12 20	13 1	35
B_1	10	17 7	13 15	13 33	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.8 – Ітерація 4

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	11	0		0
B_3	12	11 0	15 3	12 20	20
B_4	5	14 0	8 3	5 15	15
B_2	-2	9 35	12 14	13 15	35
B_1	13	17 -7	13 35	13 13	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.9 – Ітерація 5

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	17	13		13
B_3	-1	11 -5	15 3	12 20	20
B_4	-8	14 5	8 3	5 15	15
B_2	-8	9 35	12 7	13 8	35
B_1	0	17 0	13 35	13 13	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Таблиця 3.10 – Результати розрахунку оптимального розподілу поїздок

Вантажоприймачі	Вантажовідправники				Кількість поїздок
	U_j	A_1	A_2	A_3	
		V_i	-1	0	
B_3	12	11 0 [20]	15 3	12 20	20
B_4	5	14 10 [15]	8 3	5 15	15
B_2	10	9 35	12 2 [35]	13 3	35
B_1	13	17 5	13 35	13 13 [48]	48
Кількість поїздок		35	35	48	118

Результати розрахунку оптимального розподілу їздок автомобілів без вантажу, який забезпечує мінімальний порожній пробіг всіх автомобілів, що беруть участь у планованих перевезеннях, наведено в табл. 3.10.

У цій таблиці вказано, що з пункту A_1 в пункт B_2 необхідно зробити 35 виїздів без вантажу, з пункту A_2 в пункт B_1 – 35 виїздів, з пункту A_3 : в пункт B_3 – 20 виїздів, в пункт B_4 – 15 виїздів, пункт B_1 – 13 виїздів.

Після одержання оптимального плану розподілу порожніх їздок в цю ж таблицю вносимо план навантажених їздок (цифри в дужках).

У тих клітинках, де є два числа (виділені жирним) (в дужках – кількість навантажених їздок та без дужок – кількість порожніх їздок), призначаються маятникові маршрути, кількість їздок за якими дорівнює найменшому числу. Так, в клітці A_3B_1 маємо маятниковий маршрут № 1: $A_3 B_1 B_1 A_3$ з 13 навантаженими та 13 порожніми їздками (що відповідає 13 оборотам). Ця кількість їздок виключається з подальшого розгляду.

Коли всі маятникові маршрути знайдені, в матриці будуюмо багатокутні (чотирикутні, шестикутні і т.д.) контури, всі вершини яких лежать в завантажених клітинах, причому вершини з навантаженими їздками повинні чергуватися з вершинами порожніх їздок.

У цій задачі отримано два таких контури, які показані пунктирними лініями (рис. 3.1). Кожен з них є кільцевим маршрутом.

Маршрут № 2: $A_3 B_1 B_1 A_2 A_2 B_2 B_2 A_1 A_1 B_3 B_3 A_3$ 20 оборотів;

Маршрут № 3: $A_3 B_1 B_1 A_2 A_2 B_2 B_2 A_1 A_1 B_4 B_4 A_3$ 15 оборотів.

Кількість оборотів на маршруті визначається найменшим числом у вершинах контуру. Обрана кількість поїздок з клітин таблиці виключається. Розв'язання продовжується до повного виключення всієї кількості поїздок з матриці.

Після призначення маршрутів необхідно вибрати початкові пункти навантаження на кільцевих маршрутах і визначити, яку кількість автомобілів слід направити на кожен маршрут, щоб забезпечити виконання плану перевезень.

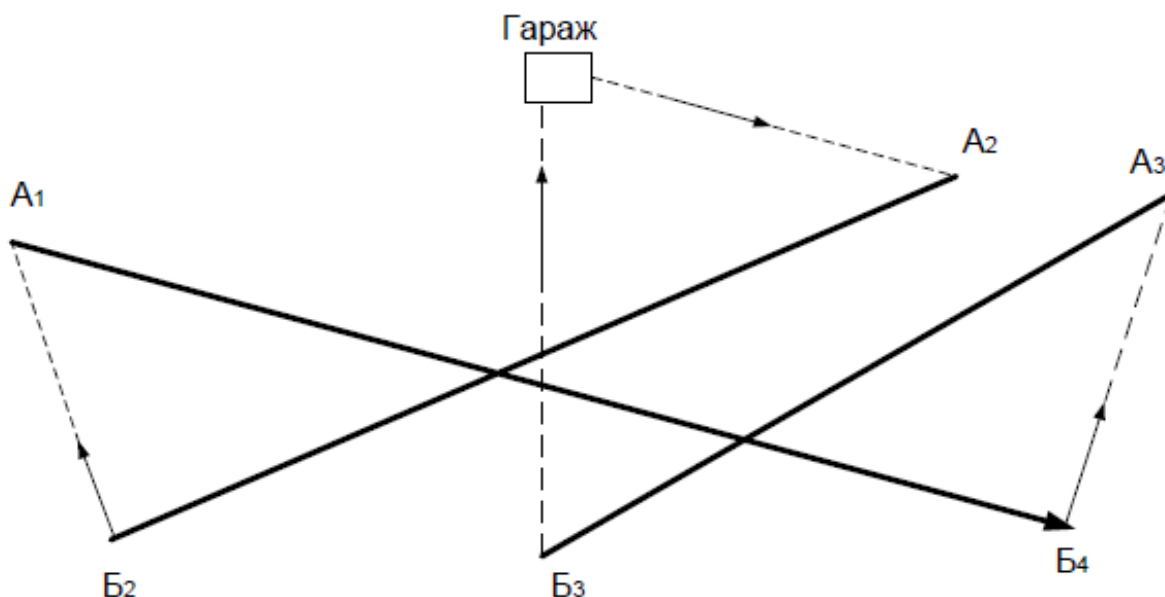


Рисунок 3.2 – Схема кільцевого маршруту №4

Початковий пункт навантаження вибирається з умови мінімуму нульового пробігу l_{0A_i} .

Для нашої задачі мінімальний нульовий пробіг складає

$$l_{0A_2} = l_{\text{Гараж}A_2} + l_{B_1\text{Гараж}} = 4 + 10 = 14 \text{ км}$$

для початкового пункту навантаження A_2 .

Схема кільцевого маршруту № 4 з початковим пунктом навантаження A_2 наведена на рис. 3.2.

Перевезення за маршрутом можна починати з пункту A_1 або A_3 , тоді автомобіль буде повертатися в гараж з пункту B_2 або B_4 відповідно. Це доводиться часто робити з метою виключення одночасної подачі на один і той самий пункт навантаження великої кількості автомобілів і створення черг, хоча при цьому нульові пробіги автомобілів можуть дещо збільшуватися.

3.2.3 Розрахунок показників рухомого складу на маршруті

Усі предмети і матеріали з моменту прийняття їх до транспортування і до задачі одержувачу є вантажами. Від виду вантажу залежить тип рухомого складу (РС), що використовується для перевезень, тип вантажно-розвантажувальних машин або механізмів і технологія перевезень. Вимоги до підготовки та перевезення окремих вантажів визначені чинними Правилами перевезень вантажів автомобільним транспортом [9]. Вантажі розрізняють за фізичними властивостями, упаковкою, масою та розмірами. За ступенем завантаження РС вантажі поділяють на чотири класи (табл. 3.11).

Таблиця 3.11 – Класи вантажів

Клас	Коефіцієнт використання вантажопідйомності γ	
	Діапазон	Середнє значення
1	0,91...1,0	0,96
2	0,71...0,9	0,8
3	0,51...0,7	0,6
4	0,40...0,5	0,45

Клас вантажу визначає ефективність використання РС і рівень тарифів на перевезення [22].

Обсяг вантажоперевезень Q – це кількість вантажу, перевезеного або запланованого до перевезення за певний період часу.

Вантажообіг P визначає транспортну роботу з переміщення вантажів за певний період часу, що вимірюється в тонно-кілометрах (добуток обсягу перевезень на відстань перевезень).

Вантажопотік – обсяг вантажів, що прямують у певному напрямку за певний час між вантажоутворювальними та вантажопоглинальними пунктами.

Обсяг вантажоперевезень, вантажообіг і вантажопотоки характеризуються величиною, структурою вантажів, часом освоєння і коефіцієнтами нерівномірності. Структура вантажів визначається їх видами; час освоєння передбачає дату початку, закінчення перевезення і темп перевезень. Нерівномірність перевезень характеризують коефіцієнтами нерівномірності обсягу перевезень $K_{но}$ і вантажообігу $K_{нв}$, які отримують від ділення максимального значення обсягу перевезень (чи вантажообігу) на його середнє значення:

$$k_{но} = \frac{Q_{max}}{Q_{сер}}, \quad k_{нв} = \frac{P_{max}}{P_{сер}}.$$

Парк рухомого складу – це всі транспортні засоби (автомобілі, тягачі, причепа) автомобільного транспортного підприємства.

Обліковий (інвентарний) парк рухомого складу A_u – парк, що числиться на балансі автомобільного транспортного підприємства на певний момент часу. За

своїм технічним станом він поділяється на парк, готовий до експлуатації, A_{ze} , і парк, що знаходиться в ТО і ремонтах, A_p :

$$A_u = A_{ze} + A_p.$$

Частина A_{ze} використовується у перевезеннях (в експлуатації) – A_e а інша частина знаходиться в простой – A_n , тобто

$$A_{ze} = A_e + A_n; \quad A_u = A_e + A_n + A_p.$$

Кожна i -та одиниця парку рухомого складу протягом D_u календарних днів знаходиться в експлуатації D_e днів, у ТО і ремонтах – D_p днів і в простой і готовому до експлуатації стані (вихідні та святкові дні, відсутність вантажів тощо) – D_n днів:

$$D_u = D_e + D_p + D_n.$$

Для визначення часу експлуатації, ремонту або простою парку рухомого складу використовують показник – автомобіле-дні – сума всіх днів знаходження парку рухомого складу на підприємстві (в експлуатації, ремонті чи простой) кожної одиниці рухомого складу:

$$AD = \sum_{i=1}^{A_u} D_i,$$

де D_i – кількість відповідних днів кожної одиниці рухомого складу.

Для планування, обліку і аналізу роботи РС автомобільного транспорту встановлено систему показників, що дозволяють оцінити його ступінь використання та результати роботи. До таких показників відносять коефіцієнти технічної готовності, випуску та використання парку.

Розрахунок необхідної кількості автомобілів на маршруті і коефіцієнта використання парку проводиться за нижче наведеними співвідношеннями.

Число оборотів автомобілів за маршрутом за час у наряді:

$$Z_{об} = \frac{T_n - (l_{01} + l_{02} - l'_x) / V_T}{t_{об}}, \quad (3.1)$$

де T – час у наряді, год;

l_{01} – перший нульовий пробіг, км;

l_{02} – другий нульовий пробіг, км;

l'_x - остання холоста їздка на маршруті, км;

V_T – середня технічна швидкість, км / год;

$t_{об}$ – час обороту автомобіля на маршруті, год.

$t_{об} = \frac{2l_{er}}{V_T} + t_{пр}$ – маятниковий маршрут;

$t = \frac{l_M}{V_T} + \sum_{i=1}^n t_{пр}$ – кільцевий маршрут,

де l_{er} – відстань їздки з вантажем, км;

$t_{пр}$ – час вантажно-розвантажувальних робіт за їздку, год;

l_M – довжина маршруту, км;

n – число їздок за оборот.

Потрібне число автомобілів на маршруті:

$$A_{сут} = \frac{U_{сут}}{Q_{сут}} = \frac{U_{сут}}{q_n \gamma Z_{об} n}, \quad (3.2)$$

де $U_{сут}$ – плановий обсяг перевезень на маршруті за добу, т;

q_n – номінальна вантажопідйомність, т;

γ – коефіцієнт використання вантажопідйомності.

Коефіцієнт використання пробігу за день

$$\beta_{рд} = \frac{L_{тр}}{L_{об}}, \quad (3.3)$$

де $L_{тр}$ - пробіг з вантажем автомобіля за день, км.

$$L_{тр} = Z_{об} \sum l_{eri}; L_{об} = Z_{об} l_M + \sum_{i=1}^n l_{0i} - l_x, \quad (3.4)$$

де $\sum l_{eri}$ – сумарний пробіг з вантажем за оборот автомобіля на маршруті;

$\sum l_{0i}$ – сумарний нульовий пробіг, км;

l_M – довжина маршруту [22].

Розрахунки за одержаними маршрутами.

Маршрут № 1: $A_3 B_1 B_1 A_3$ з 13 оборотами - маятниковий маршрут із зворотним холостим пробігом.

Визначимо техніко-експлуатаційні показники автомобіля, що працює на маятниковому маршруті з перевезенням вантажу в одному напрямку і на неповну відстань в іншому напрямку (рис. 3.1) за наступних вихідних даних: відстань $A_3B_1 = 13$ км.

Автомобіль МАЗ 5551. Номінальна вантажопідйомність $q = 7$ т. Технічна швидкість $V_T = 22$ км/год. Нульовий пробіг в обох напрямках $l_{0н} = 7$ км. Час у наряді $T_n = 14$ год. Час завантаження-розвантаження $t_{np} = 0,22$ год. Коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності $\gamma_c = 1,0$.

Визначимо: $l_M, l_0, l_{го}, t_0, n_e, T_M, z_o, Q_e, Q_o, Q_{р.д}, W_Q, P_e, P_o, P_{р.д}, W_p, \beta_o, \beta_M, \beta_n, L_T, L_{сс}, L_{заг}, l_{ег}, l_Q$.

Довжина маршруту : $l_M = 13$ км.

Довжина обороту : $l_0 = 2 \times l_M = 2 \times 13 = 26$ км.

Пробіг з вантажем за оборот : $l_{го} = 13$ км.

Час обороту : $t_0 = l_0 / V_T + t_{np} = 26 / 22 + 0,22 = 1,4$ год.

Кількість їздок за один оборот : $n_e = 2$ (рис. 3.1).

Час роботи на маршруті : $T_M = T_n - t_n = T_n - l_{0н} / V_T = 14 - 7 / 22 = 13,7$ год.

Кількість оборотів за час на маршруті :

$$z_o = T_M / t_0 = 13,7 / 1,4 = 10 \text{ оборотів.}$$

Кількість тонн, перевезених за:

– їздки $Q_e = q \times \gamma_c = 7 \times 1,0 = 7$ т/їздки;

– оборот $Q_o = 7$ т/оборот;

– робочий день $Q_{р.д} = Q_o \times z_o = 7 \times 10 = 70$ т/добу.

Година продуктивність: $W_Q = Q_o / t_0 = 7 / 1,4 = 5$ т/год.

Вантажообіг, виконаний за:

– їздки $P_e = Q_e \times l_M = 7 \times 13 = 91$ т·км/їздки;

– оборот $P_o = P_e = 91$ т·км/оборот;

– робочий день $P_{р.д} = P_o \times z_o = 91 \times 10 = 910$ т·км/добу.

Годинна продуктивність $W_p = P_o / t_0 = 91 / 1,4 = 65$ т·км/год.

Пробіг автомобіля за робочий день:

– з вантажем: $L_{\Gamma} = z_o \times l_{\Gamma o} = 10 \times 13 = 130$ км;

– середньодобовий на маршруті: $L_{cc} = z_o \times l_0 = 10 \times 26 = 260$ км;

– загальний в наряді: $L_{заг} = L_{cc} + l_{0н} = 260 + 7 = 267$ км.

Коефіцієнт використання пробігу:

– за оборот : $\beta_o = l_{\Gamma o} / l_0 = 13 / 26 = 0,5$;

– на маршруті : $\beta_M = L_{\Gamma} / L_{cc} = 130 / 260 = 0,5$;

– у наряді : $\beta_n = L_{\Gamma} / L_{заг} = 130 / 267 = 0,49$.

Середня довжина на маршруті : $l_{e\Gamma} = 13$ км.

Середня відстань перевезення 1 тонни вантажу:

$$l_Q = P_{р.д} / Q_{р.д} = 910 / 70 = 13 \text{ км.}$$

Маршрут № 4: $\Gamma A_2 B_2 B_2 A_1 A_1 B_4 B_4 A_3 A_3 B_3 B_3 \Gamma$ з 5 оборотами - кільцевий маршрут.

Автомобіль вантажопідйомністю 7 т перевозить вантажі на кільцевому маршруті (рис. 3.2). Довжини ділянок, км: $l_{\Gamma A_2} = 4$, $l_{A_2 B_2} = 12$, $l_{B_2 A_1} = 9$, $l_{A_1 B_4} = 14$, $l_{B_4 A_3} = 5$, $l_{A_3 B_3} = 12$, $l_{B_3 \Gamma} = 11$. Час простою, хв. під завантаженням-розвантаженням: $t_{н A_2} = 18$, $t_{р B_2} = 12$, $t_{н A_1} = 21$, $t_{р B_4} = 15$, $t_{н A_3} = 24$, $t_{р B_3} = 18$. Коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності $\gamma_{c A_2 B_2} = 0,8$; $\gamma_{c A_1 B_4} = 0,9$; $\gamma_{c A_3 B_3} = 1,0$. Технічна швидкість $V_T = 22$ км/год. Час у наряді $T_n = 14$ год. Час нульового пробігу год $t_n = 0,4$ год. Визначити: l_M , l_0 , $l_{\Gamma o}$, t_0 , T_M , z_o , n_e , Q_e , Q_o , W_Q , $Q_{р.д}$, P_e , P_o , W_p , $P_{р.д}$, $l_{e\Gamma}$, l_Q , β_o , β_M , β_n , L_{Γ} , L_{cc} , $L_{заг}$, $\gamma_{c.c.p.}$, $t_{н-р.c.p.}$

Довжина маршруту: $l_M = A_2 B_2 A_1 B_4 A_3 B_3 A_2 = 12 + 9 + 14 + 5 + 12 = 52$ км.

Довжина обороту: $l_0 = l_M = 52$ км.

Пробіг з вантажем за оборот: $l_{\Gamma o} = l_{A_2 B_2} + l_{A_1 B_4} + l_{A_3 B_3} = 12 + 14 + 12 = 38$ км.

Час обороту: $t_0 = (l_0 / V_T) + t_{н A_2} + t_{р B_2} + t_{н A_1} + t_{р B_4} + t_{н A_3} + t_{р B_3} = 52 / 22 + 18/60 + 12/60 + 21/60 + 15/60 + 24/60 + 18/60 = 4,16$ год.

Час роботи на маршруті: $T_M = T_n - t_n = 14 - 0,4 = 13,6$ год.

Кількість оборотів за час на маршруті: $z_o = T_M / t_0 = 13,6 / 4,16 = 3$ обороти.

Кількість їздок за один оборот: (рис. 3.2) $n_e = 3$.

Кількість тонн, перевезених за :

– їздки: $Q_{e A2B2} = q \times \gamma_{c A2B2} = 7 \times 0,8 = 5,6$ т/їздки;

$Q_{e A1B4} = q \times \gamma_{c A1B4} = 7 \times 0,9 = 6,3$ т/їздки;

$Q_{e A3B3} = q \times \gamma_{c A3B3} = 7 \times 1,0 = 7,0$ т/їздки.

– оборот: $Q_o = Q_{e A2B2} + Q_{e A1B4} + Q_{e A3B3} = 18,9$ т/оборот.

Година продуктивність : $W_Q = Q_o / t_0 = 18,9 / 4,16 = 4,54$ т/год.

За робочий день: $Q_{p,д} = Q_o \times z_o = 18,9 \times 3 = 56,7$ т/добу.

Вантажообіг, виконаний за:

– їздки: $P_{e A2B2} = Q_{e A2B2} \times l_{A2B2} = 5,6 \times 12 = 67,2$ т·км/їздки;

$P_{e A1B4} = Q_{e A1B4} \times l_{A1B4} = 6,3 \times 14 = 88,2$ т·км/їздки;

$P_{e A3B3} = Q_{e A3B3} \times l_{A3B3} = 7,0 \times 12 = 84,0$ т·км/їздки;

– оборот: $P_o = P_{e A2B2} + P_{e A1B4} + P_{e A3B3} = 67,2 + 88,2 + 84,0 = 239,4$ т·км/оборот;

– робочий день: $P_{p,д} = P_o \times z_o = 239,4 \times 3 = 718,2$ т·км/добу.

Годинна продуктивність: $W_p = P_o / t_0 = 239,4 / 4,16 = 57,55$ т·км/год.

Середня довжина на маршруті: $l_{сг} = (l_{A2B2} + l_{A1B4} + l_{A3B3}) / n_e = (12+14+12)/3 = 12,66$ км.

Середня відстань перевезення 1 тонни вантажу за один оборот: $l_Q = P_o / Q_o = 239,4 / 18,9 = 12,66$ км.

Пробіг автомобіля за робочий день:

– з вантажем: $L_T = l_{го} \times z_o = 38 \times 3 = 114$ км;

– середньодобовий на маршруті: $L_{cc} = l_0 \times z_o = 52 \times 3 = 156$ км.

– загальний в наряді: $L_{заг} = L_{cc} + (V_T \times t_n) = 156 + 22 \times 0,4 = 164,8$ км.

Коефіцієнт використання пробігу:

– за оборот: $\beta_o = l_{го} / l_0 = 38 / 52 = 0,73$;

– на маршруті: $\beta_M = L_T / L_{cc} = 114 / 156 = 0,73$;

– в наряді: $\beta_n = L_T / L_{заг} = 114 / 164,8 = 0,69$.

Середній коефіцієнт статичного використання вантажопідйомності за один оборот: $\gamma_{c,ср.} = (\gamma_{c A2B2} + \gamma_{c A1B4} + \gamma_{c A3B3}) / n_e = (0,8 + 0,9 + 1,0) / 3 = 0,9$.

Середній час простою під завантаженням і розвантаженням:

$$t_{н-р.ср.} = (t_{нA2} + t_{рB2} + t_{нA1} + t_{рB4} + t_{нA3} + t_{рB3}) / n_e = (18 + 12 + 21 + 15 + 24 + 18) / 60 \times 3 = 0,6.$$

За значеннями обчислених коефіцієнтів використання пробігу можна зробити висновок, що для підприємства більш рентабельними є кільцеві маршрути.

Завдяки маршрутизації збільшився коефіцієнт використання обігу на 20-25 %.

3.3 Планування оптимального розвізно-збирального маршруту

3.3.1 Змістовна модель

Однією з головних проблем ТОВ «Креатив Транс» є необхідність економічно й ефективно спланувати маршрут по наявній мережі автодоріг. Серед багатьох задач планування вантажних автомобільних перевезень виділяють особливі задачі планування дрібнопартійних перевезень, коли розмір відправленої чи отриманої партії вантажу значно менший вантажності автомобіля. Адресна реалізація яких, не забезпечує повного завантаження рухомого складу. Тому для ефективного використання вантажопідйомності рухомого складу, перевезення таких вантажів організовується по розвізних (або збірних) маршрутах. Вирішення цього завдання полягає у формуванні маршрутів руху транспорту, які дозволяють виконати ці перевезення з найменшим пробігом транспортних засобів або витратити на перевезення мінімальний час.

Часто перед керівництвом ТОВ «Креатив Транс» постає завдання розробки нових маршрутів. Таке завдання зводиться до задачі знаходження найкоротшого шляху з пункту *A* в пункт *B* на мережі.

Для прикладу розглянемо задачу: знайти найкоротший шлях з пункту A в пункт B по мережі, зображеній на рис. 3.3, де пункти позначені кружечками, а шляхи, що їх з'єднують, відрізками зі стрілками. Відстані a_{ij} між пунктами проставлені над стрілками.

З точки зору врахування раціональності (вибору найкоротшої відстані з точки A_i - в точку A_j після кожного найближчого кроку), слід рухатися за маршрутом $A_0 - A_1 - A_3 - A_2 - A_4 - B$.

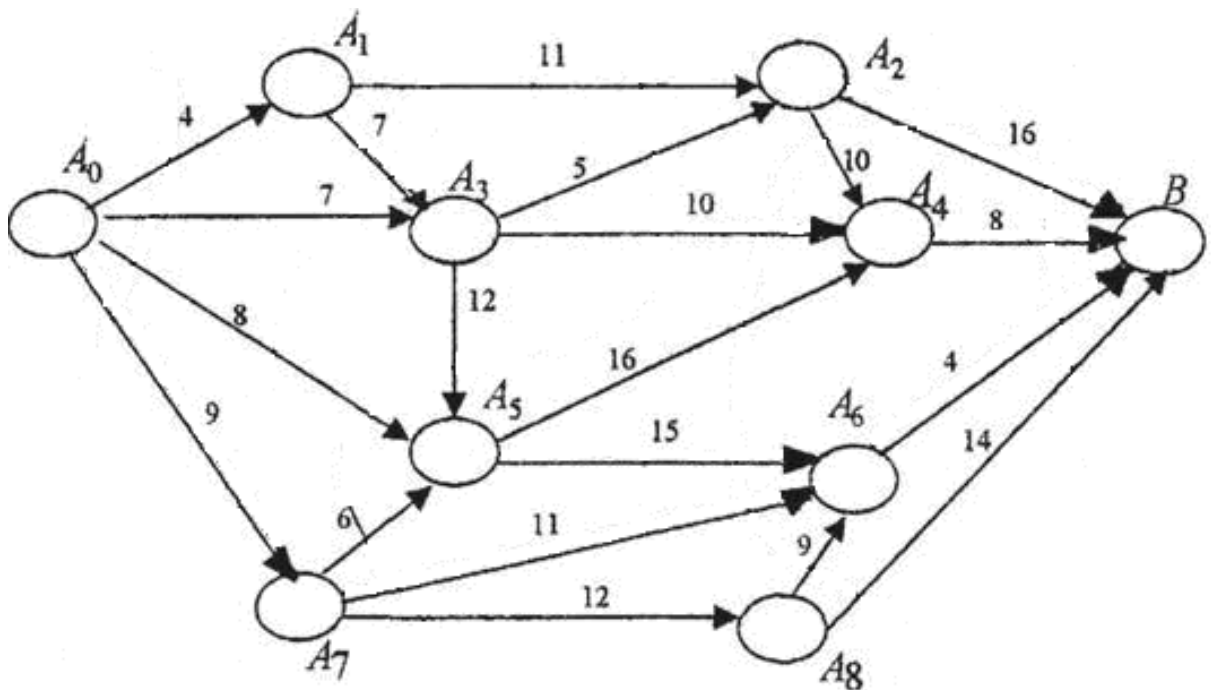


Рисунок 3.3 – Мережа руху з пункту A в пункт B

Довжина цього маршруту ($4 + 7 + 5 + 10 + 8$) дорівнює 34.

Розв'язавши цю задачу методом динамічного програмування, ми переконаємося, що цей маршрут не є оптимальним.

3.3.2 Побудова математичної моделі

Нехай задана орієнтована мережа, що містить N точок (вузлів). Знайти найкоротший шлях з точки 1 в точку N (рис. 3.4), якщо задана матриця a_{ij} відстаней з точки i , в точку j .

Позначимо через W_j^* мінімальний шлях з точки i , в точку N . Оптимальний маршрут з будь-якої точки, повинен володіти тою властивістю, що яким би не був спосіб досягнення пункту i , подальший розв'язок повинен бути оптимальним для частини шляху, який починається в точці i (принцип оптимальності).

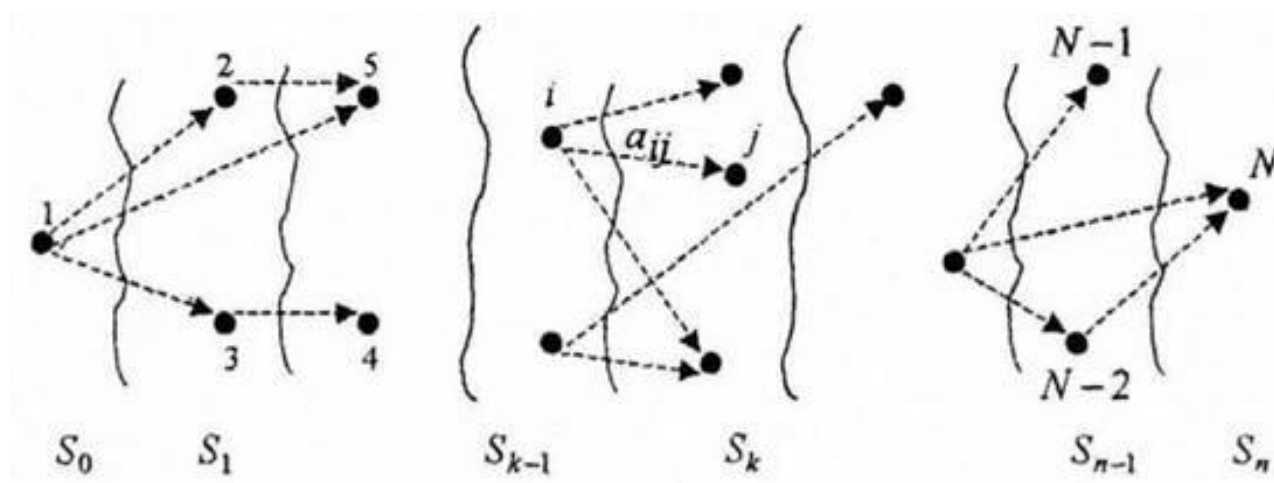


Рисунок 3.4 – Найкоротший шлях з точки 1 в точку N

Нехай з точки i можемо перейти в точку j , відстань між цими точками дорівнює a_{ij} . Точка j повинна обертися таким чином, щоб шлях з j в N був частиною оптимального з точки i в точку N . Позначимо мінімальний шлях із j в N через W_j^* . Тоді i вибирається з умови мінімізації суми:

$$a_{ij} + W_j^* \quad (3.5)$$

Таким чином отримуємо рівняння Беллмана.

$$W_i^* = \min\{a_{ij} + W_j^*\}. \quad (3.6)$$

Для реалізації рівняння (3.6) розділимо умовно всі точки мережі на n множин за кількістю кроків 1, 2, ..., n (див. рис. 3.4.). До множини S_n віднесемо точки, з яких можна потрапити в N не більше ніж за n кроків, до S_{n-1} - точки з яких можна потрапити в N не більше ніж за $n - 1$ кроків і т.д.

Якщо $i \in S_{k-1}$, то будемо вважати, що $j \in S_k$. Тоді рівняння (3.6) набуває вигляду:

$$W_k^*(i) = \min\{a_{ij} + W_{k+1}^*(j)\}. \quad (3.7)$$

Оскільки точка N єдина і належить до множини S_n , тому

$$W_{n+1}^*(N) = 0. \quad (3.8)$$

Множина S_{n-1} складається з точок i , з яких можна потрапити в N не більше ніж за один крок, тому

$$W_n^*(i) = \min\{a_{in}\} = a_{in}, \quad U_n^*(i) = N, \quad (3.9)$$

де $U_n^*(i)$ – умовні оптимальні керування (розв'язки) на n -му переході з точки i в N за найкоротшим шляхом. Аналогічно для точок $i \in S_{n-2}$:

$$W_{n-1}^*(i) = \min\{a_{ij} + W_n^*(j)\} = \min\{a_{ij} + a_{jN}\}, \quad U_{n-1}^*(i), \quad (3.10)$$

У підсумку умовної оптимізації отримаємо сукупність умовних оптимальних розв'язків $U_k^*(i)$, використовуючи які послідовно визначимо точки, що відповідатимуть оптимальним маршрутам.

3.3.3 Послідовність розв'язання задачі A_4

Віднесемо до множини S_4 точки A_4 і A_6 , з яких можна потрапити в точку B не більше ніж за один крок; до S_3 - точки A_2 , A_5 і A_8 , з яких можна потрапити в точку B не більше ніж за два кроки; до S_2 - точки A_3 і A_7 , з яких можна потрапити в точку B не більше ніж за три кроки; до S_1 - точку A_1 , (не більше ніж за чотири кроки до точки B), до S_0 - точку A_0 (рис. 3.5).

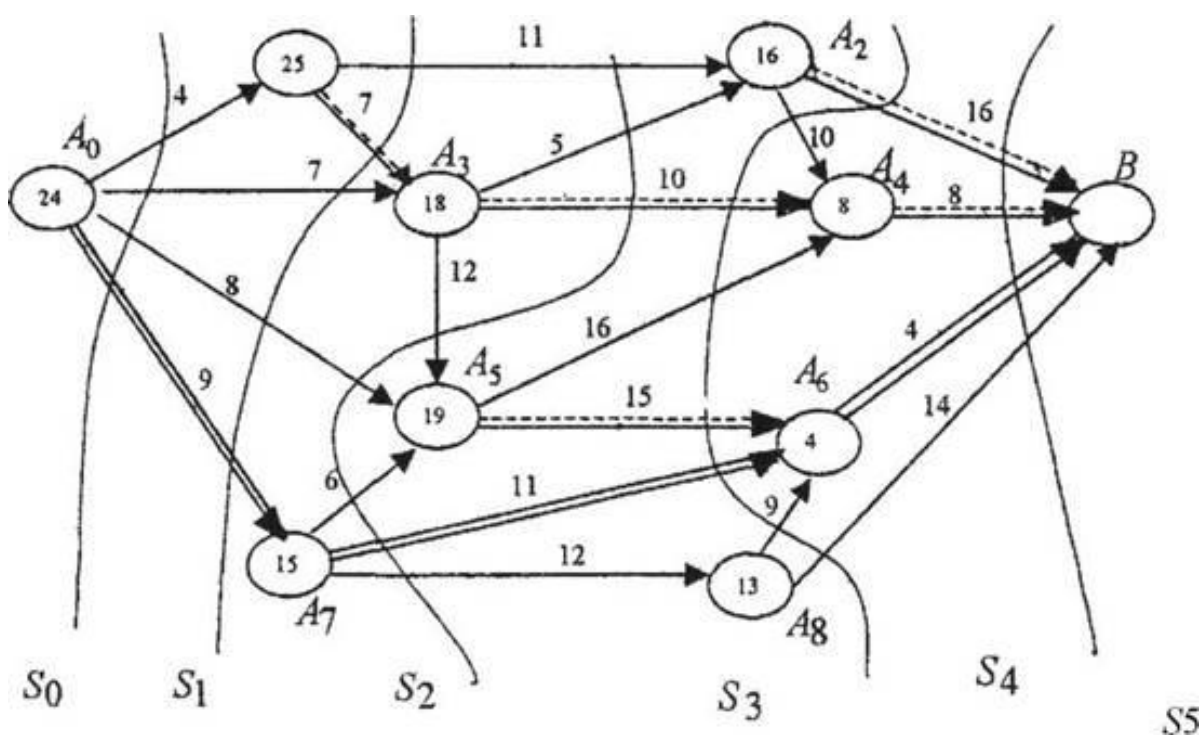


Рисунок 3.5 – Найкоротший шлях з пункту A в пункт B

Умовні оптимальні маршрути, що починаються в точці A_i , і заходять в точку A_j , будемо зображати додатковою пунктирною стрілкою, а умовні

мінімальні довжини шляху від A_i , до B записувати в кружечках біля точки A_i .

Спочатку знайдемо

$$W_5^*(A_4) = 8, \quad U_5^*(U_4) = B$$

$$W_5^*(A_6) = 4, \quad U_5^*(U_6) = B$$

Далі визначаємо

$$W_4^*(A_2) = \min \begin{cases} 16 & \text{при } U_4(A_2) = B \\ 10 + 8 = 18 & \text{при } U_4(A_2) = A_4 \end{cases}$$

тобто $W_4^*(A_2) = 16, U_4^*(A_2) = B$.

$$W_4^*(A_5) = \min \begin{cases} 16 + 8 = 24 & \text{при } U_4(A_5) = A_4 \\ 15 + 4 = 19 & \text{при } U_4(A_5) = A_6 \end{cases}$$

тобто $W_4^*(A_5) = 19, U_4^*(A_5) = A_6$.

$$W_4^*(A_8) = \min \begin{cases} 9 + 14 = 23 & \text{при } U_4(A_8) = A_6 \\ 14 & \text{при } U_4(A_8) = B \end{cases}$$

тобто $W_4^*(A_8) = 14, U_4^*(A_8) = B$.

$$W_3^*(A_3) = \min \begin{cases} 5 + 16 = 21 & \text{при } U_3(A_3) = A_2 \\ 10 + 8 = 18 & \text{при } U_3(A_3) = A_4 \\ 12 + 9 = 21 & \text{при } U_3(A_3) = A_5 \end{cases}$$

тобто $W_3^*(A_3) = 18, U_3^*(A_3) = A_4$.

$$W_3^*(A_7) = \min \begin{cases} 6 + 19 = 25 & \text{при } U_3(A_7) = A_5 \\ 11 + 4 = 15 & \text{при } U_3(A_7) = A_6 \\ 12 + 18 = 30 & \text{при } U_3(A_7) = A_8 \end{cases}$$

тобто $W_3^*(A_7) = 15, U_3^*(A_7) = A_6$.

$$W_2^*(A_1) = \begin{cases} 11 + 16 = 27 & \text{при } U_2(A_1) = A_2 \\ 7 + 18 = 25 & \text{при } U_2(A_1) = A_3 \end{cases}$$

тобто $W_2^*(A_1) = 25, U_2^*(A_1) = A_3$.

$$W_1^*(A_0) = \begin{cases} 4 + 25 = 29 & \text{при } U_1(A_0) = A_1 \\ 3 + 18 = 21 & \text{при } U_1(A_0) = A_3 \\ 8 + 19 = 27 & \text{при } U_1(A_0) = A_5 \\ 9 + 15 = 24 & \text{при } U_1(A_0) = A_7 \end{cases}$$

тобто $W_1^*(A_0) = 24, U_1^*(A_0) = A_7$.

Отже маємо, що мінімальний шлях дорівнює $W_1^*(A_0) = 24$.

Відповідний маршрут проходить через точки A_0, A_7, A_6, B .

На рис. 3.5 він виділений подвійною лінією.

3.3.4. Розробка оптимального розвізно-збирального маршруту

У цьому розділі розроблено один розвізно-збиральний маршрут, що пролягає між вантажовідправником A_1 та вантажоодержувачами $B_1 - B_{11}$. Під час перевезення вантажів дрібними партіями для торгівельних, промислових, поштових і деяких інших організацій автомобіль, прийнявши вантаж від одного відправника, повинен розвезти його декільком одержувачам, рухаючись від одного до іншого й залишаючи певну кількість вантажу в кожного одержувача. В інших випадках необхідно об'їхати кілька пунктів і, забравши в кожному з них якусь кількість вантажу, завезти весь цей вантаж певному одержувачу. Іноді вантаж розвозиться і збирається одночасно. Саме така задача і стоїть в цьому розділі дипломної роботи.

При плануванні цих перевезень виникає завдання визначення таких маршрутів об'їзду заданих пунктів, які забезпечують найменший пробіг автомобілів по цих маршрутах. Кількість можливих варіантів різних маршрутів при об'їзді тих самих пунктів може бути надзвичайно великою. Наприклад при 5 пунктах може бути 12 різних варіантів маршруту їх об'їзду, а при 6 – 60 варіантів. У зв'язку із цим було запропоновано ряд наближених математичних методів розв'язання задачі мінімізації пробігів автомобіля, коли результати розв'язання досить близькі до оптимальних і, разом з тим, час розв'язання порівняно невеликий. Зазначені методи засновані на комбінаторному аналізі – розділі математики, об'єктом досліджень у якому є множини, що складаються із окремих відособлених елементів [16].

Специфіка методів комбінаторного аналізу полягає в застосуванні двох видів операцій: відбору підмножин і операцій упорядкування відповідно до певних правил. Розглянемо один з таких методів на прикладі організації перевезень по розвізно-збиральному маршруту. З пункту A_1 (база) доставляється вантаж (десяти кілограмові ящики з пляшками) в 11 інших пунктів (B_1 - B_{11}), з яких у свою чергу необхідно на базу в пункт A_1 доставити оборотну тару (порожні ящики вагою по 2 кілограми).

Для прикладу розглянемо схему розміщення пунктів A_1 – B_{11} , яка наведена на рисунку 3.6. На цій схемі крім пунктів A_1 – B_{11} позначено відстані між ними по мережі доріг.

Кількість одиниць вантажу (ящики з пляшками), що вивозиться з пункту A_1 в кожний з 11 пунктів B та кількість одиниць оборотної тари (порожні ящики), що вивозиться з них до пункту A_1 наведено в таблиці 3.12. Місткість одного автомобіля становить не більш 250 одиниць вантажу (ящиків) одночасно. Необхідно організувати перевезення між усіма пунктами з найменшим пробігом автомобілів.

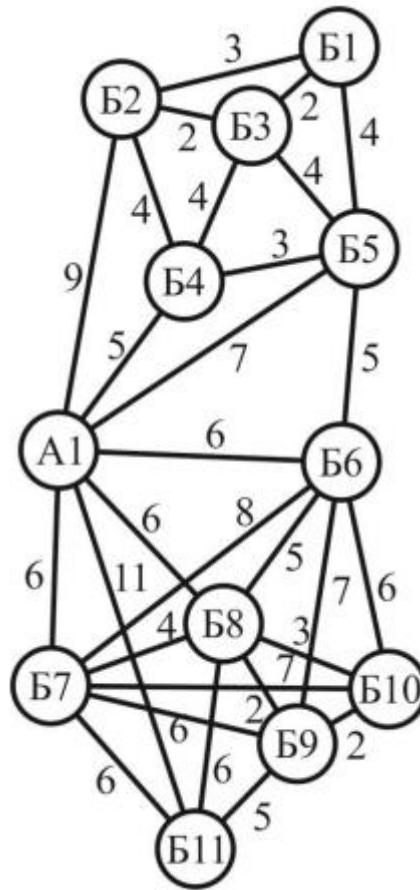


Рисунок 3.6 – Схема розміщення пунктів $A_1 - B_{11}$ та відстані між ними

Таблиця 3.12 – Обсяги завезення й вивезення вантажів

Вантажоодержувачі	Обсяг завезення вантажу, ящиків	Обсяг вивезення оборотної тари, ящиків
Б1	60	60
Б2	30	80
Б3	10	20
Б4	50	70
Б5	100	-
Б6	60	100
Б7	20	10
Б8	40	40
Б9	30	30
Б10	40	-
Б11	40	70
Разом	480	480

Метод розв'язання:

Етап 1.

Знаходження найкоротшої з'єднувальної мережі. Нехай усі пункти на рисунку 3.6 називаються вершинами мережі, а лінія, що з'єднує дві сусідні вершини – ланкою. Незамкнута мережа, що зв'язує дві й більше вершини з мінімальною сумарною довжиною усіх з'єднуючих її ланок називається найкоротшою з'єднувальною мережею.

Побудова найкоротшої з'єднувальної мережі здійснюється в такий спосіб. На мережі знаходиться найменша ланка (наприклад $B_2 - B_3$ з відстанню 2 км). Потім розглядаються усі ланки, зв'язані однієї зі своїх вершин з обраною ланкою, тобто ланки $B_2 - A_1$ з відстанню 9 км, $B_2 - B_1$ з відстанню 3 км, $B_2 - B_4$ з відстанню 4 км, $B_3 - B_1$ з відстанню 2 км, $B_3 - B_4$ з відстанню 4 км та $B_3 - B_5$ з відстанню 4 км. З цих ланок вибирається ланка з найменшою відстанню ($B_3 - B_1$ з відстанню 2 км). Далі розглядаються ланки, пов'язані з вершинами отриманої лінії $B_2 - B_3 - B_1$ і з них вибирається найменша. При цьому не можна вибирати ланку, що з'єднує дві раніше включені в мережу вершини ($B_2 - B_1$). Ланками, пов'язаними з лінією $B_2 - B_3 - B_1$ є: $A_1 - B_2$ з відстанню 9 км, $B_2 - B_4$ з відстанню 4 км, $B_3 - B_4$ з відстанню 4 км, $B_3 - B_5$ з відстанню 4 км, $B_1 - B_5$ з відстанню 4 км, при цьому останні чотири ланки мають однакову найменшу відстань (4 км). З цих чотирьох ланок можна обрати лише одну (наприклад $B_1 - B_5$). Одержимо мережу $B_2 - B_3 - B_1 - B_5$. І так далі, поки не будуть обрані всі вершини.

На рисунку 3.7 подана найкоротша з'єднувальна мережа розглядуваного прикладу.

Біля кожного пункту проставлено кількість одиниць вантажу (ящики з пляшками), що доставляється вантажоодержувачам $B_1 - B_{11}$ (цифри у квадратах) та кількість одиниць вантажу (оборотна тара) що вивозиться від них до вантажовідправника A_1 (у трикутниках).

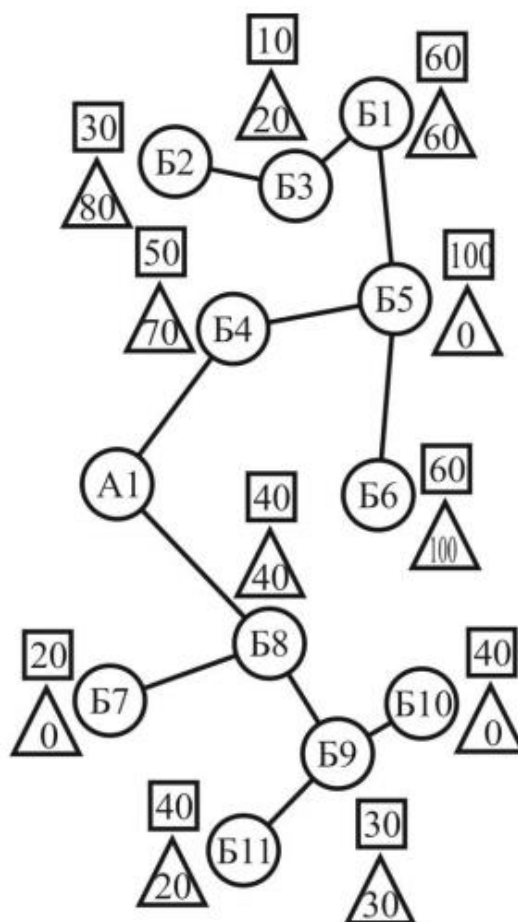


Рисунок 3.7 – Найкоротша з'єднувальна мережа

Етап 2.

Набір пунктів у маршрути. По кожній з гілок мережі, починаючи з тієї, яка має найбільшу кількість ланок, пункти групуються у маршрути. У кожному маршруті групують пункти з урахуванням кількості завезеного та вивезеного вантажу, а також місткості рухомого складу. Якщо всі пункти гілки мережі не можуть бути включені в один маршрут, то найближчі до іншої гілки пункти групуються разом з пунктами цієї гілки.

У розглянутому прикладі умовами завдання встановлено, що максимальна місткість автомобіля становить 250 одиниць вантажу (ящиків). Виходячи із цього пункти, зазначені на рисунку 3.7 можна згрупувати так, як це зроблено в таблиці 3.13. При цьому пункт Б₆ не увійшов до маршруту №1, тому що автомобіль не зміг би прийняти його вантаж і він розташований ближче інших до іншої гілки мережі.

Таблиця 3.13 – Закріплення пунктів за маршрутами

Маршрут № 1			Маршрут № 2		
Вантажо- одержувачі	Обсяг вантажу, ящиків		Вантажо- одержувачі	Обсяг вантажу, ящиків	
	Завезення	Вивезення		Завезення	Вивезення
Б2	30	80	Б6	60	100
Б3	10	20	Б8	40	40
Б1	60	60	Б7	20	10
Б5	100	-	Б9	30	30
Б4	50	70	Б10	40	-
			Б11	40	70
Разом	250	230	Разом	230	250

Етап 3.

Визначення черговості об'їзду пунктів маршруту. Цей етап має на меті зв'язати всі пункти маршруту, починаючи з пункту A_1 , такою замкненою лінією, яка відповідає найкоротшому шляху об'їзду цих пунктів. Одним з найбільш простих методів визначення черговості об'їзду є метод сум [16].

Для розрахунків найкоротшого шляху об'їзду заданих пунктів будується таблиця, що має назву симетричної матриці.

Для маршруту № 1 симетрична матриця наведена в таблиці 3.14. По головній діагоналі в ній розташовані пункти, що включаються до маршруту. Цифри показують відстані між цими пунктами. Додатково в матриці є підсумковий рядок – рядок сум. В даний рядок проставляються суми відстаней по кожному стовпцю.

Таблиця 3.14 – Симетрична матриця для маршруту № 1

A1	11	9	9	5	7
11	Б1	3	2	6	4
9	3	Б2	2	4	6
9	2	2	Б3	4	4
5	6	4	4	Б4	3
7	4	6	4	3	Б5
41	26	24	21	22	24

Таблиця 3.15 – Симетрична матриця для маршруту № 2

A1	6	6	5	7	8	11
6	B6	8	5	7	6	11
6	8	B7	4	6	7	6
5	5	4	B8	2	3	6
7	7	6	2	B9	2	5
8	6	7	3	2	B10	7
11	11	6	6	5	7	B11
43	43	37	21	27	33	46

Етап 4.

Наступним кроком є побудова початкового маршруту з трьох пунктів, що мають максимальну суму по своєму стовпцю. В таблиці 3.14 максимальні суми мають стовпці пунктів A_1 , B_1 , B_2 та B_5 . Для початкового маршруту необхідно вибрати тільки три пункти, тому за початковий приймаємо маршрут $A_1 - B_1 - B_2 - A_1$. До даного маршруту слід додати наступний пункт із максимальною сумою, тобто пункт B_5 . З метою визначення місця включення цього пункту до початкового маршруту (тобто між якими пунктами його слід додати), необхідно почергово включити його між кожною сусідньою парою пунктів $A_1 - B_1$, $B_1 - B_2$, $B_2 - A_1$. При цьому для кожної пари цих пунктів слід знайти величину приросту пробігу автомобіля на маршруті при включенні в початковий маршрут знову обраного пункту. Величину приросту пробігу знаходимо за формулою:

$$\Delta_{kp} = l_{ki} + l_{ip} - l_{kp}, \text{ км}, \quad (3.11)$$

де l – відстань, км;

k – перший сусідній пункт початкового маршруту;

p – другий сусідній пункт початкового маршруту;

i – пункт, що включається до початкового маршруту.

Для розглядуваного прикладу $k = A_1$, $p = B_1$, $i = B_5$. Тоді за формулою (3.11)

маємо:

$$\Delta_{A_1 B_1} = l_{A_1 B_5} + l_{B_5 B_1} - l_{A_1 B_1}, \text{ км};$$

$$\Delta_{A_1 B_1} = 7 + 4 - 11 = 0 \text{ км};$$

$$\Delta_{B_1B_2} = 4 + 6 - 3 = 7 \text{ км};$$

$$\Delta_{B_2A_1} = 6 + 7 - 9 = 4 \text{ км}.$$

З усіх отриманих Δ слід обрати мінімальне значення й між відповідними йому пунктами вставити даний. Тобто для розглядуваного прикладу новий маршрут матиме вигляд: $A_1 - B_5 - B_1 - B_2 - A_1$.

Аналогічні міркування проводимо й для пунктів B_4 та B_3 . Остаточний маршрут буде: $A_1 - B_5 - B_1 - B_3 - B_2 - B_4 - A_1$. Його довжина – 24 км.

Для маршруту № 2 одержуємо: $B_{11} - B_7 - A_1 - B_6 - B_8 - B_{10} - B_9 - B_{11}$. Внаслідок того, що маршрут повинен починатись з пункту A_1 , перекомпонуюємо маршрут № 2 наступним чином: $A_1 - B_6 - B_8 - B_{10} - B_9 - B_{11} - B_7 - A_1$. Довжина маршруту – 33 км.

Схеми розвізно-збиральних маршрутів № 1 та № 2 подано на рис. 3.8.

Завдяки маршрутизації за розрахованими даними скоротиться час виконання замовлення на 25 %; знизяться загальні логістичні витрати на 30 %. При цьому прогнозується підвищення рентабельності активів підприємства з 23 % до 27 %.

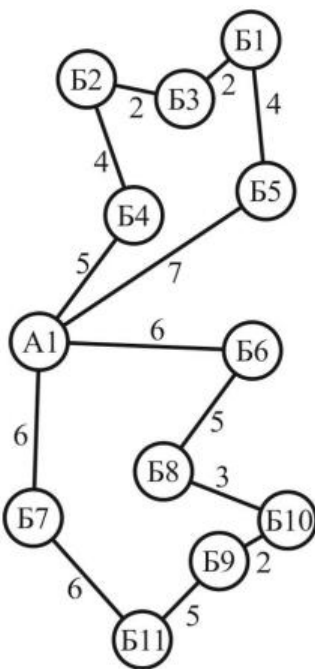


Рисунок 3.8 – Схеми розвізно-збиральних маршрутів № 1 та № 2

ВИСНОВКИ

Перевезення вантажів на мережі без марного пробігу, коли наперед відомі замовлення, середня тривалість виконання, директивні терміни їх виконання, наперед задано кількість залучених транспортних засобів, можна розглядати як багатостадійну систему обслуговування з нефіксованими маршрутами. Тому задача дослідження полягає в тому, щоб із всіх можливих варіантів виробництва обрати ту виробничу модель, яка б з одного боку задовольняла інтереси підприємства-замовника, а з другого – при наявності лімітованих ресурсів давала б максимальний ефект для автопідприємства.

Розв'язання цієї задачі можливе з використанням методів оптимізаційного моделювання, які дозволяють встановити оптимальне закріплення споживачів вантажу за постачальниками, вибрати маршрути перевезень вантажів, вирішити питання розподілу парку рухомого складу по АТП і т.д.

Отже, результатами дипломного дослідження є:

1) Здійснено діагностування діяльності підприємства ТОВ «Креатив Транс» в сфері надання транспортних послуг;

При організації доставки вантажів були виявлені наступні недоліки:

1) На складах постачальників не виконується комплектація замовлень, внаслідок чого збільшується час виконання вантажних операцій на об'єктах доставки вантажів;

2) На перевезеннях не оптимально використовується вантажопідйомність автомобілів;

3) Головним чином перевезення здійснюються за маятниковими маршрутами із порожнім зворотнім пробігом.

У роботі розглядається удосконалення транспортно-технологічного процесу доставки вантажів до споживачів.

Для усунення вищевказаних недоліків, які збільшують витрати підприємства, в магістерській роботі пропонується вирішення наступних задач:

1) Розробка ефективних маятникових та кільцевих маршрутів руху автомобільного транспорту;

2) Розробка оптимального розвізно-збирального маршруту.

Вирішення поставлених задач дозволить більш ефективно використовувати рухомий склад та зменшить транспортні витрати підприємства.

II) Визначення оптимального співвідношення транспортних операцій при створенні єдиної технології перевезення вантажу належить до задач оптимізаційного типу;

Для розв'язання першого завдання застосовано теорію лінійного програмування. Розроблено і проаналізовано оптимізаційну математичну модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів. За критерій оптимальності взято мінімум сумарної кількості «холостих» їздок.

Задачу організації оптимального розвізно-збирального маршруту розв'язано на основі методів динамічного програмування.

III. У роботі на основі використання даних про приведені обсяги завезення і вивезення вантажів та відстані між вантажовідправниками і вантажоодержувачами, за допомогою методу потенціалів складено оптимальний план холостих пробігів автомобілів; на підставі суміщеного плану холостих та завантажених пробігів складено маршрути перевезення вантажів у такій послідовності: маятникові, кільцеві чотирикутні, кільцеві шестикутні і т.д.

На стадії планування перевезень вантажів між декількома пунктами, коли можливий більш ніж один маршрут перевезення, виникає завдання вибору найбільш раціональної схеми руху транспортних засобів.

Застосування сформованої методики маршрутизації дозволить ТОВ «Креатив Транс.» суттєво підвищити ефективність перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів і дрібнопартійних перевезень власним транспортом в межах великого міста. На основі моделювання можна визначити по кожному автомобілю послідовність об'їзду на маршруті та його довжину, що дає можливість ефективно керувати транспортним процесом.

На основі розрахунку показників використання і продуктивності рухомого складу, визначення техніко-експлуатаційних показників роботи під час руху на маятникових і кільцевих маршрутах визначено, що завдяки маршрутизації збільшиться коефіцієнт використання пробігу на 20-25%; скоротиться час виконання замовлення на 25%; відбудуться зниження загальних логістичних витрат на 30%; при цьому прогнозується підвищення рентабельності активів підприємства з 23% до 27%.

Практика застосування вказаних методів розв'язання задачі маршрутизації показує, що вони дозволяють перевізникам досягти значного економічного ефекту, підвищити продуктивність праці та знизити транспортні витрати.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

- 1) Алькема В.Г. Маршрутизації доставки вантажів автомобільним транспортом // Збірник наукових праць НТУ, 2011. С. 108-113. [www.irbis-nbuv.gov.ua > cgi-bin > cgiirbis_64](http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/cgiirbis_64);
- 2) Бідняк М.Н., Мороз О.В. Оперативне управління перевезеннями вантажів малими партіями. Проблеми інформації та управління / М. Н. Бідняк, О. В.Мороз; Зб. Наук. пр. – К.: НАУ, ДДАТУ, ви. 7 – 2013. – с. 68-72;
- 3) Нагорний Є.В. Ефективна реалізація інтерфейсу користувача при розробці інформаційних систем транспортного обслуговування / Є.В. Нагорний, А.І. Левтеров, О.В. Дорохов; Автомоб.трансп.: Сб.науч.тр. – Х., 2013. – Вип. 12. – С. 11-14;
- 4) Нечаєв Г.І. Економіка вантажних перевезень / Г.І. Нечаєв, О.С. Коломієць, Ю.О.Коломієць; Навч. пос., Східноукр.нац.ун-т ім.. В.Даля. – Луганськ, 2011. – 198 с.;
- 5) Прокудін Г. С. Розв'язання нестандартних транспортних задач про призначення / Г. С. Прокудін // Оптимизация производственных процессов: Сб. науч. трудов. – Севастополь: СевНТУ. – 2007. – № 10. – С. 111–115;
- 6) Шептура А.Н. Повышение эффективности автомобильных перевозок партионных грузов при переменном спросе на перевозки / А.Н. Шептура; Дисс.канд.техн.наук: 05.22.20. – Харьков: ХНАДУ, 2004. – 158 с.;
- 7) Давідіч Ю. О. Розробка графіка руху транспортних засобів при організації вантажних перевезень: навч. посіб. / Ю. О. Давідіч. – Х : ХНАМГ, 2010. – 345 с.;
- 8) Оліскевич М. С. Оптимізація транспортних циклів залежно від обсягу прогнозованих вантажопотоків / М. Оліскевич // Вісник Східноукраїнського нац. ун-ту ім. В. Даля. – 2013. – № 5 (194). – Ч. 1 – С. 140–145;
- 9) Атапцев В.И. Логистические транспортно-грузовые системы / В.И. Атапцев, С.Б. Левин, В.М. Николашин, А.С. Синицина, В.И. Шайкин; м.: Издательский центр «Академия», 2013. – 304 с.;

- 10) Майборода М.Е., Бернарский В.В. Грузовые автомобильные перевозки / М.Е. Майборода, В.В. Бернарский; Ростов н/Д.: Феникс, 2017. – 443 с.;
- 11) Вельможин А.В. Грузовые автомобильные перевозки / А.В. Вельможин, В.А. Гудков, Л.Б. Миротин, А.В. Куликов; М.: Телеком, 2016. – 559 с.;
- 12) Васильева Е. М. Нелинейные транспортные задачи на сетях / Е. М. Васильева, Б. Ю. Левит, В. Н. Лившиц. – М.: Финансы и статистика, 2011. – 138 с.;
- 13) Вітлінський В.В. Економіко-математичні методи та моделі: оптимізація : навч. посібник [Електронний ресурс] / Вітлінський В. В., Терещенко Т. О., Савіна С. С. — К. : КНЕУ, 2016. — 303 с.;
- 14) Горев А.Э. Информационные технологии в профессиональной деятельности (автомобильный транспорт) : учебник для СПО / А.Э Горев. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 289 с.;
- 15) Козаченко Д.М. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі: навчальний посібник для ВНЗ / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкін; Дніпропетр.нац.ун-т залізн.трансп.ім.акад.В.Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 277 с.;
- 16) Зайченко Ю. П. Дослідження операцій: підручник / Ю. П. Зайченко – К.: Слово, 2006. – 816 с.;
- 17) Соколов А.В., Токарев В.В. Методы оптимальных решений. В 2-х томах. Т.1. Общие положения. Математическое программирование. – 2- е изд., испр. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2011. – 564 с.;
- 18). Беляев В. М. Организация автомобильных перевозок и безопасность движения : учеб. пособие / В. М. Беляев. – М. : МАДИ, 2014. – 204 с.;
- 19) Босняк М. Г. Вантажні автомобільні перевезення : навчальний посібник для студентів спеціальності 7.100404 «Організація перевезень і управління на транспорті (автомобільний)» / М. Г. Босняк. – К. : Видавничий дім «Слово», 2010. – 408 с.;

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

21) Куниця А.В. Методичні вказівки до виконання практичних робіт з дисципліни «Вантажні перевезення» (для студентів напрямку 6.070101 «Транспортні технології») / А.В.Куниця, В.М.Сокирко, Т.О. Самісько, Д.М. Самісько, Н.О. Соколова. – Горлівка: ДВНЗ «ДонНТУ» АДІ, 2012.– 56 с.;

22) Черненко С. М. Методичні вказівки щодо виконання практичних робіт з навчальної дисципліни «Автомобільні перевезення» для студентів денної та заочної форм навчання зі спеціальності 274 – «Автомобільний транспорт» - КРЕМЕНЧУК: НТУ, 2019/ - 119 с.;

23) Осинцев Н. А. Практикум по организации грузовых автомобильных перевозок : учеб. пособие / Н. А. Осинцев. – Магнитогорск : изд–во Магнитогорского гос. техн. ун–та им. Г. И. Носова, 2014. – 121 с.;

24) Лукинский В.С., Бережной В.И., Бережная Е.В., Цвиринько И.А.. Логистика автомобильного транспорта: концепция, методы, модели -М.: Финансы и статистика, 2002. - 280 с.

ДОДАТОК А

(ДОВІДКОВИЙ)

Матеріали XII всеукраїнської науково-практичної конференції Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН–2020

Актуальні проблеми комп'ютерних наук

УДК 004

Островський Д. О.

ТОВ «Креатив Транс»

СУЧАСНІ АСПЕКТИ МОДЕЛЮВАННЯ ВИРОБНИЧО-ЛОГІСТИЧНИХ СИСТЕМ В ЛАНЦЮГАХ ПОСТАЧАНЬ

Висвітлено сучасні тенденції в розробці аналітичних моделей для всього виробничо-транспортного ланцюга і окремих його елементів. Сучасні дослідження в області моделювання виробничо-логістичних систем (ВЛС) і ланцюгів поставок можна класифікувати на наступних основних рівнях: концептуальний рівень моделей; математичний рівень моделей; рівень моделей інформаційних систем (ІС). Використовувані концепції математичного моделювання ВЛС і ланцюгів поставок поділяються на три основні групи: оптимізаційні (аналітичні) методи, імітаційне моделювання та евристики.

The article highlights current trends in the development of analytical models for the entire production and transport chain and its individual elements. Modern research in the field of modeling of production logistics systems (PLS) and supply chains can be classified at the following main levels: conceptual level of models; mathematical level of models; level of information systems (IS) models. The used concepts of mathematical modeling of PLS and supply chains are divided into three main groups: optimization (analytical) methods, simulation modeling and heuristics.

Метою роботи є висвітлення сучасних тенденцій в розробці аналітичних моделей для всього виробничо-транспортного ланцюга і окремих його елементів.

Операційну систему доставки можна представити у вигляді схеми, на вході якої маємо наявність деякої кількості та типу рухомого складу, а також замовлення (попит) на перевезення вантажів, а на виході – своєчасне перевезення вантажів в пункти призначення.

Визначення оптимального співвідношення транспортних операцій при створенні єдиної технології перевезення вантажу належить до задач оптимізаційного типу.

Тому при розробці аналітичних моделей для всього виробничо-транспортного ланцюга і окремих його елементів принципово важливим є [1]:

- вибрати сукупність змінних, які повинні бути визначені в результаті моделювання;
- формалізувати усі вихідні передумови, які потрібно врахувати при знаходженні оптимального рішення;
- сформулювати критерії оптимальності рішення.

Проектування системи моделювання ланцюга постачань є творчим процесом і починається з аналізу і представлення проблем в абстрактному вигляді. На рис. 1. подані у вигляді схеми початкові кроки по наближенню системи

моделювання до реальних проблем ланцюга постачань, які мають бути розв'язані оптимальним чином [2].

Вибір виду моделі має на увазі не тільки використання конкретного математичного апарату, але й експертного досвіду, що разом утворює людино-машинні аналітичні можливості, які перевершують просте сумування знань окремих експертів. Після обговорення і аналізу разом із фахівцями, що приймають рішення, логістичних завдань ланцюга постачань, з якими вони стикаються, обирається певна оптимізаційна модель.



Рисунок 1 – Розробка системи моделювання ланцюга постачань

Другим кроком є розробка програм для реалізації моделі (генератора моделі), які будуть використовувати інформацію з БД ланцюга постачань і подавати його у вигляді модельної матриці. Програма для реалізації моделі подає проблеми як клас моделей, оскільки модель залежить від набору даних. Отже, в залежності від початкових даних кожен фахівець працює із системою, яка створює різні варіанти загальної моделі.

Наступний процес полягає в переході від дослідження проблеми ланцюга постачань до здійснення плану щодо створення загальної моделі. В залежності від досвіду програміста ця робота може починатися з написання математичних рівнянь або відразу з програмування на основі готових бібліотек відповідних класів.

У будь-якому випадку найважливіший крок в розробці загальної моделі - це докладний аналіз даних, які згодом будуть складати БД ланцюга постачань. Кожен набір початкових даних моделі відповідає окремому, достатньо простому для розуміння компоненту логістичної системи (ЛС), що включений в модель. Ці

набори початкових даних поділяються на дві категорії. В першу входять дані, що описують структуру ЛС. Ці структурні дані включають такі найменування [2]:

- існуючих і потенційних постачальників, об'єктів і їх розміщення;
- товарів, що проходять через ЛС, які можуть бути сировиною, комплектуючими або готовою продукцією;
- процесів і способів трансформування товарів, що переміщуються, які використовуються на об'єктах ЛС;
- ресурсів, необхідних для забезпечення логістичних процесів;
- транспортних зв'язків між пунктами відправлення і призначення, включаючи зв'язки постачальників з посередниками і ринками, зв'язки між посередниками і посередників з ринками.

Для структурних даних можна відмітити також такі важливі особливості. Операції на кожному об'єкті ЛС можуть включати декілька процесів або етапів. Кожен процес може відповідати декільком способам переробки вантажів і може використовувати дефіцитні ресурси, які в свою чергу, розподіляються між декількома процесами. Крім того, при описі структури ЛС зазвичай не враховують наявність оберненого матеріального потоку від ринків до посередників або постачальників. Ці потоки складають оборотна тара, порожні контейнери, повернення забракованих товарів і т.п. Ланцюги постачань, в яких враховується обернений матеріальний потік, належать до оборотних логістичних мереж.

До другої категорії початкових даних моделі ЛС належать числові дані, які відповідають структурі ЛС. Кожен набір числових даних відповідає певному сценарію функціонування ЛС і включає в себе такі дані [2]:

- кількість сировини або комплектуючих, які є у постачальників, і її вартість;
- інвестиції і непрямі витрати на придбання і експлуатацію обладнання;
- переробні потужності об'єктів ЛС;
- кількість вхідної і вихідної продукції, яка відповідає кожній операції по переробці вантажів;
- витрати і потужності, які відповідають процесам і ресурсам, що споживаються цими ресурсами;
- логічні обмеження, що відповідають можливим місцерозташуванням об'єктів й інвестиціям;
- витрати і потужності, пов'язані з усіма вантажопотоками;
- таблиці валютних ресурсів для міжнародних ланцюжків постачань;
- кількість кінцевої продукції, що споживається на ринку для мінімізації витрат, або крива чистого доходу для максимізації чистого прибутку.

Сучасні дослідження в області моделювання виробничо-логістичних систем (ВЛС) і ланцюгів поставок можна класифікувати на наступних основних рівнях [3]:

- концептуальний рівень моделей;
- математичний рівень моделей;
- рівень моделей інформаційних систем (ІС).

На кожному з цих рівнів вирішуються завдання синтезу та аналізу ВЛС і ланцюгів поставок стосовно до стадій планування і оперативного управління ВЛС і ланцюгами поставок в цілому. На концептуальному рівні моделюються організаційно-економічні проблеми ВЛС і ланцюгів поставок, бізнес-процеси (БП), оргструктури і т.д. На математичному рівні формалізовано описуються у вигляді математичних моделей і вирішуються на основі різних алгоритмів різні завдання синтезу та аналізу ВЛС і ланцюгів поставок. На рівні ІС моделюються окремі програмні продукти, а також середовища їх взаємодії для інтегрованої підтримки прийняття рішень в ВЛС і ланцюгів поставок.

Нові вимоги висуваються до методів математичного моделювання ВЛС і ланцюгів поставок. Існуючі моделі та алгоритми синтезу ВЛС і ланцюгів поставок орієнтовані на знаходження оптимальних за тими чи іншими критеріями планів, структури постачальників і т.д. При цьому питання аналізу цих планів щодо їх здійсненності та стійкості залишаються відкритими. Завдання аналізу ВЛС і ланцюгів поставок в динаміці і оперативного реконфігурування також залишаються маловивченими. Існуючим методам моделювання ВЛС і ланцюгів поставок властивий і ряд загальних недоліків. Перш за все в них практично не враховується властивість активності елементів ВЛС і ланцюгів поставок в цілому. Структурна і функціональна стадії синтезу ланцюгів поставок, а також завдання планування і управління розглядалися окремо, на основі різних, методологічно не пов'язаних один з одним методів і моделей. Більшість з відомих математичних моделей носять статичний і детермінований характер, не враховує фактори невизначеності при плануванні ВЛС і ланцюгів поставок.

Використовувані концепції математичного моделювання ВЛС і ланцюгів поставок традиційно поділяються на три основні групи: оптимізаційні (аналітичні) методи, імітаційне моделювання та евристики.

Крім розглянутих трьох основних концепцій моделювання ВЛС і ланцюгів поставок слід також розглянути концепцію, яка об'єднує в собі елементи цих трьох концепцій, - теорію систем управління. Сучасні теорії систем і управління мають досить опрацьовану теоретичну базу методів моделювання закритих систем. У той же час можливості формалізації складних відкритих систем з активними елементами обмежені. Багато методів теорії управління, розроблені для технічних систем, не завжди застосовні для аналізу соціально-економічних систем і часто можуть бути використані лише як загальні модельні конструкції, що допомагають зрозуміти основні загальносистемні принципи управління в складних системах.

Важливою особливістю математичного моделювання ланцюгів поставок є складність, взаємопов'язаність і міждисциплінарність завдань синтезу та аналізу ВЛС і ланцюгів поставок. Сучасною тенденцією в моделюванні ланцюгів поставок є комбінування різних методів моделювання. У спеціальній літературі описано безліч прикладів комбінування різних методів моделювання ланцюгів поставок. Існують також розробки в області спеціальних мов моделювання ланцюгів поставок, наприклад SCML (Supply Chain Markup Language), призначений для обміну

моделями ланцюгів поставок незалежно від способу їх розв'язання і комп'ютерної реалізації, а також в області програмних продуктів для підтримки прийняття рішень в розподілених коопераційних системах [3].



Рисунок 2 – Комбінація різних методів моделювання як основа дослідження ВЛС і ланцюгів поставок

На сьогодні відчувається гостра необхідність в розробці спеціальних методик математичного моделювання ВЛС і ланцюгів поставок, що дозволяють гнучко застосовувати різні методи і алгоритми, а також їх комбіновані модельні конструкції для вирішення різних завдань управління ВЛС залежно від характеру і повноти даних, взаємозв'язку даного завдання з іншими завданнями і т.д. Розробка подібного комплексного підходу до математичного моделювання ВЛС і ланцюгів поставок повинна ґрунтуватися на поєднанні різних дисциплін і методів, таких як теорії систем і управління, дослідження операцій, мультіагентних систем, нечіткої логіки і т.д. (рис. 2).

Перелік посилань

1. Козаченко Д.М. Основи дослідження операцій у транспортних системах: приклади та задачі: навчальний посібник для ВНЗ / Д.М. Козаченко, Р.В. Вернигора, В.В. Малашкін; Дніпропетр.нац.ун-т залізн.трансп.ім.акад.В.Лазаряна. – Дніпропетровськ, 2015. – 277 с.
2. Горев А.Э. Информационные технологии в профессиональной деятельности (автомобильный транспорт) : учебник для СПО / А.Э Горев. – М.: Издательство Юрайт, 2019. – 289 с.
3. Сергеев В.И. Корпоративная логистика в вопросах и ответах [Електронне джерело]. Режим доступу: https://studref.com/402394/logistika/korporativnaya_logistika_v_voprosah_i_otvetah

ДОДАТОК Б

(обов'язковий)

Слайди презентації

ОПТИМІЗАЦІЙНІ МОДЕЛІ ЗАДАЧІ МАРШРУТИЗАЦІЇ НА ПРИКЛАДІ ТОВ «КРЕАТИВ ТРАНС»

Науковий керівник:
канд.тех.наук, доцент
Драч. І. В.

Виконав:
студент групи ПМм-19-1
Островський Д.О.

Мета

Метою цього дослідження є розробка і аналіз структурної оптимізаційної економіко-математичної моделі організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної та динамічної оптимізації для підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області.

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

- 1) виконати аналіз сучасного стану застосування математичних методів і моделей для задач галузі автомобільних вантажних перевезень; узагальнити існуючі положення розробки розгорнутих економіко-математичних моделей організації ефективних маршрутів перевезень;
- 2) побудувати математичну модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;
- 3) побудувати математичну модель планування оптимального розвізно-збирального маршруту на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;
- 4) визначити можливі шляхи вдосконалення транспортної діяльності ТОВ «Креатив Транс»; обґрунтувати доцільність запропонованих заходів покращення транспортної діяльності підприємства.

Об'єкт та предмет дослідження

Об'єктом дослідження є організація маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів, характерною рисою якої має стати максимально можлива ефективність її функціонування.

Предметом дослідження є комплексне економіко-математичне оптимізаційне моделювання транспортної діяльності підприємства галузі вантажних автомобільних перевезень.

Науково-практична новизна

- **Науково-практична новизна** дипломної роботи полягає в наступному: комплексна структурна економіко-математична модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів розроблена для параметрів підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області; на основі її аналізу розроблено рекомендації для прийняття і обґрунтування ефективних управлінських рішень.
- Робота проводилась у зв'язку з договором ТС-3-2020 про науково-технічне співробітництво з ТОВ «Креатив Транс».

Публікації та апробація результатів дослідження

За темою роботи опубліковано тези:

Островський Д.О. Сучасні аспекти моделювання виробничо-логістичних систем в ланцюгах постачань // Актуальні проблеми комп'ютерних наук. Збірник наукових праць за матеріалами XII всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми комп'ютерних наук АПКН-2020» – Хмельницький: ХНУ, 2020, Т.1. – С. 209 - 213.

Результати проходження переддипломної практики:

Визначено основні недоліки організації доставки вантажів в ТОВ “Креатив Транс” :

1. На складах постачальників не виконується комплектація замовлень, внаслідок чого збільшується час виконання вантажних операцій на об'єктах доставки вантажів.
2. На перевезеннях не оптимально використовується вантажопідйомність автомобілів.
3. Головним чином перевезення здійснюються за маятниковими маршрутами із порожнім зворотнім пробігом.

Для усунення зазначених недоліків, які збільшують витрати підприємства, в магістерській роботі пропонується вирішення наступних задач:

1. Розробка розвізних маятникових та кільцевих розвізних маршрутів руху автомобільного транспорту на основі оптимізаційних моделей лінійного програмування.
 2. Розробка оптимального розвізно-збирального маршруту на основі оптимізаційних моделей динамічного програмування.
- Вирішення поставлених задач дозволить більш ефективно використовувати рухомий склад та зменшить транспортні витрати підприємства.

Задача організації раціональних маршрутів вантажів (математична модель на основі задачі лінійного програмування)

Вихідні дані: кількість перевезеного вантажу, кількість поїздок, приведені обсяги завезення і вивезення вантажів та відстані між вантажовідправниками і вантажоодержувачами

Критерій оптимальності: мінімум сумарної кількості «холостих» їздок

№ з/п	Вантажовідправник	Вантажоприймач	Тип вантажу	Кількість			
				вантажу, т	поїздок		
1	Підприємство-виробник будівельних матеріалів	A ₁	Завод	Б ₃	Пісок	140	20
2	Підприємство-виробник будівельних матеріалів	A ₁	Завод ЗБК	Б ₄	Щебінь	105	15
3	Котлован	A ₂	Будівництво 2	Б ₂	Ґрунт	245	35
4	Ґіщаний кар'єр	A ₃	Будівництво 1	Б ₁	Пісок	336	48

Показники роботи обраного рухомого складу

№ з/п	Параметри	Одиниці вимірювання	Кількість
1	Вантажопідйомність МАЗ - 5551	т	7,0
2	Середня технічна швидкість	км/год	22,0
3	Час в наряді	год	14,0
4	Норма часу на завантаження за поїзду	хв	7,0
5	Норма часу на розвантаження за поїзду	хв	6,0
6	Початок роботи пунктів розвантаження	год	7,0

Результати розрахунку оптимального розподілу поїздок

Вантажоприймачі	U_j	Вантажовідправники			Кількість поїздок
		A_1	A_2	A_3	
	V_i	-1	0	0	
B_3	12	0 [20]	11 15	3 20	12 20
B_4	5	10 [15]	14 8	3 15	5 15
B_2	10	35	9 12	2 [35]	13 35
B_1	13	5	17 35	13 13	13 48
Кількість поїздок		35	35	48	118

з пункту A_1 в пункт B_2 необхідно зробити 35 виїздів без вантажу,

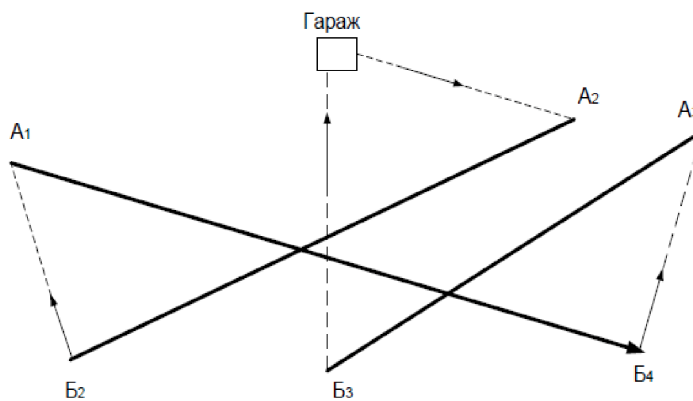
з пункту A_2 в пункт B_1 – 35 виїздів,

з пункту A_3 : в пункт B_3 – 20 виїздів,

в пункт B_4 – 15 виїздів, пункт B_1 – 13 виїздів.

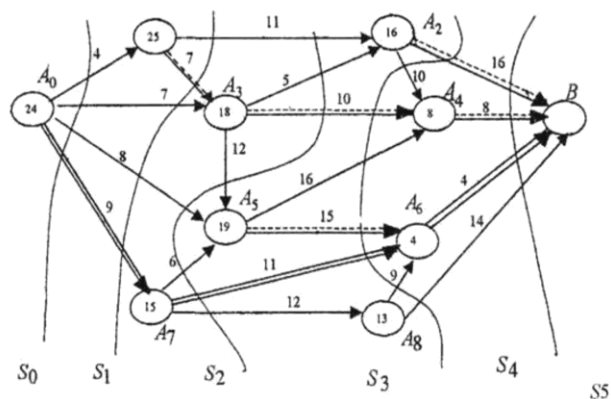
За допомогою методу потенціалів складено оптимальний план холостих пробігів автомобілів; на підставі суміщеного плану холостих та завантажених пробігів складено маршрути перевезення вантажів у такій послідовності: маятникові, кільцеві чотирикутні, кільцеві шестикутні і т.д.

Приклад одержаної схеми кільцевого маршруту



Планування оптимального розвізного маршруту
(математична модель на основі задачі динамічного програмування)

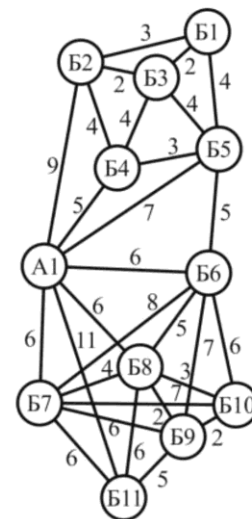
Задана схема розміщення пунктів $A_1 - B_{11}$ та відстані між ними
Знаходження найкоротшого шляху з пункту А в пункт В



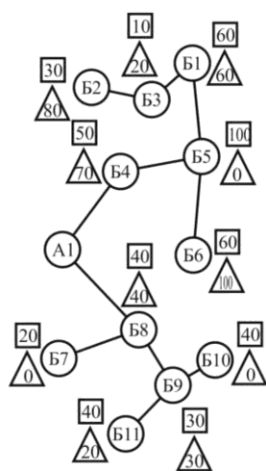
Відповідний маршрут проходить через точки A_0, A_7, A_6, B .

Планування оптимального розвізно-збирального маршруту (методи розв'язання засновані на комбінаторному аналізі)

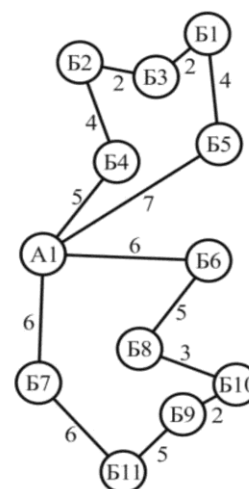
- розвізно-збиральний маршрут, що пролягає між вантажовідправником A_1 та вантажоодержувачами $B_1 - B_{11}$.
- під час перевезення вантажів дрібними партіями для торгівельних, промислових, поштових і деяких інших організацій автомобіль, прийнявши вантаж від одного відправника, повинен розвезти його декільком одержувачам, рухаючись від одного до іншого й залишаючи певну кількість вантажу в кожного одержувача. В інших випадках необхідно об'їхати кілька пунктів і, забравши в кожному з них якусь кількість вантажу, завезти весь цей вантаж певному одержувачу. Іноді вантаж розвозиться і збирається одночасно.
- При плануванні цих перевезень виникає завдання визначення таких маршрутів об'їзду заданих пунктів, які забезпечують найменший пробіг автомобілів по цих маршрутах.
- Задана схема розміщення пунктів $A_1 - B_{11}$ та відстані між ними



Найкоротша з'єднувальна мережа



Схеми розвізно-збиральних маршрутів № 1 та № 2



Висновки

- 1) Проаналізовано сучасний стан застосування математичних методів і моделей для задач галузі автомобільних вантажних перевезень;
- 2) Визначено оптимальне співвідношення транспортних операцій при створенні єдиної технології перевезення вантажу належить до задач оптимізаційного типу;
- 3) Побудовано математичну модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;
- 4) Побудовано математичну модель планування оптимального розвізно-збирального маршруту на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами автопідприємства ТОВ «Креатив Транс»;
- 5) Визначено можливі шляхи вдосконалення транспортної діяльності ТОВ «Креатив Транс».

Висновки

- На основі розрахунку показників використання і продуктивності рухомого складу, визначення техніко-експлуатаційних показників роботи під час руху на маятникових і кільцевих маршрутах визначено, що завдяки маршрутизації збільшиться коефіцієнт використання пробігу на 20-25%; скоротиться час виконання замовлення на 25%; відбудуться зниження загальних логістичних витрат на 30%; при цьому прогнозується підвищення рентабельності активів підприємства з 23% до 27%.
- Практика застосування вказаних методів розв'язання задачі маршрутизації показує, що вони дозволяють перевізникам досягти значного економічного ефекту, підвищити продуктивність праці та знизити транспортні витрати.

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

РЕЦЕНЗІЯ НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ

Дипломник _____ студент групи ПММ-19-1 Островський Д. О.

Тема Оптимізаційні моделі задачі маршрутизації на прикладі ТОВ «Креатив Транс»

Спеціальність 113 – Прикладна математика

Обсяг дипломної роботи:

Кількість листів креслень 0 ; кількість сторінок записки 93

1. Короткий зміст ДР та прийнятих рішень Представлена робота присвячена актуальній темі аналізу структурної оптимізаційної економіко-математичної моделі організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної та динамічної оптимізації для підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області. Складається з наступних розділів: вступ, огляд сучасного стану проблеми моделювання технологічних процесів підприємства автомобільного транспорту, теоретичні основи математичного моделювання транспортних послуг автопідприємства, оптимізаційні моделі маршрутизації підприємства автомобільного транспорту ТОВ «Креатив Транс» та результати її дослідження, висновки, додатки.

2. Висновок про відповідність ДР поставленому завданню Магістерська кваліфікаційна робота виконана у відповідності з завданням.

3. Характеристика виконання кожного розділу роботи, ступінь використання останніх досягнень науки і техніки і передових методів роботи: У першому розділі проаналізовані сучасні підходи при дослідженні задач організації вантажоперевезень. У другому розділі розглянуто теоретичні основи математичного моделювання транспортних послуг автопідприємств; визначено специфіку застосування лінійного і динамічного моделювання технологічних процесів підприємств галузі автомобільних вантажних перевезень. У третьому розділі, побудовано і проаналізовано модель організації раціональних маршрутів перевезень масових вантажів на підставі заявок клієнтів на основі моделей лінійної оптимізації та модель маршрутизації на основі моделей динамічної оптимізації за параметрами підприємства ТОВ «Креатив Транс» Хмельницької області.

4. Позитивні сторони роботи До позитивних сторін роботи слід віднести актуальність даного напрямлення дослідження, деталізацію аналізу усіх розглянутих стратегій вирішення проблеми та поглиблене опрацювання всіх аспектів реалізації з практичним використанням запропонованого рішення. Надано практичні рекомендації щодо оптимізації організації транспортної діяльності при впровадженні розроблених кільцевих і маятникових маршрутів доставки вантажів для підприємства ТОВ «Креатив Транс»

5. Негативні сторони роботи До негативних сторін роботи слід віднести недоліки по оформленню представленого матеріалу, що були виправлені.

6. Оцінка графічного оформлення та пояснювальної записки роботи Дані матеріали роботи є структурованими у чіткій та логічній формі та відображають послідовність виконання поставлених завдань. І хоча й в них було знайдено декілька стилістичних та орфографічних помилок, вони були пізніше усунені. Пояснювальна записка оформлена у відповідності із чинними нормами.

7. Відгук про роботу в цілому Загалом, зміст представленої роботи в повній мірі розкриває обрану тему. Дослідження, проведені в матеріалах є достатньо аргументованими. Прослідковуються високі теоретичні та практичні рівні у даному виконанні. Результати роботи можуть бути використані конкретним підприємством для оптимізації організації транспортної діяльності. Автор роботи заслуговує присвоєння кваліфікації «магістра» з прикладної математики

8. Інші зауваження

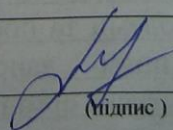
9. Оцінка дипломної роботи Робота заслуговує оцінки «добре»

РЕЦЕНЗЕНТ (прізвище, ім'я, по-батькові, посада, місце роботи) Кисіль Тетяна Миколаївна, кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії та системного програмування ХНУ

“ 9 ”

12

2020 р.


(підпис)

Завідувачу кафедри ТМІТ
д-р.техн.наук Підченку С.К.

Островський Д.О.
ПІБ здобувача вищої освіти

ФПКТС, 2 курсу, групи ПМм-19-1

ЗАЯВА

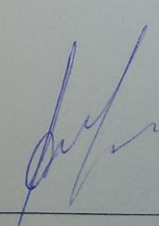
З правилами чинного Положення «Про дотримання академічної доброчесності в Хмельницькому національному університеті» від 26.09.2020 (зі змінами від 26.11.2020), згідно з яким виявлення плагіату є підставою для відмови в допуску кваліфікаційної роботи до захисту та застосування заходів дисциплінарної та академічної відповідальності, ознайомлений (а). Про використання програмно-технічних засобів для перевірки кваліфікаційних робіт здобувачів вищої освіти на плагіатоповіщений (а) та надаю свою згоду на обробку та збереження університетом моєї роботи в інституційному репозитарії університету.

Також надаю університету право на передачу моєї роботи для обробки та збереження в базах даних програмно-технічних засобів (Unicheck та Anti-Plagiarism) та використання роботи для виявлення плагіату в інших роботах, які перевіряються програмно-технічними засобами та користувачами, що мають доступ до цих програмно-технічних засобів, виключно в обмежених цілях для виявлення плагіату в текстах робіт.

Робота для перевірки університетом надається в друкованому та електронному варіанті. Електронна версія моєї роботи збігається (ідентична) з друкованою.

02.12.2020

дата


підпис

РІШЕННЯ ЕКСПЕРНОЇ КОМІСІЇ
КАФЕДРИ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙ, МЕДІЙНИХ ТА ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИХ ТЕХНОЛОГІЙ
ПРО ДОПУСК КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ ДО ЗАХИСТУ

Підтверджуємо ознайомлення з результатом звіту подібності щодо роботи, генерованого системою виявлення текстових збігів/ідентичності/схожості:

Назва: Оптимізаційні моделі задачі маршрутизації на прикладі ТОВ «Креатив Транс»

Автор: Островський Денис Олександрович

Спеціальність: 113 – прикладна математика

Освітня програма: освітньо-професійна

Науковий керівник: Драч Ілона Володимирівна, к.т.н доцент

Після аналізу звіту подібності зроблено такий висновок:

№	Висновок	Позначка про відповідність
1	Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом. Робота приймається до захисту.	+
2	Виявлені запозичення не є плагіатом, розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження, але кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. Робота приймається до захисту, але має бути відкоригована. Відкоригований варіант має бути поданий на кафедру за 2 дні до захисту, разом із заявою щодо самостійності виконання письмової роботи та ідентичності друкованої та електронної версії роботи	
3	Виявлені запозичення не є плагіатом, але частково розміщені в розділах, які описують безпосередньо авторське дослідження, а кількість цитат перевищує обсяг, виправданий поставленою метою роботи. В зв'язку з цим мета роботи та поставлені завдання не були досягнені. Робота може бути допущена до захисту (наступного року) після того як буде відкоригована та допрацьована і успішно пройде повторну перевірку на академічний плагіат.	
4	Робота містить навмисні текстові спотворення, передбачувані спроби укриття запозичень або інші прояви академічного плагіату. Робота містить фабрикацію або фальсифікацію даних. Робота не допускається до захисту.	

Підтвердження:

Співпадіння складають 14,5 %.

Запозичення, виявлені в роботі, є законними і не є плагіатом, оскільки:

1) найбільші співпадіння з джерелами:

1 https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24987/1/Tkachuk_magistr.pdf - 3.24%

2 <https://studfile.net/preview/5680754/page:5> - 2.07%

3 <https://studfile.net/preview/5388251/page:5> - 1.61%

4 http://ea.donntu.org:8080/bitstream/123456789/28337/4/%D0%93%D0%9F_%D0%9C%D0%A3_%D0%BF%D1%80%D0%B0%D... - 1.2%

5 https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_modelyuvtehproces_avtotransportu/p8.html - 1.46%

6 <http://jak.bono.odessa.ua/articles/transportna-zadacha-onlajn.php> 1.1%

7 https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/avto6_bilichenko_modelyuvtehproces_avtotransportu/p9.html - 0.99%

розміщені в розділах, які не описують безпосередньо авторське дослідження і не стосуються результатів роботи;

2) усі ці запозичення фрагментарні, або мають належним чином оформленні посилання;

3) джерела запозичення

2 <https://studfile.net/preview/5680754/page:5> - 2.07%

3 <https://studfile.net/preview/5388251/page:5> - 1.61%

дублюють одне одного;

4) усі інші джерела запозичення мають відсоток співпадіння менший 1%.

11.12.2020

Дата


Підпис

Підченко С.К.

Підпис

Драч І. В.

Підпис

Anti-Plagiarism v-15.257

Максимальное совпадение с одним документом 5.0%

Словари проверки: en_US, ru_RU, ua_UA. Ошибок в документах: 9%

ID: 80937 Название: Оптимізаційні моделі задачі маршрутизації на прикладі ТОВ «Креатив Транс» Добавлено в БД: 2020-11-23 Авторы: Островський Денис Олександрович Руководители: Драч Ілона Володимирівна Консультанты: Опоненты:	Документ		Суммарное совпадение по Базе Данных	
	Символы	Лексемы	Символы	Лексемы
	89345	752	8560 (10%)	82 (11%)

Источник плагиата

ID	Описание	Наличие плагиата в документе	
		Символы	Лексемы



Имя пользователя:
Kafedra TMIT KhNU

ID проверки:
1005427131

Дата проверки:
10.12.2020 21:44:08 EET

Тип проверки:
Doc vs Internet

Дата отчета:
10.12.2020 21:52:50 EET

ID пользователя:
100005657

Название файла: **Островський_ПММ-19-1(повторно)**

Количество страниц: 91 Количество слов: 13460 Количество символов: 95872 Размер файла: 2.23 MB ID файла: 1005718689

698 слов помечены как "исключенные" и не учитываются в подсчете слов

14.5% Совпадения

Наибольшее совпадение: 3.24% с Интернет-источником (https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789/24987/1/Tkachuk_mag...)

14.5% Источники из Интернета

117

..... Страница 93

Поиск совпадений с Библиотекой не производился

0% Цитат

Не найдено ни одной цитаты

Не найдено ни одной ссылки

0% Исключений

Нет исключенных источников

Модификации

Обнаружены модификации текста. Подробная информация доступна в онлайн-отчете.

Замененные символы

242