



ЦЕНТРАЛЬНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ

ФАКУЛЬТЕТ БУДІВНИЦТВА, ТРАНСПОРТУ ТА
ЕНЕРГЕТИКИ



КАФЕДРА «ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА РЕМОНТ МАШИН»

КВАЛІФІКАЦІЙНА БАКАЛАВРСЬКА РОБОТА

на тему:

«Організація вантажних перевезень з оптимізацією їх
основних показників у ТОВ "АТП-2004", м.
Кропивницький»

Виконав:

здобувач групи ТТ-19ПЗ Іван КАКОШН
(шифр групи) (підпис) (ім'я та прізвище)

Керівник:

Д.Т.Н., проф. Віктор АУЛН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)

«ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ»

Завідувач кафедри:

К.Т.Н., доц. Сергій МАГОПЕЦЬ
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2023 р.

Рецензент:

_____ _____ _____
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ім'я та прізвище)
«__» _____ 2023 р.

Кропивницький – 2023 р.

Центральноукраїнський національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет будівництва, транспорту та енергетики

Кафедра експлуатації та ремонту машин

Освітній рівень – бакалавр

Галузь знань - 27 - «Транспорт»

(шифр і назва)

Спеціальність - 275 - «Транспортні технології на автомобільному транспорті»

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Зав. кафедри «Експлуатації та
ремонту машин»**

_____ Сергій МАГОПЕЦЬ
06 квітня 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ АТЕСТАЦІЙНУ РОБОТУ

Какошина Івана Юрійовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Організація вантажних перевезень з оптимізацією їх основних показників у ТОВ "АТП-2004", м. Кропивницький

керівник роботи _____ Аулін Віктор Васильович, д-р. техн. наук, проф.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "06"04 2023 року №179-02

2. Строк подання здобувачем роботи 30 травня 2023р.

3. Вихідні дані до роботи 1. Матеріали переддипломної практики. 2. Методичні вказівки для виконання переддипломної практики. 3. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної бакалаврської роботи.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) В першому розділі дати загальну характеристику підприємству, що спеціалізується на вантажних перевезеннях та парку його рухомого складу. Навести основні показники роботи транспортних засобів автотранспортного підприємства: коефіцієнт технічної готовності; коефіцієнт використання парку машин; тривалість роботи транспортних засобів на лінії; технічна та експлуатаційна швидкості руху транспортних засобів; коефіцієнт використання пробігу та вантажопідйомність; обсяг перевезень

У другому розділі розглянути питання оптимізації вантажних перевезень на автотранспортному підприємстві. З'ясувати математичну постановку транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту та багатокритеріальної оптимізації при плануванні вантажних перевезень. Побудувати багатокритеріальну математичну модель планування перевезень та дати аналіз методу її розв'язання у вигляді схеми алгоритму.

В третьому розділі відобразити реалізацію багатофакторної оптимізації процесів вантажних перевезень на підприємстві. Показати як здійснюється інформаційне забезпечення вантажних перевезень. З'ясувати взаємодію операцій процесу перевезення вантажів. Розглянути особливості організації вантажних перевезень найкоротшим шляхом для неурівноважених умов перевізника і споживачів з урахуванням перевезень через проміжні пункти. Розглянути представлення процесу у вигляді графів і матриці. За матричним представленням розробити алгоритм розподілу перевезень вантажу на транспортній мережі. Методом зведення на комп'ютері провести експериментальну перевірку розв'язку транспортної задачі з представленням світлин з монітору.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) Ілюстративний матеріал подати у вигляді мультимедійної презентації розробленої в програмі MS Power Point, яка буде складатися з наступних слайдів: 1. Мета і основні завдання бакалаврської роботи (А4). 2. Технічна характеристика рухомого складу ТОВ "АТП-2004"(А4). 3. Математична постановка транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту (А4). 4. Загальний вигляд завдання планування вантажних перевезень (А4). 5. Узагальнена схема алгоритму розв'язання завдання планування вантажних перевезень. (А4). 6. Блок-схема взаємодії головного серверу з сукупністю різних серверів системи вантажних перевезень (А4). 7. Схема взаємодії операцій процесу перевезення вантажів при обробленні замовлення (А4). 8. Представлення транспортної мережі у матричному вигляді (А4). 9. Комп'ютерна система оптимізації перевезень (КСОП) на дорожньо-транспортній мережі (ДТМ) (А4). 10. Висновки (А4).

6. Дата видачі завдання 20 квітня 2023 року.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Підготовка та перевірка першого розділу роботи	05.05.2023	
2	Підготовка та перевірка другого розділу роботи	15.05.2023	
3	Підготовка та перевірка третього розділу роботи	29.05.2023	
5	Підготовка та перевірка ілюстративного матеріалу по бакалаврській роботі	30.05.2023	
6	Формування комплекту документів та зшиту бакалаврську роботу	30.05.2023	

Здобувач вищої освіти

Іван КАКОШН
 (підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

Віктор АУЛН
 (підпис) (прізвище та ініціали)

[illegible]

Реферат

Бакалаврська робота складається з пояснювальної записки та ілюстративного матеріалу.

Пояснювальна записка має 44 сторінки тексту формату А4, 16 рисунків, 3 таблиці, 20 використаних джерел по переліку посилань.

Метою бакалаврської роботи є оптимізація та побудова математичної моделі планування вантажних перевезень при розв'язанні транспортної задачі з наявністю проміжних пунктів на маршрутах сполучення

Для реалізації мети в бакалаврській роботі розв'язувались наступні завдання:

- дати загальну характеристику підприємству, що спеціалізується на вантажних перевезеннях, та показників парку його машин;
- з'ясувати питання багатокритеріальної оптимізації планування вантажних перевезень на автотранспортному підприємстві при розв'язанні транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту;
- розглянути інформаційне забезпечення вантажних перевезень з розміщенням його на відповідних серверах з обробкою замовлень і взаємодією операцій та розв'язати транспортну задачу з представлення у вигляді графу і матриці.

В першому розділі дано загальну характеристику підприємству, що спеціалізується на вантажних перевезеннях та парку його рухомого складу. Наведено основні показники роботи транспортних засобів автотранспортного підприємства: коефіцієнт технічної готовності; коефіцієнт використання парку машин; тривалість роботи транспортних засобів на лінії; технічна та експлуатаційна швидкості руху транспортних засобів; коефіцієнт використання пробігу та вантажопідйомність; обсяг перевезень

У другому розділі розглянуті питання оптимізації вантажних перевезень на автотранспортному підприємстві. З'ясовано математичну постановку транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту та багатокритеріальної оптимізації при плануванні вантажних перевезень. Побудовано багатокритеріальну математичну модель планування перевезень та дано аналіз методу її розв'язання у вигляді схеми алгоритму.

В третьому розділі відображено реалізацію багатофакторної оптимізації процесів вантажних перевезень на підприємстві. Показано як здійснюється інформаційне забезпечення вантажних перевезень. З'ясовано взаємодію операцій процесу перевезення вантажів. Розглянуто особливості організації вантажних перевезень найкоротшим шляхом для неурівноважених умов перевізника і споживачів з урахуванням перевезень через проміжні пункти. Розглянуто представлення процесу у вигляді графів і матриці. За матричним представленням розроблено алгоритм розподілу перевезень вантажу на транспортній мережі. Методом зведення на комп'ютері проведена експериментальна перевірка розв'язку транспортної задачі з представленням світлин з монітору.

ЗМІСТ

РОЗДІЛ 1 ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСНОВНІ ВИДИ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ

1.1 Загальна характеристика підприємства та його рухомого складу

1.2 Основні показники роботи транспортних засобів автотранспортного підприємства «АТП-2004»

1.3 Загальна характеристика вантажних перевезень на даному підприємстві

РОЗДІЛ 2. ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1 Питання оптимізації вантажних перевезень на підприємстві

2.2 Математична постановка транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту

2.3 Багатокритеріальна оптимізація при плануванні вантажних перевезень

2.4 Побудова багатокритеріальної математичної моделі планування перевезень та аналіз методу її розв'язання

2.5 Узагальнена схема алгоритму розв'язання поставленого завдання

РОЗДІЛ 3 РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОФАКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Інформаційне забезпечення вантажних перевезень на автотранспортному підприємстві.....

3.2 Особливості організації вантажних перевезень автомобільним транспортом та алгоритм розв'язання транспортної задачі.

3.3 Алгоритм розподілу перевезень вантажу на транспортній мережі

3.4 Експериментальна перевірка розв'язку транспортного завдання методом зведення

Вступ.....

Список використаної літератури.....

Вступ

Автомобільний транспорт відіграє ключову роль у виробничо-економічних зв'язках між різними галузями народного господарства. Він сприяє економічному та культурному розвитку людей і встановлює зв'язки зі зарубіжними країнами. Автомобільний транспорт має важливе значення в загальному виробничому процесі, оскільки займається перевезенням матеріалів, напівфабрикатів і готової продукції, а також забезпечує зв'язок між сільським господарством, промисловістю та окремими підприємствами.

Транспортна промисловість займається процесом переміщення вантажів і пасажирів у часі і просторі. Цей вид промисловості не включає виготовлення або переробку сировини. Транспорт переміщує матеріальні блага, такі як промислова і сільськогосподарська продукція, від місця виробництва до місця споживання, не змінюючи їх властивостей.

Транспортна промисловість також включає переміщення вантажів у часі і просторі. Отже, виробничий процес і продукція транспортної промисловості є тісно пов'язаними.

Витрати на транспортування вантажів відносяться до транспортних витрат, які в кінцевому підсумку збільшують вартість продукції. Транспортні витрати є четвертою складовою вартості продукції, після сировини, палива та заробітної плати.

Швидкість доставки від відправника до одержувача відіграє важливу роль у переміщенні вантажів. Підвищення швидкості доставки є важливим фактором для покращення продуктивності транспортного процесу.

Основні моменти планування вантажних перевезень здійснюють розв'язання транспортної задачі. Існують на сьогодні різні способи розв'язання транспортних задач з урахуванням системи обмежень. В даній роботі розглядається представлення і розв'язання задачі як у вигляді графів, так і матричній формі.

РОЗДІЛ 1

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА ТА ОСНОВНІ ВИДИ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ АВТОТРАНСПОРТНИМ ПІДПРИЄМСТВОМ

1.1 Загальна характеристика підприємства та його рухомого складу

Основним призначенням ТОВ «АТП-2004» є здійснення міських і міжміських як вантажних так і пасажирських перевезень. Також надає послуги з ремонту і обслуговування транспортних засобів (ТЗ) інших організацій та приватних осіб. В умовах ринкових відносин і всесвітньої економічної кризи підприємство вимушене пристосовуватись до потреб народного господарства і воєнного стану. В зв'язку з цим спеціалізація підприємства зміщується в бік вантажних перевезень. Великим споживачем вантажних перевезень в місті Кропивницькому є новобудови, гранітні і піщані кар'єри. Основними видами вантажу є будівельна сировина і сипкі будівельні матеріали. У зв'язку з цим основну частину рухомого складу підприємства становлять кар'єрні самоскиди вантажопід'ємністю від 7,5 до 27 тон. Технічна характеристика вантажного рухомого складу ТОВ «АТП-2004» наведена в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 Технічна характеристика рухомого складу ТОВ «АТП-2004»

		Марка автомобіля					
		MAN TGA 40.390	БелАЗ 540А	МАЗ 551603 2123	КрАЗ 65055-052	КамАЗ 55111	Урал 377
Маса спорядженого автомобіля, кН		14850	20920	12700	12500	9050	7275
Повна маса автомобіля, кН		40000	48000	33000	30600	22200	15000
Колісна формула		6x4	4x2	6x4	6x4	6x4	6x4
Габарити, мм	Довжина	7680	7250	7530	8340	7800	7600
	Ширина	2500	3480	2500	2500	2500	2500
	Висота	2600	3580	3400	3200	2900	2620
База автомобіля, мм		4420	3550	4940	4630	4420	4200
Колія, мм	Передніх коліс	1835	2800	1830	1845	1845	1830
	Задніх коліс	1858	2400	1845	1858	1858	1845
Дорожній просвіт, мм		290	480	280	280	290	400
Потужність двигуна, к.с.		390	360	250	330	260	175
Частота обертання колінчастого валу, хв ⁻¹		2300	2100	2600	2200	2200	2100
Максимальна швидкість, км/год.		80	55	81	90	90	75
Гальмівний шлях, м		36,7	39	36	37	36,7	36
Контрольна витрата палива, л/100км		29	100		35	28	48
Ємкість паливного баку, л		300	400	350	250	350	300
Розміри платформи, мм	Довжина	5200	5100	4920	5600	5335	4870
	Ширина	2320	3350	2280	2320	2320	2290
	Висота	2100	2800	1085	2900	2900	1080
Вантажопід'ємність, кН		25000	27000	20000	18000	13000	7500

1.2 Основні показники роботи транспортних засобів автотранспортного підприємства «АТП-2004»

Робота підприємства в цілому, як і по кожному транспортному засобу (ТЗ) оцінюється показниками, які характеризують технічний стан, організацію транспортного процесу та раціональне використання ТЗ.

При цьому використовуються наступні показники: коефіцієнти технічної готовності і використання парку машин; тривалість роботи ТЗ на лінії; технічна та експлуатаційна швидкість руху ТЗ; коефіцієнт використання пробігу та вантажопідйомності; обсяг перевезень та ін..

Готовність рухомого складу до перевізного процесу характеризує коефіцієнт технічної готовності ТЗ. Він визначається відношенням кількості технічно справних ТЗ до їх списочної кількості. Для автомобілів ТОВ «АТП-2004» в середньому він складає $\alpha_T = 0,805$ (2021 р.). Коефіцієнт технічної готовності залежить від організації і якості виконання технічного обслуговування і поточного ремонту (ТО і Р) ТЗ і є основним показником роботи виробничо-технічної служби підприємства та характеризує рівень його технічного складу. Підвищення коефіцієнту технічної готовності залежить також і від водія, його фахового рівня і майстерності. Нормальне керування автомобілем, дотримання правил техніки безпеки технічної експлуатації, своєчасне виявлення несправностей та їх усунення. Вплив на зазначені фактори водієм змінює цей показник надійності.

Використання рухомого складу в транспортному процесі оцінюється коефіцієнтом використання парку (КВП) рухомого складу. Цей показник визначається відношенням відпрацьованих автомобіле-днів до кількості календарних автомобіле-днів роботи автомобілів у рік. Оскільки кожний автомобіль підприємства в 2021 р. в середньому відпрацьовував по 235 днів, то коефіцієнт використання парку машин становить: $\alpha_e = 235/365 = 0,644$. Зазначений показник залежить від ряду організаційних факторів: режиму роботи клієнтів; наявності підмінних водіїв; технічного стану ТЗ; стану доріг на маршрутах вантажних перевезень.

Для організації транспортного процесу на підприємстві важливим фактором є тривалість роботи автомобіля на лінії з моменту виходу його з підприємства та до

повернення в гараж. Показник визначається режимом роботи вантажовідправників і вантажоодержувачів; відстані перевезення вантажів і режимом роботи підприємства. Підвищення показника здійснюється удосконаленням організації робіт: введенням двох- або трьохзмінної роботи водіїв, утворенням бригад з водіїв, які працюють за графіком та ін..

Підвищення продуктивності праці ТЗ істотно визначається оптимальною швидкістю руху ТЗ. Розрізняють технічну і експлуатаційну швидкості руху ТЗ.

Технічна швидкість, V_T – це середня швидкість за час знаходження ТЗ в русі. Вона визначається відношенням пробігу (км) до часу знаходження ТЗ в рейсі (год.). Автомобіль КамАЗ 55111 за один рейс 17.11.2021р.: пройшов – 35,4 км, знаходячись в рейсі 1,48 год. При цьому технічна швидкість становить: $V_T = 35,4/1,48 = 24$ км/год. Кожен водій намагається підвищити технічну швидкість руху ТЗ. Зазначимо, що величина показників залежить від технічного стану автомобіля, дорожніх умов, інтенсивності руху ТЗ і пішоходів на маршрутах перевезень.

Експлуатаційна швидкість, V_e є середньою швидкістю за час знаходження ТЗ в наряді. Час в наряді включає не тільки час руху, але й час на оформлення, одержання і здачу вантажів, час на вантажно-розвантажувальні роботи, час на усунення неполадок при русі ТЗ та ін. Ця швидкість визначається відношенням пробігу ТЗ до часу перебування його в наряді. Завжди $V_e < V_T$. Якщо ТЗ КамАЗ 45-55111, знаходився в наряді 7 годин і здійснив пробіг 154 км, то його швидкості дорівнюють:

- середня технічна швидкість – $V_m = 154/5,7 = 27$ км/год;
- середня експлуатаційна швидкість – $V_e = 154/7 = 22$ км/год.

Основним техніко-економічним показником роботи ТЗ є його пробіг. Це шлях в км, що пройдений ТЗ, і має складові: нульовий пробіг; пробіг ТЗ з вантажем; пробіг ТЗ без вантажу (порожній пробіг). Пробіг автомобіля з вантажем є робочим, оскільки ТЗ виконується транспортна робота. Нульовий пробіг це підготовчий пробіг при виконанні транспортної роботи – це подача ТЗ автомобіля до місця навантаження із підприємства і з пункту розвантаження до місця зберігання ТЗ в кінці роботи. Нульовий пробіг включає також всі заїзди ТЗ, що не пов'язані з виконанням транспортної роботи: на заправку, ТО і ПР. Порожній пробіг ТЗ - це пробіг без

вантажу, який здійснюється у процесі перевезень при подачі ТЗ від місця розвантаження до місця навантаження.

Раціональна організація транспортного процесу оцінюється коефіцієнтом використання пробігу. Цей показник дорівнює відношенню пробігу ТЗ з вантажем до загального пробігу. Якщо загальний пробіг автомобіля КамАЗ 55111 склав 154 км, а пробіг із вантажем 105 км, то коефіцієнт використання пробігу дорівнює:

$$\beta = 105/154=0,69.$$

Підвищення продуктивності праці ТЗ істотно залежить від коефіцієнта використання вантажопідйомності. Цей показник дорівнює відношенню маси фактично перевезеного вантажу до вантажопідйомності ТЗ. Якщо автомобіль МАЗ 551603 2123 за одну поїздку перевіз 16,8 т, а вантажопідйомність його 20 т, то коефіцієнт використання вантажопідйомності становить:

$$\gamma = 16,8/20 = 0,85.$$

1.3 Загальна характеристика вантажних перевезень на даному підприємстві

Швидкість доставки є вирішальним фактором для ефективного переміщення вантажів від відправника до одержувача. Підвищення швидкості доставки сприяє поліпшенню вантажних перевезень і збільшенню продуктивності у процесі перевезень.

Рухомий склад підприємства є основним засобом для перевезення вантажів. Він включає автомобілі-тягачі, причепи, напівпричепи транспортного призначення та різноманітні пристосування для перевезення вантажів. Для забезпечення сполучень при вантажних перевезеннях використовуються автомобільні дороги та магістралі.

Підприємство має також технічні пристрої і споруди, такі як гаражі, авторемонтні майстерні, цехи та інші, які необхідні для здійснення автомобільних вантажних перевезень.

Автомобільні вантажні перевезення є важливою складовою виробничого процесу при переміщенні вантажів з використанням транспортних засобів. Вантажні перевезення можна класифікувати за різними ознаками, зокрема:

Галузева ознака: перевезення вантажів промисловості, сільського господарства, будівництва, торгівлі і громадського харчування, поштові перевезення, перевезення вантажів населення та комунального господарства.

Ознака розмірів вантажів: партійні (масові) та непартійні (немасові) вантажні перевезення.

Територіальна ознака: технологічні, міські, приміські, міжміські та міжнародні вантажні перевезення.

Ці класифікації допомагають у розумінні характеру вантажних перевезень та визначенні вимог щодо їх організації та управління.

Так, вантажні перевезення можна поділити за різними ознаками для кращого розуміння їх організації і управління.

За територіальною ознакою:

Технологічні перевезення: здійснюються в межах території підприємства.

Міські перевезення: на невеликі відстані всередині міста з різною структурою перевезення.

Приміські перевезення: здійснюються за межами міста на відстані до 50 км включно.

Міжміські перевезення: на відстані більше 50 км між різними містами, областями і економічними районами на дорогах великої протяжності. Відстань доставки може бути більшою за 1000 км.

Міжнародні вантажні перевезення: перевезення здійснюються за межами країни.

По способу виконання:

Місцеві перевезення: незалежно від відстані, виконуються одним автотранспортним підприємством (АТП).

Перевезення прямого сполучення: виконуються декількома АТП у роботі по переміщенню вантажів.

Перевезення змішаного сполучення: виконуються двома або більше видами транспорту, наприклад, автомобільно-залізничні, автомобільно-водні тощо.

По часу виконання:

Постійні перевезення: здійснюються протягом цілого року.

Сезонні перевезення: періодично повторювальні вантажні перевезення, які відбуваються у певний час року.

По організаційному принципу:

Централізовані перевезення: організовані та керуються центральною організацією або компанією.

Децентралізовані перевезення: організовані та керуються декількома незалежними підприємствами або операторами.

1.4 Обґрунтування актуальності теми бакалаврської роботи

На сучасному етапі розвитку підприємства, приватного бізнесу необхідність в перевезенні вантажів, особливо будівельних матеріалів, на будівельні об'єкти є край необхідними. В залежності від замовлень на вантажні перевезення і вдосконалення їх організації покращенням техніко-економічних показників процесу вантажних перевезень і використання і рухомого складу підприємства, що і відображено в даній роботі.

Оптимізація маршрутів дозволяє точно визначити обсяг перевезень вантажів з постачальницько-збутових підприємств, необхідну кількість ТЗ, що здійснюють ці перевезення та сприяє скороченню їх простою під завантаженням і розвантаженням. Разом з тим процес планування вантажних перевезень дозволяє підвищити продуктивність ТЗ, якщо одночасно знизити кількість ТЗ, при тому ж обсязі перевезень. Оптимальні маршрути і дотримування термінів поставок дають можливість скоротити в 1.5-2 рази виробничі запаси, знижуючи витрати на складування продукції. Крім цього оптимальні маршрути дають можливість розробляти проекти поточних планів та оперативних заявок на ТЗ, виходячи з дійсних обсягів вантажних перевезень.

Розробка ефективних маршрутів і планів вантажних перевезень обумовлює своєчасне й безперебійне виконання поставок вантажів і сприяє взаємодії організацій постачальників та одержувачів, а також АТП.

Насьогодні, відповідно до вище викладеного тема даної бакалаврської роботи „Організація вантажних перевезень з оптимізацією їх основних показників у ТОВ "АТП-2004", м. Кропивницький” є беззаперечно актуальною і буде впроваджена у виробництво ТОВ «АТП-2004».

РОЗДІЛ 2

ОПТИМІЗАЦІЯ ТА ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

2.1 Питання оптимізації вантажних перевезень на підприємстві

Система транспортного обслуговування АТП клієнтів є динамічною системою, оскільки в ній відбуваються складні технологічні процеси переміщення вантажів. Щоб досягнути ефективності вантажних перевезень необхідно в першу чергу обґрунтувати вибір найраціональнішого виду транспорту та ТЗ.

В цьому ракурсі вантажні перевезення автомобільним транспортом являють собою велику сферу послуг народного господарства України. Підвищення ефективності роботи автомобільного транспорту в цілому – це важливе державне завдання. Розв'язати це завдання можливо наступними заходами:

- зниження простоїв ТЗ під навантажувально-розвантажувальними і технологічними операціями;
- скорочення порожніх пробігів ТЗ;
- більш повне використання вантажопідйомності ТЗ;
- розробка оптимальних схем та маршрутів вантажних перевезень;
- підвищення рівня механізації навантажувально-розвантажувальних робіт і т.д..

Єдина міжнародна транспортно-логістична система і географічне положення України в якості встановлення ефективних транспортних коридорів вимагають реального аналізу управління роботи транспортних вузлів транспортної системи нашої країни, забезпечення координації та взаємодії різних видів транспорту, а також результативності використання досягнень науки, техніки і технології на транспорті.

Першочерговим і пріоритетним завданням транспортної галузі є розширення досліджень з проблем створення інноваційних та ефективних технологій вантажних перевезень та ТЗ, формування та функціонування ефективної транспортної мережі та

маршрутів, вантажні перевезення, розробка нових систем управління з логістичним підходом та використанням прогресивних інформаційних технологій.

Оскільки транспорт є багатовекторною та багатofакторною системою масового обслуговування, то від ефективності її функціонування у значній мірі залежить життєдіяльність усіх сфер народного господарства і держави в цілому. Багатовекторність транспортних систем (ТС) пов'язана зі значною розгалуженістю взаємопов'язаних транспортними мережами об'єктів постачання та споживання різних видів продукції. Це у більшості випадків обумовлює розглядати ТС як сітьову модель. Методи побудови і розв'язання сітьових моделей, розробляють у галузі дослідження операцій. То планування перевезень вантажів різними видами транспорту: автомобільним, залізничним, морським та авіаційним, як окремо, так і у поєднанні різних видів транспорту.

Сітьові транспортні завдання та моделі призначені для оптимізації процесів вантажних перевезень. Отримані результати по цій проблемі свідчать, що більшість розроблених методів сітьових моделей успішно застосовуються при вирішенні завдань оптимізації перевезень, теорії розкладів в матричній постановці. Для останнього необхідна матриця кореспонденцій з пунктів відправки та прийому предмету вантажних перевезень.

Разом з тим вагомим недоліком матричних методів оптимізації рішення транспортних завдань є те, що вони спроможні дати оптимальний план перевезень лише на транспортній мережі (ТМ) з орієнтованими графами. Ця обмеженість спостерігається при розв'язанні завдань перевезень у розгалужених мережах транспортних кореспонденцій, коли напрям та маршрути перевезень визначити неможливо. Для цього необхідна розробка нових і удосконалення існуючих методів оптимізації перевезень. З використанням сучасних інформаційних технологій.

2.2 Математична постановка транспортної задачі з обмеженнями на пропускну спроможність вузлів і комунікацій маршруту

Математична постановка транспортної задачі у даній постановці має наступний вигляд:

$$\sum_{i=1}^m a_i \neq \sum_{j=1}^n b_j, \quad (2.1)$$

Загальна кількість вантажу, що відправляється з усіх m пунктів постачання, не завжди буде дорівнювати сумарним потребам всіх n пунктів споживання;

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} \leq a_i, i=1,2,\dots,m, \quad (2.2)$$

Сума всіх постачань вантажу i -того постачальника не повинна бути більше, ніж його спроможність відвантажити;

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \leq b_j, j=1,2,\dots,n, \quad (2.3)$$

Сума всіх постачань вантажу j -тому споживачу не перевищує його потреб в цьому вантажі;

$$c_{ij} \geq 0, x_{ij} \geq 0, \quad (2.4)$$

Питомі витрати на перевезення вантажу є тільки позитивними числами, як і самі величини постачань. Тобто загальна сума витрат на перевезення вантажу повинна бути мінімальною:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = z \rightarrow \min \quad (2.5)$$

Загальна сума пропускних здатностей всіх транспортних комунікацій, вихідних від i -того постачальника вантажу, не повинна бути менше, ніж він спроможний відвантажити:

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} \geq a_i, i=1,2,\dots,m \quad (2.6)$$

де: d_{ij} - пропускні можливості транспортних комунікацій, які існують між кожним i -тим постачальником і кожним j -тим споживачем;

$$\sum_{j=1}^n d_{ij} \geq b_j, j=1,2,\dots,n \quad (2.7)$$

Сума пропускних здатностей всіх транспортних комунікацій, вхідних до j -того споживача вантажу, не повинна бути менше, ніж він запросив;

$$x_{ij} \leq d_{ij}, i=1,2,...,m, j=1,2,...,n \quad (2.8)$$

Обсяг вантажу, перевезеного по кожній дузі ТМ не повинний бути більший, ніж пропускна можливість відповідної транспортної комунікації.

2.3 Багатокритеріальна оптимізація при плануванні вантажних перевезень

Однією з переваг у конкурентній боротьбі є зниження фінансових втрат від неефективної організації доставки вантажу. Метод багатокритеріальної оптимізації дає змогу максимізувати прибуток та мінімізувати час доставки вантажу. Зазначимо, що частка транспортних витрат при формуванні ціни на продукцію може бути майже, 50%. Це говорить про те, що підвищення ефективності вантажоперевезень з використанням методів багатокритеріальної оптимізації в динамічній транспортній мережі є безумовно необхідним у вантажоперевезеннях.

«З'ясуємо їх сутність багатокритеріальних завдань. Для кожного об'єкту (проекту, мінімізація витрат і т. п.) вводиться вектор критеріїв $\vec{n} = (N_1, N_2, ..., N_m)$. В ньому представлено власний критерій N_j , як функція параметрів $x_1, x_2, ..., x_n$ характеристики управління проектом. Ця функціональна залежність задається від параметрів завдань. При цьому основна математична модель багатокритеріальної оптимізації має вигляд:

$$f_j(\vec{x}) \rightarrow \min_{\vec{x} \in R_n} \quad X = \{ \vec{x} / \vec{x} \in R_n, q_b(\vec{x}) \leq 0 \} e \in 1, \vec{v} < n \quad (2.9)$$

В математичній моделі X – множина допустимих рішень, що задовольняють певним обмеженням, які дані у вигляді системних нерівностей $q_b(\vec{x}) \leq 0$ накладених на вектор параметрів $\vec{x} = (X_1, X_2, ..., X_n)$.

Функція $f_j(X_1, X_2, ..., X_n)$ є j - тої цільової функції. Сукупність усіх цільових функцій $f_1(\vec{x}_1), ..., f_m(\vec{x}_m)$ утворює векторну цільову функцію багатокритеріальної оптимізації.

При розв'язанні багатокритеріальних завдань найпростішим методом є перетворення завдань з багатокритеріального в однокритеріальне. Існує стільки варіантів, скільки є компонентів цільової функції.

Доцільним для опису характеристик цілей є використання концепції множини точок розв'язків: оптимальність за Паретто.

Розглянемо цю концепцію більш детально. Нехай існує певна область допустимих розв'язків Ω в параметричному просторі. Даний простір буде задовольняти всі прийняті обмеження: $\Omega = \{x \in R_n\}$ при обмеженнях в (2.9).

В цьому просторі можливо визначити відповідну область допустимих розв'язків - простір цільових функцій Λ .

$$\Lambda = \{y \in R_n\}, \text{ де } y = F(x) \text{ за умови } \Omega$$

Точка $x^* \in \Omega$ є рішенням, що не покращується в цьому просторі, якщо для деякого околу x^* немає ніякого Δx , що відповідає умові:

$$(x^* + \Delta x) \in \Omega, \quad F_i(x^* + \Delta x) \leq F_i(x^*), i = 1, \dots, m \quad (2.10)$$

Виходячи з цього багатокритеріальна оптимізація повинна містити в собі певну генерацію та вибір точок з розв'язками (2.9).

Наступним шляхом розв'язання багатокритеріальних завдань є декомпозиція: розбиття, на окремі однокритеріальні завдання оптимізації.

На даному шляху проблема, яка виникає при розв'язанні поставленого завдання: знаходження найкоротшого шляху між двома вершинами (вузлами) транспортної мережі.

Розглянемо більш детально знаходження найкоротшого шляху. Для будь-яких двох вершин s і t можуть існувати кілька шляхів, що з'єднують їх. Найкоротшим шляхом між вершинами s і t будемо називати шлях, який має мінімально можливу довжину.

Існують різні алгоритми для знаходження найкоротшого шляху: хвильовий алгоритм; алгоритм Форда-Беллмана; алгоритм Флойда; алгоритм Дейкстри.

Використовуємо алгоритм Дейкстри. В ньому розробка математичної моделі оптимізації перевезень здійснюється в динамічній транспортній мережі. Це дозволяє:

- знайти найкоротший шлях перевезень;
- урахувати основні фактори, які впливають на перевезення: стан шляхів, швидкість ТЗ, маса ТЗ тощо;
- мінімізувати вартість перевезень.

Отримання оптимального плану перевезень вантажу на ТМ з незбалансованим обсягом перевезень вантажу дає кращий результат у разі призначення нульових значень шляхів до фіктивного вузла споживання» [3-6].

Збіг маршрутів транспортування вантажу від всіх постачальників до всіх його споживачів повинен реалізовуватися у оптимальних планах, які отримані різними методами. При цьому можливо наявні альтернативні маршрути перевезення вантажів.

2.4 Побудова багатокритеріальної математичної моделі планування перевезень та аналіз методу її розв'язання

Завдання оптимізації планування перевезень вантажів у динамічній транспортній мережі в самій загальній постановці може бути сформульована наступним чином. За допомогою деякої множини ресурсів (у даному випадку вантажівок) потрібно побудувати розклад перевезення деякої множини вантажів з одного вузла динамічної транспортної мережі в інший вузол так, щоб при заданих властивостях ресурсів, вантажів і дуг транспортної мережі оптимізувати задану міру ефективності. Дуги транспортної мережі можуть бути зорієнтовані як в одному, так і у двох напрямках.

«Основними характеристиками замовлення на вантажоперевезення є:

- важливість;
- вартість доставки;
- час доставки від виробника до споживача;
- неустойка за час затримки вантажу в дорозі.

Основними характеристиками ТЗ є наступні:

- тип ТЗ;
- швидкість ТЗ;
- витрата бензину на 100 км;
- вантажопідйомність;
- вага автомобіля.

Основною характеристикою вузла транспортної мережі є:

- кількість автомобілів кожного типу в певному вузлі.

Основними характеристиками дуги транспортної мережі є:

- довжина дороги;
- тип покриття;
- пропускна здатність, тобто максимальна вага яка може пройти по даній дорозі;
- ймовірність зміни часу шляху в гіршу сторону;
- час у дорозі;

Загальна проблема управління процесом перевезення вантажів у динамічній транспортній мережі полягає у розподілі замовлень між вантажоперевізниками, тобто між вузлами транспортної мережі та доставкою вантажів, це забезпечує оптимальне перевезення всієї множини вантажів.

Розглянемо процес постановки завдання й побудови математичні моделі:

$T = (1, 2, \dots, m_1)$ - множина тактів планування;

$Z = (1, 2, \dots, n_1)$ - множина замовлень.

Основними характеристиками замовлення є:

C_{kb} – ціна k -го замовлення в b - й такт планування;

St_{kb} – штраф за день прострочення k -го замовлення в b -й такт планування;

Td_{kb} – час за який необхідно доставити k -й замовлення в b -й такт планування;

Tr_{kb} – реальний час доставки k -го замовлення в b -й такт планування;

G_{kb} – обсяг k -го замовлення в b -й такт планування;

W_{kb} – важливість k -го замовлення в b -й такт планування» [7-9].

«Важливість k -го замовлення буде визначатися, виходячи із терміну замовлення та оплати. Найбільш важливим є замовлення з найменшим строком та найбільшою оплатою. Таке замовлення можна визначати методом ідеальної точки:

$A = (1, 2, \dots, m)$ – множина автомобілів різних типів $s = 1 \dots m$;

r_s – витрата бензину на 100 км автомобілем s -го типу;

v_s – швидкість автомобіля s -го типу;

m_s – маса автомобіля s -го типу;

g_s – вантажопідйомність автомобіля s -го типу;

$U = (1, 2, \dots, n)$ - множина вузлів транспортної мережі;

$L = \llbracket l_{ij} \rrbracket_{n \times n}$ - довжина дуги між вузлами i та j , якщо вузли не з'єднані дугою то $l_{ij} = 0$,

$T_P = \llbracket t_{ij} \rrbracket_{n \times n}$ - тип покриття дуги між вузлами i та j , якщо вузли не з'єднані дугою то $t_{ij} = 0$;

$P = \llbracket p_{ij} \rrbracket_{n \times n}$ - пропускна здатність дуги між вузлами i та j , якщо вузли не з'єднані дугою то $p_{ij} = 0$;

$F = \llbracket f_{ij} \rrbracket_{n \times n}$ - ймовірність зміни часу проїзду по дузі між вузлами i та j , якщо вузли не з'єднані дугою то $f_{ij} = 0$.

При цьому варіюваними параметрами є наступні:

$x_{ijskb}=1$, якщо s автомобіль в такт часу b для заказу k буде знаходитися на дузі i та j ;

$x_{ijskb}=0$, інакше час проїзду дуги ij автомобілем s -го типу для k -го замовлення в b -й такт планування:

$$\frac{l_{ij}}{V_{ak} + dV_{ijakb}(tp_{ij})}, \quad (2.11)$$

якщо час дороги збільшився:

$$\frac{l_{ij}}{V_{uk} + dV_{ijukb}(tp_{ij})} + \Delta t \quad (2.12)$$

де Δt – величина збільшення часу шляху

$dv_{ijsk}(tp_{ij})$ – зміна швидкості руху автомобіля s -го типу по дузі ij залежно від типу покриття цієї дуги, для k - го замовлення в b -й такт планування. Збільшення часу шляху відбувається залежно від ймовірності f_{ij} » [10-12].

«У загальному вигляді завдання формулюється наступним чином:

потрібно визначити оптимальний графік поставок на транспортній мережі для кожного моменту планування, такий, щоб час доставки кожного вантажу був мінімальним, а прибуток за кожен момент планування максимальним.

Цільова функція в таких умовах буде мала вигляд :

$$\sum_{b=1}^{m1} \sum_{k=1}^{n1} \sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^{n^2} \sum_{i=1}^{m^2} t_{ijskb} \cdot x_{ijskb} \rightarrow \min,$$

$$\sum_{b=1}^{m1} Pr_0 \rightarrow \max, \quad (2.13)$$

де R_k - вартість витрати бензину на k -те замовлення,

$$Pr_0 = \sum_{k=1}^{n1} (C_k - R_k - Cs_k) \quad (2.14)$$

$$C_{sk} = (T_{dsk} - T_{rsk}) \cdot S_{tsk} \quad (2.15)$$

Маса ТЗ, які знаходяться на дузі в даний момент часу, не повинна перевищувати пропускну спроможність даної дуги:

$$\sum_{s=1}^m \sum_{j=1}^{n^2} \sum_{i=1}^{n^2} M_s \cdot x_{ijskb} \leq p_{ij} \quad (2.16)$$

Сумарна вантажопідйомність ТЗ парку рухомого складу повинна бути більше або дорівнювати обсягу вантажу поточних замовлень» [15-17].

$$\sum_{s=1}^m Q_s \geq G_k \quad (2.17)$$

$$x \in \{0,1\}, t_{ijskb} \geq 0 \quad (2.18)$$

Розроблено узагальнений алгоритм розв'язання поставленого завдання. Для цього приймемо за один такт (момент) планування – 1 день.

Зазначимо, що завдання зводиться до щоденного формування плану вантажних перевезень замовлень, які надійшли за день, на наступний день. Для формування такого плану можна використовувати фронтальний алгоритм.

2.5 Узагальнена схема алгоритму розв'язання поставленого завдання

Узагальнена схема алгоритму розв'язання поставленого завдання містить декілька кроків з повтором і має вигляд (рис. 2.1):

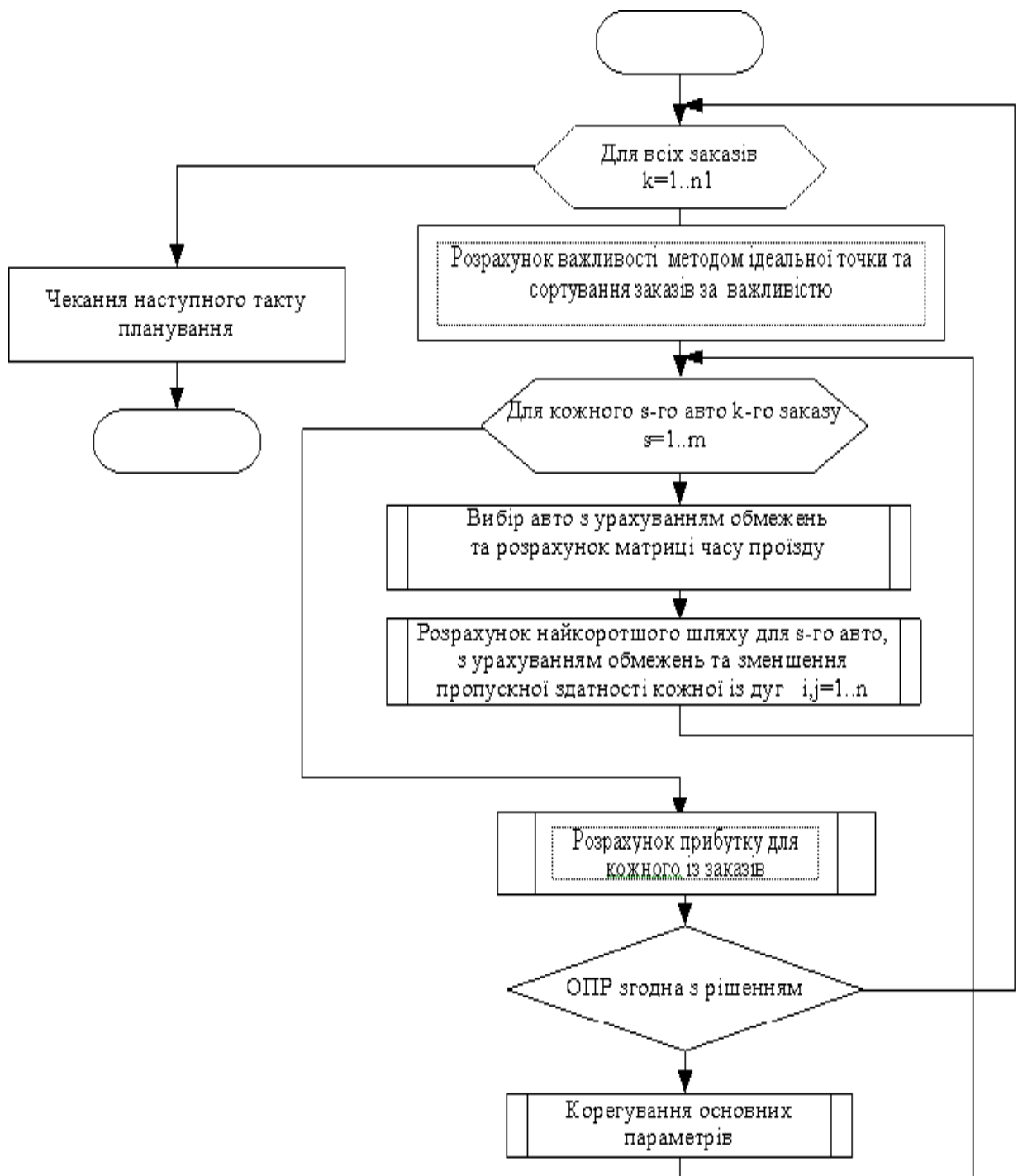


Рисунок 2.1 - Узагальнена схема алгоритму розв'язання поставленого завдання

Крок 1. Визначення важливості всіх замовлень, що надійшли методом ідеальної точки і проведення їх сортування за даним параметром. Важливість визначається за двома параметрами: ціною і терміном замовлення. При цьому замовлення будуть відсортовані за максимальним прибутком. Для сортування можна використовувати будь-який з відомих методів сортування: метод сортування вибором.

Крок 2. Для поточного замовлення виділяються всі наявні на даний момент ресурси. Розраховується оптимальний шлях методом Дейкстри та визначається прибуток, отриманий з цього замовлення. Якщо особу, що приймає рішення (ОПР) все влаштовує, то замовлення ставиться на виконання і складається графік проходження замовлення по днях.

Перед використанням методу Дейкстри розраховується матриця часу проїзду по кожній дузі для кожної машини цього замовлення. Даний крок повторюється для всіх замовлень, що стоять у черзі на виконання.

При цьому з кожним прийнятим замовленням прохідність дуг, по яких він буде проїжджати в певний час, зменшується на вагу вибраних для виконання замовлення ТЗ. Якщо пропускна здатність дуги падає до 0, то вона виходить з транспортної мережі, до тих пір поки пропускна здатність не збільшиться.

Зазначимо, що математичну модель і побудовано алгоритм багатокритеріальної оптимізації вантажоперевезень запропоновано у динамічній транспортній мережі. При цьому алгоритм вирішення даної моделі з використанням методів ідеальної точки і Дейкстри. Такий підхід дозволяє складати графік вантажоперевезень для кожного етапу планування.

РОЗДІЛ 3

РЕАЛІЗАЦІЯ БАГАТОФАКТОРНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЦЕСІВ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ НА ПІДПРИЄМСТВІ

3.1 Інформаційне забезпечення вантажних перевезень на автотранспортному підприємстві

Враховуючи специфіку автомобільного транспорту, важливо звернути увагу на організацію взаємодії його з іншими видами транспорту в транспортних вузлах. Зазначимо, що на автомобільний транспорт припадає великий обсяг завою-вивозу вантажів, що надходять від дрібних відправників та обслуговування клієнтів, які не мають інших транспортних шляхів крім автомобільних доріг.

Вантажні автомобільні перевезення на сьогодні є важливим фактором розвитку економіки України і забезпечують її зовнішньоекономічні зв'язки. Процес забезпечення перевезень сполучено з розв'язанням цілого ряду організаційних, технологічних та управлінських завдань та проблем.

Схема функціонування і взаємодії головного серверу автомобільного транспорту вантажних перевезень (САТВП) включає сукупність серверів міських, приміських, міжміських, міжнародних та транзитних перевезень (рис. 3.1).

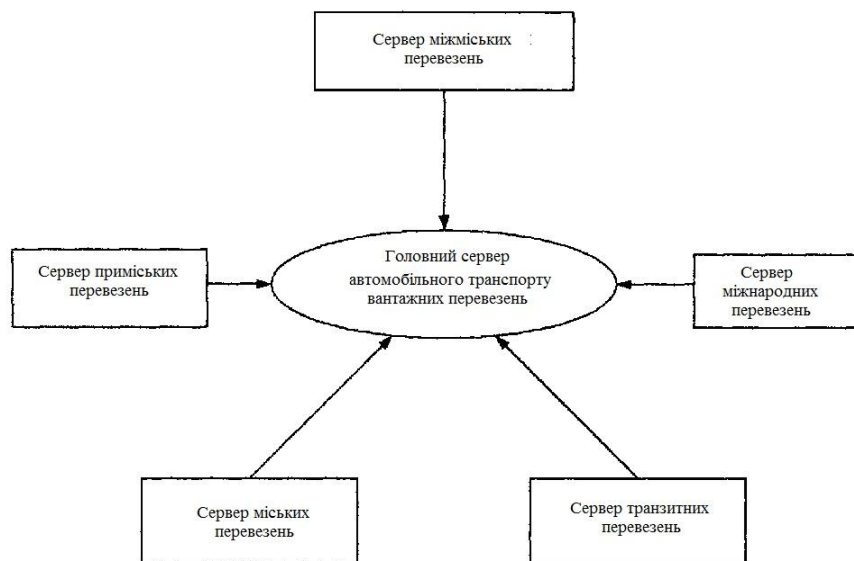


Рисунок 3.1 - Блок-схема взаємодії головного серверу з сукупністю різних серверів системи вантажних перевезень

Якщо головний сервер розташовується в м. Кропивницький, до них буде надходити інформація з інших незалежних серверів, які керуватимуть різними видами перевезень. Інформацію до серверів повинні вносити перевізники всіх форм власності, які займаються тим чи іншим видом доставки вантажів.

Міські сервери будуть розташовані в кожному промисловому місті, а приміські сервери можуть відноситись як до міських, так і функціонувати самостійно.

Міжміські сервери доцільно розташовувати в обласних центрах. Міжнародні - в регіональних центрах. Щодо транзитного серверу - то його можливо розмістити у містах, що мають спільний кордон з іншими державами. Замовлення повинно надходити до Головного сервера (м.Київ), а потім до серверів автомобільного транспорту в інших містах. При цьому замовлення проходить етапи обробки наведені на рис. 3.2.

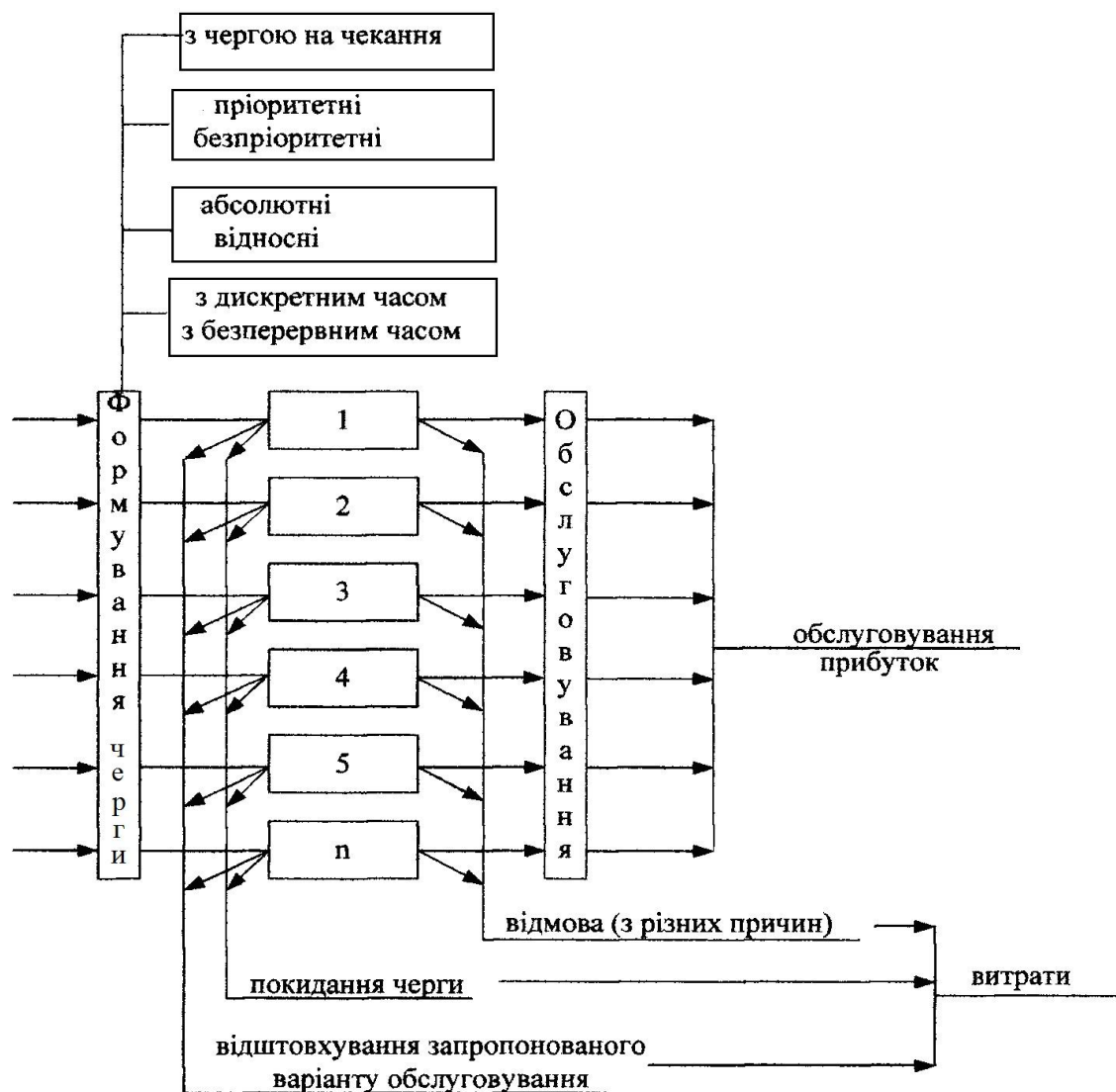


Рисунок 3.2 - Схема обробки замовлення

Всі замовлення, які потрапляють на сервер формують у черги, які розрізняють наступним чином:

- з відмовами та з чергою на очікування;
- пріоритетні та безпріоритетні (коли чергу утворюють всі, без винятку, замовлення, що надходять на обслуговування);
- абсолютні: коли замовлення, що надійшло, відштовхує – тих, хто чекає та відносні: коли більш пріоритетні замовлення займають краще місце у черзі;
- з дискретним часом: прибуття замовлення та його закінчення здійснюються в певні моменти часу або безперервним часом: прибуття замовлення здійснюється в будь-які моменти часу, без жодних обмежень на інтервал між ними.

Якщо черга сформована замовник може залишити її з різних причин або відмовитись від запропонованого варіанту обслуговування й очікувати наступного. Клієнту запропоновують оптимальний варіант, який його задовільняє, а замовлення передають на виконання перевізнику.

Виконання операцій процесу перевезень пропонується розглядати як взаємодію декількох сфер, схема яких наведена на рис. 3.3.

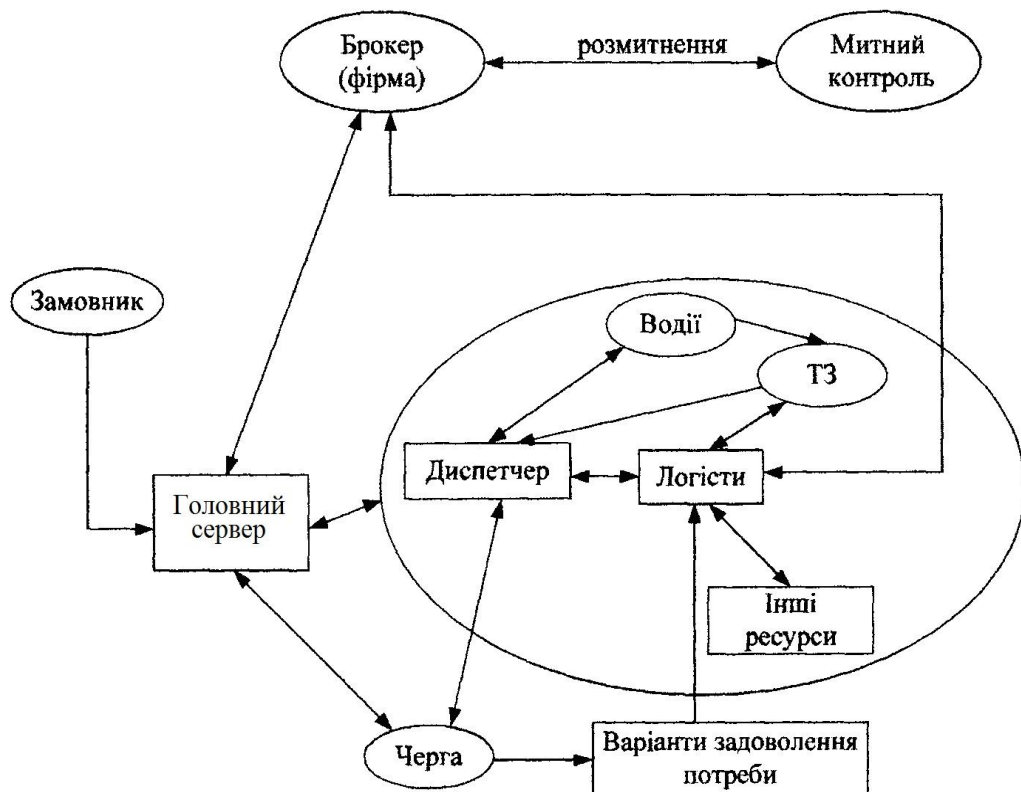


Рисунок 3.3 - Схема взаємодії операцій процесу перевезення вантажів при обробленні замовлення

Розглянемо як працює схема взаємодії операцій процесу перевезення вантажів.

Замовлення від головного сервера потрапляє у сервер найближчого перевізника. Там його обробляють диспетчери та пересилають до логістичного відділу підприємства. Між диспетчерами та логістами встановлюється взаємозв'язок. Логісти і диспетчери мають доступ до інформації що стосується наявних ТЗ, вільних водіїв та інших ресурсів.

Результатом їх взаємної роботи є обробка замовлення, пошук оптимального маршруту і сам процес транспортування вантажів. Перевізники співпрацюють з брокерськими фірмами та і митними пунктами, якщо перевезення цього вимагають технології вантажних перевезень.

Для програмного забезпечення роботи серверу вантажного автомобільного транспорту і автоматизації процесів вантажних перевезень є складається алгоритм його роботи.

При виборі конкретного виду ТЗ, враховують: тип вантажу і його кількість, розмір і кількість партій, спосіб виконання навантажувально-розвантажувальних робіт, дорожні умови, термін доставки, собівартість і економічність вантажних перевезень.

Через те, що алгоритм займає великий об'єм, наводяться тільки основні принципи його складання.

В першій частині алгоритму враховують відстань перевезень, в другій - вид вантажу. Наступним кроком буде побудова алгоритму, який допомагає обрати необхідний ТЗ. Після цього відбувається перехід на алгоритм, який врахує час доставки вантажу. Після цього переходять до алгоритму, який враховує вартість вантажних перевезень.

Зазначена організація роботи процесу перевезень призводить до оптимізації обслуговування ринку попиту і створення конкуренції між перевізниками.

Цей інформаційний підхід допомагає державному регулюванню міських, приміських, міжміських, міжнародних та транзитних перевезень вантажів.

Інформаційне забезпечення вантажних перевезень автомобільним транспортом, з урахуванням багатьох факторів, відкриває можливість підвищення його ефективності. Це дає можливість зменшити витрати на технічне обслуговування

та ремонт при дотриманні нормальних умов експлуатації рухомого складу. Автоматизація вантажних перевезень автомобільним транспортом дозволяє отримати економічний ефект за рахунок підвищення вантажообігу та зниження витрат на паливно - мастильні матеріали та ін.

3.2 Особливості організації вантажних перевезень автомобільним транспортом та алгоритм розв'язання транспортної задачі

Більшість стандартних методів розв'язання транспортних задач у звичайному класичному варіанті не враховують істотних обмежень, які властиві практично усім транспортним перевезенням. Передусім, це сітьова топологія самих перевезень. Вона припускає транспортування вантажів через проміжні вузли, в якості яких виступають як постачальники, так і споживачі. Існують і реальні обмеження на пропускну здатність транспортних комунікацій.

Особливу актуальність для транспортної галузі являє розробка нових методів оптимізації перевезень на транспортній мережі з обмеженнями на пропускну здатність вузлів і комунікацій. Дотого ж ці методи мають використовувати і прогресивні інформаційні технології.

У класичному варіанті транспортні завдання по реалізації вантажних перевезень здійснюються від пунктів, які виробляють або зберігають продукцію, тобто пунктів постачання, до пунктів, які споживають товари, тобто до пунктів споживання. Зазначимо, що у класичних варіантах перевезення між пунктами постачання, або між пунктами споживання, а також від пунктів споживання до пунктів постачання не розглядається. В той час на практиці вантажні перевезення можуть здійснюватися і через декілька проміжних пунктів, в якості яких можуть виступати як пункти постачання, так і пункти споживання (рис. 3.4).

В такому разі передбачається, що перевезення від кожного пункту виробництва до кожного пункту споживання здійснюються по самим дешевих маршрутах, де величина затрат c_{ij} може відображати час, відстань або вартість перевезення (табл. 3.1). При цьому c_{ij} означає сумарну вартість перевезення одиниці продукції від i -го

постачальника до j -го споживача найкоротшим шляхом і по самому дешевому маршруту з включенням і декількох проміжних пунктів.

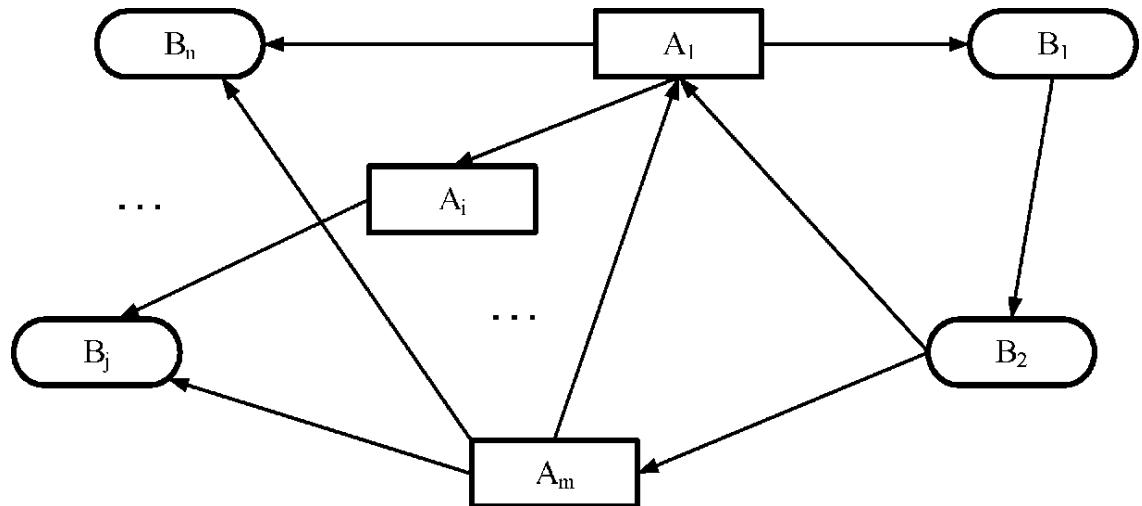


Рисунок 3.4 - Загальна схема транспортної мережі

Припущення про існування найкоротших шляхів не завжди можливо реалізувати, оскільки в деяких випадках об'єм допустимого перевезення на ділянці між двома пунктами, що входять до множини найкоротшого шляху, може бути обмеженим. З іншого боку визначення найкоротших шляхів від кожного з пунктів постачання до кожного пункту споживання, потребує формулювання у методі Хічкока. Це досить кропітка справа. Слід знайти такий алгоритм, що обробляє інформацію автоматично.

Якщо використати транспортну модель А. Ордера, то для кожного пункту ТМ складається рівняння матеріального балансу: об'єм вивезеного вантажу мінус кількість завезеного вантажу дорівнює чистому об'єму вантажу, виробленого в цьому пункті.

Розглянемо узагальнену транспортну модель, яка включає перевезення через проміжні пункти. При цьому для кожного пункту маємо рівняння матеріального балансу:

$$\begin{aligned}
 \text{Сумарний обсяг перевезень} &= \\
 &= \text{ввезення} + \text{виробництво} = \\
 &= \text{вивезення} + \text{споживання},
 \end{aligned}$$

або, у вигляді аналітичного рівняння:

$$\sum_{i \neq j} x_{ij} + a_j^* = \sum_{k \neq j} x_{jk} + b_{jj}^* = x_{jj}^*, (j=1,2,\dots,n), \quad (3.1)$$

де x_{ij} - загальний обсяг перевезення з i -го пункту в j -й для $i \neq j$,

x_{ij}^* - сумарний обсяг поставки в j -й пункт,

j_j - сумарний обсяг поставки в j -й пункт,

a_j^* - виробництво в пункті j ,

b_j^* - споживання в пункті j .

У випадках, коли місцеве виробництво для внутрішнього споживання виключено з моделі, то a_j^* , або b_j^* обертаються в нуль. В такому випадку використовуємо символи a_j і b_j без зірочок. У загальному випадку чистий обсяг виробництва a_j і чистий обсяг споживання b_j подаються через a_j^* і b_j^* :

$$\begin{aligned} a_j &= a_j^* - \min(a_j^*, b_j^*), \\ b_j &= b_j^* - \min(a_j^*, b_j^*), \end{aligned} \quad (3.2)$$

Транспортна задача про перевезення із проміжними пунктами полягає у знаходженні $x_{ij} \geq 0$ і $\min z$, що задовольняє цільовому рівнянню:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} = z \quad (i \neq j) \quad (3.3)$$

Прирівнявши вирази для сумарного обсягу поставок, одержимо повну модель перевезень із проміжними пунктами для n пунктів. Матриця коефіцієнтів наведена в табл. 3.1. За винятком вартісного фактору, кожний стовпець містить тільки по два ненульових коефіцієнта $+1$ і -1 . У загальному випадку рядки містять вільні змінні, а відповідні стовпці містять тільки один ненульовий коефіцієнт $+1$ або -1 .

Таблиця 3.1 Модель із проміжними пунктами – сітьова постановка завдання

Обсяги перевезень	X_1	X_1	...	X_1	X_2	X_2	...	X_{2n}	...	X_{n1}	X_{n2}	...	$X_{n,n-1}$	Чисте виробництво або споживання
	2	3		n	1	3								
Пункт 1	1	1	...	1	-1					-1				$a_1^* - b_1^*$
Пункт 2	-1		...		1	1	...	1			-1			$a_2^* - b_2^*$
		-1				-1								.
.			.				.		.			.		.
.			.				.		.			.		.
Пункт n				-1				-1		1	1	...	1	$a_n^* - b_n^*$
Витрати	C_{12}	C_{13}	...	C_{1n}	C_{21}	C_{23}	...	C_{2n}	...	C_{n1}	C_{n2}	...	$C_{n,n-1}$	Z

Загальна модель із проміжними пунктами характеризується цільовою функцією й системою рівнянь із ненегативними змінними, кожний стовпець містить не більше двох ненульових коефіцієнтів (+1 або -1). За цю модель практично відсутні обмежувальні припущення, загальна транспортна задача про перевезення із проміжними пунктами виявляється еквівалентною класичній транспортній задачі.

Розглянемо узагальнену ТМ, в якій допускаються перевезення через проміжні пункти. Для спрощення розуміння та роботи з ТМ, уявимо її у вигляді неорієнтованого графу (рис. 3.5), в якого вершини – це пункти мережі, ребра – це відповідні шляхи, а вага ребер – пропускна спроможність та вартість перевезення одиниці продукції для відповідного шляху. Маємо справу з простим та звичайним графом, який є зв'язаним, через існування шляхів між будь-якими двома вершинами.

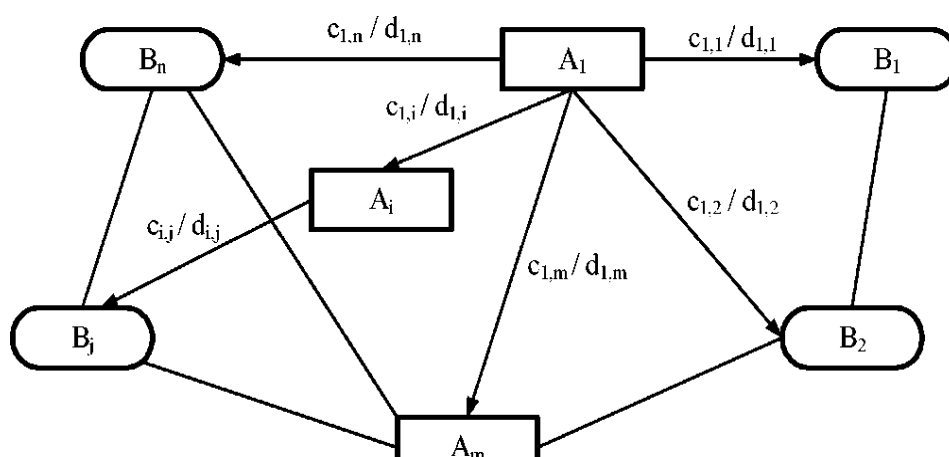


Рисунок 3.5 - Задання транспортної мережі у вигляді графа

Існує ряд способів розв'язання транспортної задачі за допомогою графів. Всі вони потребують наглядного прикладу, щоб можливо було їх використати для програмної реалізації. Вони мають нечіткі формулювання багатьох понять. Краще ТМ представити у матричному вигляді (табл. 3.2).

Ця матриця має розмірність $M \times M$, де M – кількість вершин на графі, тобто дорівнює $m + n$. На місцях перетину рядків і стовпців ставиться пропускна спроможність та вартість перевезення одиниці продукції між відповідними пунктами. Якщо відсутній безпосередній шлях між цими пунктами або він переходить в петлю, то на цьому місці ставиться число, яке більше самої великої вартості перевезення. Якщо $c_{ij}=B$, то безпосередній зв'язок між відповідними пунктами постачання та споживання відсутній.

Звісно, що в такому вигляді транспортна задача не зовсім наочна, як при використанні графів, то набагато простіше базу даних опрацювати спочатку математично, потім алгоритмічно і остаточно програмно. Отже методи обробки графів потребують їх представлення у матричному вигляді.

Таблиця 3.2 Представлення транспортної мережі у матричному вигляді

	a_1	...	a_i	...	a_m	b_1	b_2	...	b_n
a_1	B	...	$d_{1,1}$ $c_{1,1}$	...	$d_{1,m}$ $c_{1,m}$	$d_{1,m+1}$ $c_{1,m+1}$	$d_{1,m+2}$ $c_{1,m+2}$	...	$d_{1,m+n}$ $c_{1,m+n}$
...	...	B	...	...	...	...	...	...	...
a_i	$d_{i,1}$ $c_{i,1}$	...	B	...	$d_{i,m}$ $c_{i,m}$	$d_{i,m+1}$ $c_{i,m+1}$	$d_{i,m+2}$ $c_{i,m+2}$	...	$d_{i,m+n}$ $c_{i,m+n}$
...	...	...	...	B	...	...	...	...	...
a_m	$d_{m,1}$ $c_{m,1}$	...	$d_{m,i}$ $c_{m,i}$	...	B	$d_{m,m+1}$ $c_{m,m+1}$	$d_{m,m+2}$ $c_{m,m+2}$	...	$d_{m,m+n}$ $c_{m,m+n}$
b_1	$d_{m+1,1}$ $c_{m+1,1}$	...	$d_{m+1,i}$ $c_{m+1,i}$	...	$d_{m+1,m}$ $c_{m+1,m}$	B	$d_{m+1,m+2}$ $c_{m+1,m+2}$	...	$d_{m+1,m+n}$ $c_{m+1,m+n}$
b_2	$d_{m+2,1}$ $c_{m+2,1}$	...	$d_{m+2,i}$ $c_{m+2,i}$	...	$d_{m+2,m}$ $c_{m+2,m}$	$d_{m+2,m+1}$ $c_{m+2,m+1}$	B	...	$d_{m+2,m+n}$ $c_{m+2,m+n}$
...	...	...	...	...	...	...	...	B	...

b_n	$d_{m+n,1}$	...	$d_{m+n,i}$	...	$d_{m+n,m}$	$d_{m+n,m+1}$	$d_{m+n,m+2}$	...	B
	$c_{m+n,1}$		$c_{m+n,i}$		$c_{m+n,m}$	$c_{m+n,m+1}$	$c_{m+n,m+2}$		

В таблиці використані наступні позначення:

де c_{ij} – вартість перевезення одиниці вантажу від i -го пункту до j -го пункту;

d_{ij} – пропускна здатність транспортного сполучення з i -го транспортного вузла до j -го вузла.

3.3 Алгоритм розподілу перевезень вантажу на транспортній мережі

На основі табл. 3.3, яка відображає сутність транспортної задачі алгоритм розподілу перевезень вантажу на ТМ із обмеженнями на пропускну спроможність її комунікацій після її зведення до ТМ і одержання оптимального плану перевезень:

1. Вибираємо клітинку $[i, j]$ із ТМ з найменшою вартістю транспортування одиниці вантажу по маршруту, що з'єднує i -й пункт поставки й j -й пункт споживання.

2. Якщо пропускна спроможність маршруту більше, ніж обсяг переміщуваного по ньому вантажу, то в цьому випадку із пропускних спроможностей всіх вхідних у нього ділянок віднімається величина цього вантажу. В іншому випадку віднімається сама величина пропускної спроможності цього маршруту. Якщо пропускна спроможність якої-небудь ділянки маршруту стане рівною 0, що означає відкидання цієї ділянки з подальшого розгляду, то в цьому випадку у відповідне місце таблиці вартостей транспортування одиниці вантажу заноситься величина, більша за будь-яку величину транспортування вантажу в цій таблиці.

3. Пункти 1 і 2 цього алгоритму будуть виконуватися для всіх зайнятих перевезеннями клітинок ТМ, причому в пункті 2 щораз аналізується нова “відкоректована” на попередніх кроках пропускна спроможність транспортних комунікацій аналізованої ТМ.

4. На цьому кроці для всіх зайнятих перевезеннями клітинок ТМ, які не були повністю забезпечені вантажем на 2 кроці алгоритму, знаходяться нові найкоротші маршрути транспортування вантажу від конкретного пункту поставки вантажу до

конкретного пункту його одержання. Після цього знайдені величини найкоротших маршрутів розташовуються в порядку їхнього зростання.

5. Потім для знайдених клітинок ТТ аналогічно виконуються дії пунктів 1 і 2 цього алгоритму.

6. Алгоритм закінчується після того як, вичерпуються пропускні спроможності всіх транспортних комунікацій, які виходять із пунктів відправлення вантажу. Причому не завжди весь обсяг вантажу, який знаходиться у всіх його постачальників, вивозиться від них повністю і, як правило, не всі споживачі вантажу одержують його в повному обсязі.

В алгоритмі приведено опис підходу до організації комплексних перевезень у транспортній системі, що дає можливість системно підійти до завдання оптимізації транспортних перевезень вантажів. Це можливо використати для комбінованої схеми використання різних видів транспорту з урахуванням усього спектра обмежень. Матричне представлення перевізного процесу, у свою чергу, дозволяє описати його у вигляді відповідної математичної моделі і застосувати при її аналізі методи і засоби сучасних інформаційних технологій. Це дозволяє більш ефективно організувати перевізний процес у транспортних системах.

3.4 Експериментальна перевірка розв'язку транспортної задачі методом зведення

«Експериментальну перевірку здійснювали методом зведення сітьового транспортної задачі, яка задана у вигляді ТМ, класичного матричного виду. Цей метод розроблено після аналізу методів Дейкстри (визначення найкоротшого шляху між двома вершинами графа) і Флойда (визначення найкоротших шляхів між усіма вершинами графа). Метод перевірки принципово по новому вирішує це завдання і визначає найкоротші шляхи тільки між постачальниками і споживачами вантажних перевезень. Розглянемо застосування цього методу на конкретному прикладі.

Якщо ТМ задана у вигляді неорієнтованого графу (рис.3.6), де вершини – це вузли мережі ($A1, A2, A3$ – постачальники; $B1, B2, B3, B4$ – споживачі вантажу), ребра – відповідні шляхи, вага ребер – вартість перевезення одиниці вантажу для

відповідного шляху, а обсяги постачання (споживання) вантажу приведені у кожному вузлі.

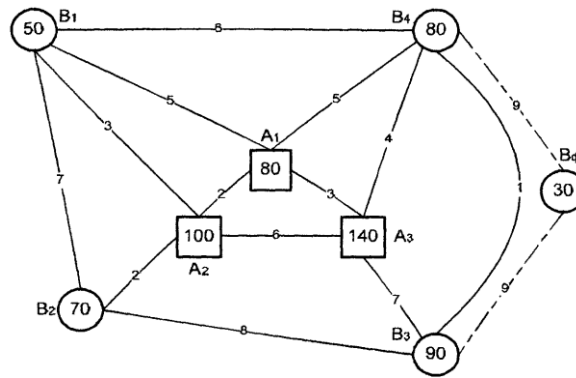


Рисунок 3.6 - Транспортна мережа з незбалансованим обсягом перевезень вантажу

Оскільки сумарний об'єм поставок вантажу перевищує на 30 одиниць сумарний об'єм заявок, то вводимо на ТМ додатковий (фіктивний) вузол споживання – *Вф*. Привласнимо йому 30 одиниць вантажу і з'єднаємо його в ТМ найдорожчими (виходячи з вартості перевезення одиниці вантажу) шляхами (рис. 3.6)» [19].

Введемо в комп'ютерну систему оптимізації перевезень (КСОП) на дорожньо-транспортній мережі (ДТМ) початкові дані цієї сітьової транспортної задачі: кількість постачальників/споживачів вантажу, відповідні об'єми поставок/заявок вантажу, а також матрицю відстаней між всіма вузлами ДТМ (рис. 3.7):

The screenshot shows the 'Исходная информация' (Initial Information) tab of the KSOП software. It contains two tables for input data and a distance matrix.

Поставки	Объем
A1	80
A2	100
A3	140

Сумма: 320

Заявки	Объем
B1	50
B2	70
B3	90
B4	80
Вф	30

Сумма: 320

Матрица расстояний:

	A1	A2	A3	B1	B2	B3	B4	Вф
A1	~	2	3	5	~	~	5	~
A2	2	~	6	3	2	~	~	~
A3	3	6	~	~	~	7	4	~
B1	5	3	~	~	7	~	6	~
B2	~	2	~	7	~	8	~	~
B3	~	~	7	~	8	~	1	9
B4	5	~	4	6	~	1	~	9
Вф	~	~	~	~	~	9	9	~

Buttons: Добавить исходную информацию, Применить, Очистить, Закрыть

Footer: Транспортная задача закрытого типа (сбалансирована) - сумма запасов = сумме заказов.

Рисунок 3.7 - Экранна форма КСОП на ДТМ з початковими даними сітьової транспортної задачі

Після цього за допомогою методу найкоротших відстаней (рис. 3.8, 3.9) зведемо ТМ до матричного вигляду і розрахуємо спочатку опорний (рис. 3.10), а потім оптимальний (рис. 3.11) плани перевезень вантажу.

Компьютерная система оптимизации перевозок на дорожно-транспортной сети

Исходная информация | Поиск оптимального решения | Поиск кратчайших расстояний

A1 A2 A3

Источник вершина A1

шаг	S	W	2	3	4	5	6	7	8
нач.	{1}	-	2	3	5	~	~	5	~
1	{1,2}	2	2	3	5	4	~	5	~
2	{1,2,3}	3	2	3	5	4	10	5	~
3	{1,2,3,5}	5	2	3	5	4	10	5	~
4	{1,2,3,5,7}	7	2	3	5	4	6	5	14
5	{1,2,3,5,7,4}	4	2	3	5	4	6	5	14
6	{1,2,3,5,7,4,6}	6	2	3	5	4	6	5	14
7	{1,2,3,5,7,4,6,8}	8	2	3	5	4	6	5	14

Транспортная задача закрытого типа (сбалансирована) - сумма запасов = сумме заказов.

Очистить
Закрыть

Рисунок 3.8 - Экранна форма КСОП на ДТМ з результатами пошуку найкоротших відстаней від постачальника A_1

Компьютерная система оптимизации перевозок на дорожно-транспортной сети

Исходная информация | Поиск оптимального решения | Поиск кратчайших расстояний

Матрица кратчайших расстояний

	B1	B2	B3	B4	Вф
A1	5	4	6	5	14
A2	3	2	8	7	16
A3	8	7	5	4	13

Матрица потенциалов

	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0

Распределение поставок

ai/bj	B1	B2	B3	B4	Вф	ai
A1	0	0	0	0	0	80
A2	0	0	0	0	0	100
A3	0	0	0	0	0	140
bj	50	70	90	80	30	320

Целевая функция

Поиск кратчайших расстояний
Построение опорного плана
Оптимизация плана

Проверка на оптимальность
Оптимизация плана (шаг)

Транспортная задача закрытого типа (сбалансирована) - сумма запасов = сумме заказов.

Очистить
Закрыть

Рисунок 3.9 - Экранна форма КСОП на ДТМ з результатами побудови матриці найкоротших відстаней

Компьютерная система оптимизации перевозок на дорожно-транспортной сети

Исходная информация Поиск оптимального решения Поиск кратчайших расстояний

Матрица кратчайших расстояний

	B1	B2	B3	B4	Bф
A1	5	4	6	5	14
A2	3	2	8	7	16
A3	8	7	5	4	13

Матрица потенциалов

	B1	B2	B3	B4	Bф
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0

Проверка на оптимальность

Оптимизация плана (шаг)

Распределение поставок

ai/bj	B1	B2	B3	B4	Bф	ai
A1	50	30	0	0	0	80
A2	0	40	60	0	0	100
A3	0	0	30	80	30	140
bj	50	70	90	80	30	320

Целевая функция: 1790

Поиск кратчайших расстояний

Построение опорного плана

Оптимизация плана

Транспортная задача закрытого типа (сбалансирована) - сумма запасов = сумме заказов.

Очистить

Закреть

Рисунок 3.10 - Экранная форма КСОП на ДТМ з опорним планом перевезень вантажу

Компьютерная система оптимизации перевозок на дорожно-транспортной сети

Исходная информация Поиск оптимального решения Поиск кратчайших расстояний

Матрица кратчайших расстояний

	B1	B2	B3	B4	Bф
A1	5	4	6	5	14
A2	3	2	8	7	16
A3	8	7	5	4	13

Матрица потенциалов

	B1	B2	B3	B4	Bф
4	3	5	4	13	
1	0	0	0	0	0
-1	0	0	-4	-4	-4
0	-4	-4	0	0	0

Проверка на оптимальность

Оптимизация плана (шаг)

Распределение поставок

ai/bj	B1	B2	B3	B4	Bф	ai
A1	20	0	60	0	0	80
A2	30	70	0	0	0	100
A3	0	0	30	80	30	140
bj	50	70	90	80	30	320

Целевая функция: 1550

Поиск кратчайших расстояний

Построение опорного плана

Оптимизация плана

Получен оптимальный план!

Очистить

Закреть

Рисунок 3.11 - Экранная форма КСОП на ДТМ з оптимальним планом перевезень вантажу

Поставимо замість існуючих відстаней до фіктивного вузла споживання нульові значення і знову здійснимо оптимізацію плану перевезень за допомогою КСОП на ДТМ (рис. 3.12). В результаті одержимо кращий (менший) за вартістю план перевезень вантажу – 1130 у.о.в., який зображений (на рис. 3.13) у вигляді відповідних дуг транспортних перевезень.

Компьютерная система оптимизации перевозок на дорожно-транспортной сети

Исходная информация Поиск оптимального решения Поиск кратчайших расстояний

Матрица кратчайших расстояний

	B1	B2	B3	B4	Bф
A1	5	4	6	5	0
A2	3	2	8	7	0
A3	8	7	5	4	0

Матрица потенциалов

	4	3	5	4	-1
1	0	0	0	0	0
-1	0	0	-4	-4	-2
0	-4	-4	0	0	-1

Распределение поставок

ai/bj	B1	B2	B3	B4	Bф	ai
A1	20	0	30	0	30	80
A2	30	70	0	0	0	100
A3	0	0	60	80	0	140
bj	50	70	90	80	30	320

Целевая функция: 1130

Поиск кратчайших расстояний
Построение опорного плана
Оптимизация плана

Проверка на оптимальность
Оптимизация плана (шаг)

Получен оптимальный план!

Очистить
Закрыть

Рисунок 3.12 - Экранная форма КСОП на ДТМ з оптимальним планом перевезень вантажу(з нульовими значеннями відстаней до фіктивного вузла споживання)

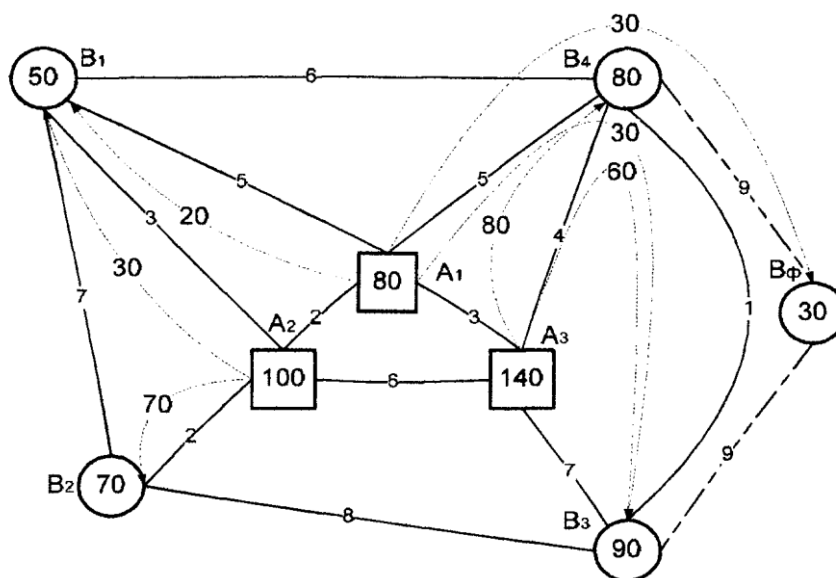


Рисунок 3.13 - ДТМ з оптимальним планом перевезень вантажу

Реалізуємо оптимізацію плану вантажних перевезень за допомогою табличного процесора *Excel* спочатку для випадку з максимальними відстанями до фіктивного вузла споживання $Bф$ (рис. 3.14), а потім для випадку з нульовими відстанями до фіктивного вузла споживання $Bф$ (рис. 3.15).

Microsoft Excel - ТЗ

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

A12 Σ =СУММ(B12:F12)

	A	B	C	D	E	F	G
1		B1	B2	B3	B4	Bф	ai
2	A1	5	4	6	5	14	80
3	A2	3	2	8	7	16	100
4	A3	8	7	5	4	13	140
5	bj	50	70	90	80	30	
6							
7		B1	B2	B3	B4	Bф	ai
8	A1	0	20	35	25	0	80
9	A2	50	50	0	0	0	100
10	A3	0	0	55	55	30	140
11	bj	50	70	90	80	30	
12	1550	150	180	485	345	390	

Рисунок 3.14 - Оптимальний план перевезень з найдорожчими шляхами до фіктивного вузла споживання

Microsoft Excel - ТЗ

Файл Правка Вид Вставка Формат Сервис Данные Окно Справка

A12 Σ =СУММ(B12:F12)

	A	B	C	D	E	F	G
1		B1	B2	B3	B4	Bф	ai
2	A1	5	4	6	5	0	80
3	A2	3	2	8	7	0	100
4	A3	8	7	5	4	0	140
5	bj	50	70	90	80	30	
6							
7		B1	B2	B3	B4	Bф	ai
8	A1	15	5	5	25	30	80
9	A2	35	65	0	0	0	100
10	A3	0	0	85	55	0	140
11	bj	50	70	90	80	30	
12	1130	180	150	455	345	0	

Рисунок 3.15 - Оптимальний план перевезень з нульовими шляхами до фіктивного вузла споживання

Одержані дані свідчать про те, що значення оптимальних планів з максимальними відстанями до фіктивного вузла споживання $B\phi$, одержані за допомогою КСОП на ДТМ (рис. 3.11) і табличного процесора *Excel* (рис. 3.14) співпадають. Теж саме можна сказати і про значення оптимальних планів з нульовими відстанями до фіктивного вузла споживання $B\phi$, одержані за допомогою

КСОП на ДТМ (рис. 3.12) і табличного процесора *Excel* (рис. 3.15) – вони також співпадають.

Що стосується незбігання маршрутів транспортування вантажу від всіх постачальників до всіх його споживачів у оптимальних планах, які отримані різними методами, то це свідчить про наявність альтернативних маршрутів.

Висновки

1. Аналіз характеристик ТОВ «АТП-2004» і його рухомого складу показав, що підприємство має всі дані щоб якісно і ефективно здійснювати вантажні перевезення.

2. Підвищення ефективності роботи підприємства обумовлює розв'язання транспортної задачі вантажних перевезень з оптимізацією та побудовою математичної моделі планування перевезень.

3. Побудована багатокритеріальна модель планування вантажних перевезень. Розв'язок моделі проводили методом багатокритеріальної оптимізації у формі графів та матриці перевезень та розроблена узагальнена схема алгоритму розв'язання.

4. Розглянуто серверне інформаційне забезпечення вантажних перевезень з відповідною обробкою замовлень та схемою взаємодії операцій.

Проведена комп'ютерна експериментальна перевірка розв'язку транспортного завдання методом зведення з відповідними відображеннями екранних форм.

Список використаної літератури

1. Методичні вказівки для виконання випускної кваліфікаційної роботи: для студентів за освітньо-професійної програми "Транспортні технології (автомобільний транспорт)" першого (бакалаврського) рівня вищої освіти спеціальності 275 – Транспортні технології (автомобільний транспорт) / уклад.: В.В. Аулін, С.В. Лисенко, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків, Голованов А.П.; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. – Кропивницький: ЦНТУ, 2019. – 44 с.
2. Денисенко Т. І. Проблеми багатокритеріальної оптимізації./ Денисенко Т. І. //Зб. Наук. пр.. СевКавГТУ. Серія «Природничонаукова». 2006. № 2 стр 10.
3. Прокудін Г.С. Модифікація методу Дейкстри стосовно розв'язання сітьових транспортних задач. – К.: Вісник ТАУ, УТУ. – 2002. – № 7, с.195 – 198.
4. Прокудін Г.С., Білоус С.О. Один з підходів до вирішення сітьової транспортної задачі.– К.: ООО "Журнал "Радуга". – 2003. – № 1 – 2(15). – с.52 – 56
5. Прокудін Г.С., Кузьмичов А.І. Електронно-табличне математичне моделювання задач оптимального розвитку комунікаційних мереж. – Автошляховик України. Окремий випуск. Вісник Центрального наукового центру ТАУ. – К.: 2008. – № 11 . – С. 48 – 52.
6. Павлице В.Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин: Підручник. – К.: Вища шк., 1993. – 556 с.
7. Експлуатація автомобілів. Планування: Навчальний посібник / Упор. В.Я. Чабанний. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2009. – 400 с.
23. Чабанні В.Я., Осіпов І.М. Технічна експлуатація автомобілів: Навчальний посібник. – Кіровоград: Центрально-Українське видавництво, 2009. – 553 с.
8. Четверухін Б.М. Дослідження операцій в транспортних системах. Част. І. Методи лінійного програмування та їх застосування. – К.: УТУ, 2000. – 91 с.
9. Аулін В.В., Голуб Д.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Рябцев Н.О. Обґрунтування рівня конкуренції на міських пасажирських маршрутах. Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37) ч.ІІ. С.89-98.

10. Аулін В.В., Голуб Д.В., Замуренко А.С., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Дьяченко В.О. Теоретичний системно-спрямований підхід до визначення інтегрального показника ефективності реалізації операцій в транспортних системах // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.232-247.

11. Формування показників оцінки ефективності транспортного процесу перевезень / В. В. Аулін, Д. В. Голуб, В. В. Біліченко, А. С. Замуренко // Вісник машинобудування та транспорту. - Вінниця : ВНТУ, 2020. - № 1(11). - С. 4-10.

12. Аулін В.В. Оптимізація і управління ресурсами в транспортно-логістичній системі АПК / В.В. Аулін, Д.О. Великодний, В.О. Дьяченко // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.8-11.

13. Методологія оптимізації транспортних технологій: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О. Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 68 с.

14. Управління транспортними системами: метод. рекомендації до практ. занять для здобувачів вищої освіти другого (освітнього) рівня спеціальності 275 – Транспортні технології / уклад. : В.В. Аулін, С.В. Лисенко, А.В. Гриньків, А.О. Головатий; М-во освіти і науки Укр., Центральноукраїн. нац. техн. ун-т. - Кропивницький : ЦНТУ, 2020. – 56 с.

15. Плекан У.М., Ляшук О.Л., Аулін В.В., Цьонь О.П., Матвійшин А.Й. Логістична стратегія автотранспортного підприємства. Організаційні аспекти формування Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2022. Вип. 6(37) ч.ІІ. С.75-82.

16. Аулін В. В., Лисенко С. В., Гриньків А. В., Голуб Д. В., Головатий А. О. Логістика постачання транспортних і виробничих підприємств, фірм, компаній: Навчальний посібник під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2022. – 325 с.

17. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Головатий А.О., Голуб Д.В. Теоретичні і методологічні основи логістики транспортних і виробничих систем / монографія під заг. ред. д.т.н., проф. Ауліна В.В. – Кропивницький: Видавець Лисенко В.Ф., 2021. – 503 с.

18. Методологічні основи проектування та функціонування інтелектуальних транспортних і виробничих систем : монографія / В. В. Аулін, А. В. Гриньків, А. О. Головатий [та ін.] ; під заг. ред. В. В. Ауліна. - Кропивницький : Лисенко В. Ф., 2020. - 428с.

19. Аулін В.В., Гриньків А.В., Лисенко С.В., Лівіцький О.М., Чернай А.Є., Голуб Д.В., Головатий А.О. Теоретичне обґрунтування управління функціонуванням технічними та транспортними системами на основі методів системної теорії інформації // Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки. 2021. Вип. 4(35). С.178-189.

20. Аулін В.В. Критерії реалізації процесів забезпечення та підвищення надійності і ефективності функціонування транспортних систем / В.В. Аулін, Д.В. Голуб, А.В. Гриньків // Міжвузівський збірник "Наукові нотатки". – Луцьк: Луцький НТУ, 2018. – №62. – С.12-16.