

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
АЕРОКОСМІЧНИЙ ФАКУЛЬТЕТ
КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ТА ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач випускової кафедри
_____ В.П. Захарченко
« ____ » _____ 2020 р.

ДИПЛОМНА РОБОТА

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

ЗА СПЕЦІАЛЬНІСТЮ 151 «АВТОМАТИЗАЦІЯ ТА КОМП'ЮТЕРНО-ІНТЕГРОВАНІ ТЕХНОЛОГІЇ»

Тема: «Метод автоматизації управління ресурсами транспортно-експедиційного підприємства в умовах невизначеності»

Виконавець _____ студент групи АТ-216М Миколаїв А.Л.
(студент, група, прізвище, ім'я, по батькові)

Керівник _____ д.т.н., доцент Чуріна О. Й.
(науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ім'я, по батькові)

Консультант розділу «Охорона праці»: _____
(підпис)

М. С. Занько
(ПІБ)

Консультант розділу «Охорона навколишнього середовища»: _____
(підпис)

В.Ф. Фролов
(ПІБ)

Нормоконтролер: _____
(підпис)

О. Й. Чуріна
(ПІБ)

КИІВ 2020
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет аерокосмічний

Кафедра автоматизації та енергоменеджменту

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр, найменування)

Освітньо-професійна програма «Автоматика та автоматизація на транспорті»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

В.П.Захарченко

2020 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання дипломної роботи

Миколаїв А.Л.

(П.І.Б. випускника)

1. Тема роботи «Метод автоматизації управління матеріальними ресурсами на транспортному підприємстві»

затверджена наказом ректора від

2. Термін виконання роботи:

4. Зміст пояснювальної записки: вступ; аналіз відомих методів автоматизації типових процесів в транспортній логістиці; метод автоматизації управління ресурсами транспортно-експедиційного підприємства в умовах невизначеності; програмна реалізація засобів автоматизації управління ресурсами типового транспортно-експедиційного підприємства в умовах невизначеності; охорона праці; охорона навколишнього середовища; висновки

5. Перелік обов'язкового ілюстративного матеріалу: структурна схема автоматизації інформаційних потоків відносно ресурсів типового ТЕП; блок-схема алгоритму автоматизації процесу відслідковування переміщення товарів; блок-схема алгоритму автоматичного визначення місця товару на складі ТЕП; функціональна схема автоматизації процесу розподілення товару на складі ТЕП; блок-схема алгоритму автоматизації замовлення товару від головного офісу до регіонального офісу в Україні; функціональна схема автоматизації процесу оформлення заказу

6. Календарний план-графік

№ пор.	Завдання	Термін Виконання	Підпис керівника
1.	Вивчення інформаційних джерел		
2.	Аналіз відомих методів автоматизації		

	типових процесів в транспортній логістиці		
3.	Метод автоматизації управління ресурсами транспортно-експедиційного підприємства в умовах невизначеності		
4.	Програмна реалізація засобів автоматизації управління ресурсами типового транспортно-експедиційного підприємства в умовах невизначеності		
5.	Розглянути питання охорони праці		
6.	Розглянути питання охорони навколишнього середовища		
7.	Розробити та оформити пакет обов'язкового ілюстративного матеріалу		

7. Консультанти з окремих розділів

8. Дата видачі завдання: 2020 р.

Керівник дипломної роботи
А.Л.

_____ Миколаїв

(підпис керівника)

(П.І.Б.)

Завдання прийняв до виконання

_____ О. Й. Чуріна
(підпис випускника) (П.І.Б.)

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ Й УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТИПОВИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ	10
1.1. Транспортна логістика. Основні математичні моделі управління ресурсами транспортно-експедиційного підприємства.....	10
1.2. Вирішення транспортної задачі за використанням лінійного програмування	15
1.3. Проблеми автоматизації управління ресурсами ТЕП в умовах невизначеності	16
1.4. Порівняльний аналіз методів дослідження САУ ресурсами ТЕП в умовах невизначеності	20
1.5. Висновки.....	30
РОЗДІЛ 2. МЕТОД АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	32
2.1. Транспортна задача з стохастичним попитом	32
2.2. Розподіл основних функцій між САУ та диспетчером ТЕП	34
2.3. Алгоритм автоматизації розміщування товарів на складі типового ТЕП.....	34
2.4. Висновки	34
РОЗДІЛ 3. ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТИПОВОГО ТРАНСПОРТНО- ЕКСПЕДИЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ	37
3.1. Автоматизація управління ресурсів ТЕП «Роберт Бош».....	37
3.2. Структурна схема автоматизації процесу обміну інформаційними в ТЕП	39
3.3. Алгоритм автоматизації процесу замовлення товару та його доставки в Україну	40
3.4. Схема управління багатокomпонентними ресурсами ТЕП	40
3.5. Автоматизація процесу замовлення товарів в ТЕП	40
3.6. Підвищення ефективності управління ресурсами ТЕП за рахунок впровадження засобів автоматизації.....	40
3.7. Висновки.....	40
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ	44
4.1. Небезпечні та шкідливі виробничі фактори при експлуатації автоматизованої системи управління управління ресурсами ТЕП	44
4.2. Аналіз природнього освітлення в приміщенні відділу логістики управління ресурсами ТЕП	49
4.3. Розрахунок штучного освітлення для приміщення відділу	53

логістики ТЕП.....	
4.4. Розрахунок освітлення методом питомої потужності в приміщенні відділу логістики ТЕП	54
4.5. Пожежна і вибухова безпека при експлуатації автоматизованої системи управління ресурсами ТЕП	54
4.6. Інструкція з охорони праці для інженера-оператора автоматизованої системи управління ресурсами ТЕП	58
4.7. Висновки.....	60
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	62
5.1. Вентиляційна установка, як джерело шуму та захист від нього ...	63
5.2. Розрахунок викидів забруднюючих речовин в атмосферу від паливного-мастильного резервуару ТЕП «Бош Україна»	63
5.3. Вплив запиленості на екологію та життєдіяльність людей	75
5.4. Висновки.....	79
ВИСНОВКИ.....	56
СПИСОК БІБЛОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ ВИКОРИСТАНИХ	
ДЖЕРЕЛ.....	97
Додаток А	97

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ВІДОМИХ МЕТОДІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ ТИПОВИХ ПРОЦЕСІВ В ТРАНСПОРТНІЙ ЛОГІСТИЦІ

1.1. Транспортна логістика. Основні математичні моделі управління ресурсами транспортно-експедиційного підприємства

Термін «Транспортна логістика» та відповідне поняття мають свою історію. Спочатку до логіста відносили знавців розрахунків і висновків практичного властивості. Це поняття використовувалося для опису правил і практики розташування і переміщення військових підрозділів і обозних служб. У відомій праці французького військового фахівця А. Жоміні, півторастолітньої давності, Транспортна логістика визначається як наука про управління при плануванні запасів, перевезень і постачання військ. Новий етап в розвитку логістики настав під час другої світової війни, коли логістичні підходи стали широко застосовуватися [1].

Було визнано, що завдання регулювання матеріальних потоків можуть успішно вирішуватися за допомогою методів, що застосовуються у військовій логістиці. Подальший розвиток вона отримала в 60-70-ті роки минулого століття при розробці та реалізації складних систем управління і господарювання [2].

Поняття логістики і логістичного управління наповнюються різноманітним вмістом і проникають в різні сфери виробництва та товарообігу. На це впливають широке застосування сучасних обчислювальної та інформаційної техніки і технологій, а також розвиток і поглиблення взаємодії елементів виробничої інфраструктури та логістичних систем [3-4].

В даний час до 25% ВВП індустриально розвинених країн формується з використанням логістичних технологій. На логістичні операції в світі припадає 15% загальних витрат промисловості і 20% витрат торгівлі. За оцінками експертів ці операції дозволяють скоротити витрати на третину [4,5]. Транспортна логістика має широкий спектр областей застосування, що охоплює виробництво, транспорт,

постачання, збут, складування, пакувальне справа, інформаційне та фінансове забезпечення, торгівлю і т.п.

Відомо багато трактувань поняття «транспортна логістика» та відповідних визначень [1-7]. Наприклад, в [1] міститься близько тридцяти різних визначень логістики. З них сучасними уявленнями в найбільшій мірі відповідає наступне визначення: Транспортна логістика - це наука про оптимізацію процесів руху або зміни речовини, енергії, інформації, фінансів, прийняття оперативних та управлінських рішень, побудові варіантів рішень і вибору найбільш оптимального з точки зору прийнятого в даному випадку критерію.

В даний час теорія і методи логістики грають особливо важливу роль при організації руху товару [3-6]. У промислово розвинених країнах більше 20 відсотків ВВП припадає на витрати, пов'язані з рухом товарів.

Транспортування продукції є однією з основних функціональних областей логістики. Залежно від задач в системі «виробник-споживачі» здійснюється вибір транспорту для поставки продукції. При цьому враховується розміщення виробництва, техніко-економічні особливості різних видів транспорту, що визначають сфери їх раціонального використання, потреби виробленого продукту в пунктах споживання, вартості перевезень і т.п. [5-8].

У зв'язку з цим традиційно виникає необхідність вирішення наступних задач транспортної логістики [6]:

- планування та організація перевезень (транспортна задача, задача маршрутизації та ін.)
- розробка економіко-математичних моделей макрологістичних систем (виробничо-транспортна задача);
- розробка моделей «виробництво-транспорт-склади-транспорт- споживання» та ін.

- розробка методів автоматизації управління ресурсами (матеріальними, трудовими та фінансовими) транспортно-експедиційного підприємства (ТЕП).

В ряду перерахованих задач транспортної логістики особливе місце займають завдання автоматизації оперативного планування і управління вантажними перевезеннями, економіко-математичними моделями яких є транспортна задача і маршрутизація [7-8].

З точки зору організації перевізного процесу можливі три основні схеми. Перша схема організації перевезень, найбільш проста з точки зору планування, «один до одного» не вимагає від ТЕП рішення транспортної задачі, а тільки завдання відшукування оптимального маршруту[15].

Планування діяльності транспортного підприємства в разі організації перевезення за другою схемою («один до багатьох») вимагає рішення більш складного завдання маршрутизації, яка включає рішення [8]:

- завдання «ув'язування» їзди, якщо між вантажовідправниками і вантажоодержувачами перевезення здійснюється тільки по маятникових маршрутах;

- завдання маршрутизації, якщо між вантажовідправниками і вантажоодержувачами перевезення здійснюється тільки по розвозочно (збірним або збірно-розвозочно) маршрутами;

- обох перерахованих вище задач, якщо при організації перевізного процесу використовуються як митників, так і розвозочно (збірні або збірно-розвозочно) маршрути.

При організації руху за схемою «багато до багатьох» потрібно на першому етапі для кожної пари «постачальник-споживач» вирішити задачу маршрутизації [1], а потім, на другому етапі, транспортну задачу [2].

Економіко-математична модель класичної транспортної задачі в загальному вигляді представлена наступними формулами (1.1) - (1.5) [9]:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min , \quad (1.1)$$

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i , \quad i = 1, 2, \dots, m , \quad (1.2)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j , \quad j = 1, 2, \dots, n , \quad (1.3)$$

$$x_{ij} \geq 0 , \quad i = 1, 2, \dots, m , \quad j = 1, 2, \dots, n , \quad (1.4)$$

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j , \quad (1.5)$$

де i - номер постачальника;

j - номер споживача;

a - обмеження за пропозицією;

b_j - обмеження щодо попиту;

c_{ij} - елементи матриці вартостей перевезень;

x_{ij} - обсяг кореспонденції між i -м постачальником і j -м споживачем.

Критерієм оптимальності в транспортній задачі можуть виступати сумарна транспортна робота в тонно-кілометрах, витрати часу або сумарна вартість перевезення [15]..

Для вирішення транспортної задачі застосовується розподільчий метод [9], який має кілька різновидів, що відрізняються способом визначення початкового плану і виявлення оптимального рішення. Класична транспортна задача може бути вирішена, наприклад, за допомогою програми Microsoft Excel (слід зауважити, що обчислювальна складність завдання швидко зростає зі збільшенням числа змінних, в зв'язку з чим, розмірність реально вирішуваних задач обмежена) [12, 15]..

Типова задача перевезення за схемою «один до багатьох» вимагає рішення задачі маршрутизації - відшукування маршруту руху транспортного засобу (ТЗ), що здійснює

розвезення деякого виду вантажу з деякого базового пункту за декількома пунктами, пов'язаним між собою магістралями [15-17].

Нехай число таких пунктів одно n і c_{ij} - відстань від пункту i до пункту j , $i = 1, 2, \dots, n$, $j = 1, 2, \dots, n$. У кожному пункті транспортний засіб (ТЗ) має побувати рівно один раз, і після розвезення всіх вантажів йому необхідно повернутися в базовий пункт. Завдання полягає у визначенні порядку відвідування пунктів так, щоб сумарна відстань була мінімальною [15].

Для математичного формулювання розглянутої задачі вводяться булеві змінні x_{ij} [12, 13, 15].:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{якщо ТЗ із пункту } i \text{ переїздить безпосередньо в пункт } j, \\ 0 & \text{в іншому випадку,} \end{cases}$$

$$i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j.$$

Математична модель задачі включає сукупність обмежень на змінні x_{ij} :

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (1.6)$$

$$\sum_{i=1}^n x_{ij} = 1, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (1.7)$$

$$U_i - U_j + nx_{ij} \leq n - 1, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad i \neq j, \quad (1.8)$$

де U_i, U_j - довільні дійсні числа.

Умови (1.6) - (1.7) виключають цикли (петлі) на маршруті, оскільки приїзд ТЗ в кожен пункт і виїзд з кожного пункту відбувається рівно один раз. Умова (1.8) не допускає розщеплення замкнутого з n ланок маршруту на кілька замкнутих маршрутів з меншим числом ланок. Традиційна цільова функція в розглянутої задачі - загальна довжина маршруту, яка підлягає мінімізації [15].:

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=i}^n c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min. \quad (1.9)$$

Часто в якості цільової функції використовують і інші, пов'язані з довжиною шляху, економічні показники, наприклад, витрати на перевезення, загальна тривалість шляху і т.п.

1.2. Вирішення транспортної задачі за використанням лінійного програмування

Якщо кількість споживачів велике (у багато разів перевищує кількість постачальників), то природне прагнення зменшити транспортні витрати і час доставки товару призводить до необхідності вирішення завдання створення і розміщення додаткових (проміжних) складів крім основного. Формальна постановка цієї задачі має наступний вигляд. Маються m пунктів поставки товару і заданий набір (a_1, a_2, \dots, a_n) , який визначає розподіл товару по постачальниках; пунктів споживання цього товару і заданий набір (b_1, b_2, \dots, b_n) , що задає їх потреби; пунктів, які використовуються як проміжні центри (склади) [1, 2, 15].

Крім того, задана матриця вартостей $C = (c_{ijk})$, де c_{ijk} - вартість перевезення одиниці товару від i -го постачальника до j -му споживачеві через k -й проміжний пункт [1, 2, 15].

Далі вводиться матриця $X = (x_{ijk})$, де x_{ijk} - кількість вантажів, призначений для перевезення товару від i -го постачальника до j -му споживачеві через k -й проміжний пункт [3, 15].

Завдання полягає в знаходженні матриці $X = (x_{ijk})$, що мінімізує сумарну вартість перевезень [4, 15].

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K c_{ijk} x_{ijk}$$

і задовольняє системі обмежень

$$\sum_{k=1}^K \sum_{j=1}^n x_{ijk} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{i=1}^m x_{ijk} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n.$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

Якщо пропускна здатність складів обмежена і заданий відповідний набір (d_1, d_2, \dots, d_k) , то з'являється додаткова група обмежень [1, 2, 15]

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq d_k, \quad k = 1, 2, \dots, K$$

Таким чином, в даному випадку звичайна двухіндексна транспортна задача перетворюється в трьохіндексну [9].

Точно так же збільшення індексних завдання відбувається, якщо врахувати той факт, що в багатьох практичних випадках вартість доставки товару залежить від виду товару і типу транспортних засобів (наприклад, при транспортуванні деяких продуктів необхідно використовувати рефрижератори, цистерни і т.д.). Для отримання формальної моделі цієї задачі введемо [1, 8, 15]:

- матрицю вартостей $C = (c_{ijl})$, c_{ijl} - вартість перевезення одиниці вантажу від i -го постачальника до j -му споживачеві з використанням l -го типу транспортного засобу;

- набір (Q_1, Q_2, \dots, Q_l) , Q_l - сумарна кількість товару (обсяг, вага і т.п.), що перевозиться транспортними засобами l -го типу;

- матрицю $X = (x_{ijl})$, x_{ijl} - кількість товару, що перевозиться від i -го постачальника до j -му споживачеві з використанням l -го типу транспорту.

Тоді завдання формулюється в такий спосіб: знайти матрицю $X = (x_{ijl})$, що мінімізувала сумарну вартість перевезень [1, 8, 15]:

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L c_{ijl} x_{ijl}$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L x_{ijl} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{l=1}^L x_{ijl} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijl} \leq Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

$$x_{ijl} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Отримана задача знову є трьохіндексної.

Зауважимо, що якщо в цій останній завданню врахувати можливість використання проміжних центрів, то питання буде чотирьохіндексної.

При цьому вводять [1, 8, 15]::

- c_{ijkl} вартість перевезення одиниці вантажу від i -го постачальника до j -му споживачеві через k -й проміжний центр з використанням l -го типу транспортних засобів;

- x_{ijkl} кількість товару, призначеного для перевезення від i -го постачальника до j -му споживачеві через k -й проміжний центр з використанням l -го типу транспортних засобів.

Завдання зводиться до відшукування матриці $X = (x_{ijkl})$, що мінімізує сумарну вартість перевезень

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L c_{ijkl} x_{ijkl}$$

і задовольняє системним обмеженням

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ijkl} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^K \sum_{l=1}^L x_{ijkl} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^K x_{ijkl} \leq Q_l, \quad l = 1, 2, \dots, L,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^L x_{ijkl} \leq d_k, \quad k = 1, 2, \dots, K,$$

$$x_{ijkl} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, K, \quad l = 1, 2, \dots, L.$$

Для точного рішення багатоіндексних задач лінійного програмування, в тому числі і транспортних, розроблений математичний апарат, що враховує специфіку цих задач [9]. Однак обчислювальна трудомісткість відповідних методів швидко зростає зі збільшенням розмірності задачі, яка в реальних ситуаціях може бути дуже велика (має порядок 10^8). Отримання точного рішення таких задач в прийнятний час не реалізовується. Ця обставина робить актуальною розробку наближених, але швидких, методів вирішення виникаючих на практиці багатоіндексних задач [1, 8, 15].

Є ще одна принципова особливість реальних транспортних задач. Справа в тому, що чисельні значення багатьох параметрів реальних задач не є точними, з одного боку, через випадкових помилок при їх оцінюванні та, з іншого, через важко прогнозованого впливу різних факторів зовнішнього середовища [1, 7, 15].

Крім того, неточності моделі можуть бути наслідком впливу будь-яких неврахованих факторів. У ситуації, коли вихідні дані завдання не точні, план транспортування, отриманий в результаті точного рішення задачі, в якій в якості вихідних даних використані їх статистичні оцінки, може виявитися далеким від оптимального і, внаслідок цього, не ефективним.

1.3. Проблеми автоматизації управління ресурсами ТЕП в умовах невизначеності

Аналіз наведених вище моделей транспортної логістики дозволяє виявити дві серйозних проблеми, що виникають при вирішенні практичних задач: висока

розмірність і невизначеність в завданні вихідних даних. Розглянемо коротко суть цих проблем [1, 8, 15].

Транспортна задача є окремим випадком загальної задачі лінійного програмування. Обчислювальна складність задач лінійного програмування визначається кількістю обмежень і змінних [1, 8, 15].

Нехай, зокрема, вирішується транспортна задача з m постачальниками і n споживачами продукту. Тоді це завдання з $N = mn$ змінними і $M = m + n - 1$ обмеженнями. В [10] наводиться така оцінка числа елементарних операцій, необхідних для вирішення такого завдання

$$R = N \cdot M^5 \cdot \log_2 \left[\left(\max_i b_i \right) \cdot M \right].$$

В реальних транспортних задачах значення m і n мають порядок відповідно 10^2 і 10^3 . Тоді, як легко бачити, число елементарних операцій рішення задачі має порядок 10^{20} . Таке завдання не може бути вирішена в прийнятний час навіть ЕОМ з продуктивністю порядку 10^{10} оп./с [3,4].

Необхідність подолання «прокляття розмірності» ініціювала розгляд і дослідження двох основних напрямків зниження розмірності задачі: по-перше, розробка ефективних наближених методів рішення, по-друге, це - декомпозиція [3,4].

Наближені методи розв'язування транспортних задач добре відомі: методи мінімального елемента рядка, стовпця, матриці. Їх використання істотно спрощує процедуру вирішення завдання, проте точність рішення задачі погіршується. Інший шлях - декомпозиція задачі. Зокрема, при організації перевезень «від багатьох до багатьох» ця ідея реалізується шляхом використання схеми «постачальники-проміжні пункти-споживачі» [3,4].

При цьому, практично, не відбувається втрати точності одержуваного рішення. Однак, набагато важливіше перевага цієї схеми полягає в тому, що вона являє собою не просто математичну модель рішення задачі, але і реалізується на рівні реальних транспортних потоків. При використанні цього підходу виникає

необхідність обґрунтування раціональної структури системи «постачальники-проміжні центри-споживачі» (число проміжних центрів і їх розташування). Ця ж декомпозиційна технологія може бути використана і в завданні маршрутизації [3,4].

Проблема невизначеності в завданні вихідних даних є наслідком багатьох причин, головні з яких - випадковий характер попиту на споживаний продукт, а також схильні до випадковим коливань значення витрат на його перевезення. Як відомо, попит на продукт залежить від сезону, місяця і навіть дня тижня, наявність конкурентного товару, співвідношення цін на його ринку, рівня потреби, нечіткості цілей, множин взаємозаміщаючих факторів, що визначають насиченість ринку і т.п [3,4].

Імовірнісний характер транспортних витрат визначається типом використовуваних транспортних засобів, вартістю енергоресурсів, довжиною транспортних магістралей і навіть погодою (для автотранспорту, наприклад, погода в багатьох випадках впливає на стан дороги і, як наслідок цього, на витрати). Незважаючи на очевидні практичні потреби в рішенні задач транспортної логістики в умовах невизначеності, в відомій літературі розглядаються, в основному, окремі, частні їх постановки і відповідні методи вирішення [1-10].

Зокрема, в [9] розглянуті тільки загальні питання проектування автоматизованої структури і організації регіональної транспортної системи обслуговування споживачів в умовах невизначеності стану ТЕП.

В [10] для вирішення задач оптимізації маршрутів рухомих об'єктів запропоновані стохастичні імітаційні моделі, з використанням яких синтезується автоматизована система підтримки прийняття рішень на основі апарату нечіткої логіки. Система дозволяє формувати субоптимальні траєкторії руху з мінімізацією сумарної довжини всіх маршрутів. На жаль, ця технологія не може бути використана для вирішення задач високої розмірності.

Робота [11] містить метод кількісної оцінки факторів невизначеності в транспортній інфраструктурі проектів. При цьому передбачається технологія побудови імітаційних моделей транспортних мереж, більш точна, ніж традиційна, заснована на стандартному методі Монте-Карло.

В [12, 13] розглянуті методи рішення трьохіндексних транспортних задач з нечіткими параметрами, які вводяться, як нечіткі інтервали для оптимізації руху ТЗ.

Очевидні недоліки запропонованої технології [12, 15]:

- по-перше, використане інтервальний опис невизначеності недостатньо адекватно;
- по-друге, запропонована методика опису нечіткої цільової функції завдання не задовольняє принципу узагальнення Л. Заде;
- по-третє, рішення задачі представлено у вигляді сукупності нечітких інтервалів, що ускладнює його практичну реалізацію.

Природний шлях вирішення задач з урахуванням невизначеності вихідних даних складається в цілеспрямованому застосуванні сучасних комп'ютерно-інтегрованих інформаційних технологій збору і обробки реальних статистичних даних про випадкових параметрах завдання та формуванні і використанні відповідних баз даних для побудови їх законів розподілу. Ці закони в подальшому забезпечують можливість формування специфічних критеріїв якості рішення відповідних задач стохастичного програмування [14]. При цьому найбільш часто на практиці відшукується щільність розподілу випадкового значення традиційного критерію - сумарної вартості транспортувань, і в подальшому формується і вирішується одна з трьох наступних задач [3,15]:

- мінімізація сумарної вартості в середньому;
- мінімізація дисперсії витрат;

- мінімізація ймовірності перевищення деякого допустимого, порогового значення витрат.

Математичні моделі відповідних задач мають такий вигляд [14].

Нехай, для визначеності випадковими є вартості c_{ij} , $i=1,2,\dots,m$, $j=1,2,\dots,n$, перевезень одиниці продукту від постачальників до споживачів і задані щільності розподілу $\varphi_{ij}(c_{ij})$ цих випадкових величин.

Тоді завдання оптимізації перевезень в середньому формулюється так: знайти план $X = (x_{ij})$, що мінімізує середню сумарну вартість транспортування [3,15]

$$M[X] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M[c_{ij}] x_{ij}, \quad (1.10)$$

$$M[c_{ij}] = \int_0^{\infty} c_{ij} \varphi(c_{ij}) dc_{ij}, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n,$$

і задовольняє обмеженням (1.2) - (1.4).

Отримана задача є звичайною задачею лінійного програмування [14].

У задач другого типу мінімізується дисперсія випадкової сумарної вартості перевезень [3,15]

$$D[X] = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n D[c_{ij}] x_{ij}^2. \quad (1.11)$$

Виникає тут оптимізаційна задача є задачею квадратичного програмування.

Нарешті, в задачах третього типу, спочатку відшукується щільність розподілу $f(C, X)$ випадкової сумарної вартості L транспортування. Після цього формулюється задача відшукування плану X , що мінімізує ймовірність перевищення випадковою сумарною вартістю допустимого значення [3,15]

$$\underline{P}(L > C_{дон}) = P\left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \geq C_{дон}\right) = \int_{C_{дон}}^{\infty} f(C, X) dL, \quad (1.12)$$

і задовольняє (1.2) - (1.4).

Рівень складності одержуваної при цьому завдання істотно залежить від характеру щільності розподілу $\varphi_{ij}(c_{ij})$ і в багатьох випадках вимагає розробки спеціальних методів її рішення.

Запропонована структура процесу автоматизації підтримки прийняття рішень управління ресурсами ТЕП в умовах невизначеності наведено на рис. 1.1. [3,15]

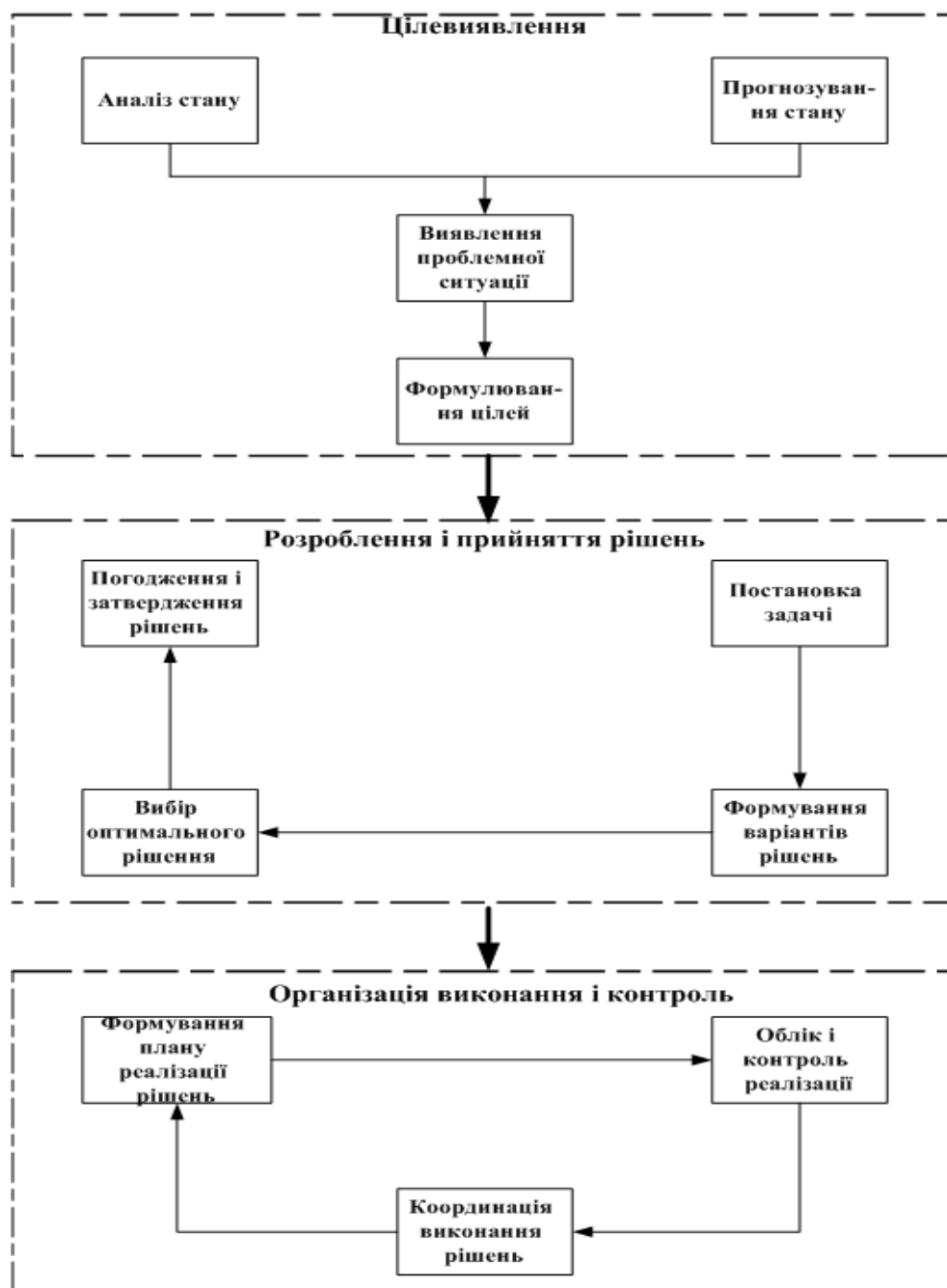


Рис. 1.1. Структура процесу автоматизації підтримки прийняття рішень управління ресурсами ТЕП в умовах невизначеності

Процес автоматизації підтримки прийняття рішень на всіх стадіях процесу управління ресурсами (матеріальними, трудовими, фінансовими) на ТЕП в себе наступні етапи, а саме [9, 10]:

- визначення цілі управління ресурсами ТЕП;
- розробку та прийняття рішень логістами;
- організація, виконання і контроль прийнятого рішення.

Порівняльний аналіз літературних джерел показав, що транспортні задачі діляться на два великих класи, а саме: стохастичні транспортні задачі [14] та транспортні задачі високої розмірності (по числу змінних) [15,16]

В свою, чергу стохастичні транспортні задачі [14]:

- транспортні задачі з випадковим попитом. Коректний облік випадкового характеру попиту заснований на інформаційній технології збору та обробки відповідних реальних даних, дозволяє отримати рішення, яке мінімізує сумарну вартість транспортування з урахуванням витрат на зберігання нереалізованої частини товару і втрат від дефіциту.

- мінімаксна транспортна задача з випадковим попитом. Реальний попит на товар - випадкова величина, щільність розподілу якої не завжди може бути оцінена точно через безперервної зміни ринкової ситуації по безлічі важко прогнозованих причин. У зв'язку з цим у багатьох конкретних ситуаціях традиційні технології інформаційного забезпечення задач оптимізації транспортувань не можуть бути реалізовані.

У цих випадках природною є постановка задачі оптимізації транспортувань для найгіршою з точки зору виникнення залишку, а також дефіциту товару щільності розподілу попиту [14].

Для відшукування згаданої щільності розподілу випадкової величини попиту доцільно застосувати математичний апарат лінійного програмування [14], при цьому завдання є мінімаксною.

- транспортна задача з випадковими вартостями перевезень. При вирішенні цієї задачі в якості критерію ефективності плану транспортувань доцільно вибрати ймовірність того, що сумарна вартість перевезення перевищить допустиму. Для реалізації цього підходу із залученням інформаційних технологій необхідно отримати щільність розподілу випадкової сумарної вартості перевезення. Подальше рішення призводить до специфічної задачі математичного програмування.

У всіх перерахованих задач під час обговорення можливих методів їх вирішення ніяк не береться до уваги можлива висока їх розмірність. Облік цієї обставини призводить до необхідності розгляду наступних завдань [2,3,15].

Транспортні задачі високої розмірності (по числу змінних) [15, 16]:

- багатоіндексні транспортні задачі. До числа таких задач відноситься стохастична транспортна задача з проміжними центрами. Природне бажання знизити сумарну вартість доставки товару від виробників (постачальників) до споживачів призводить до використання проміжних центрів (складів).

Детерміновані варіанти цього завдання добре вивчені [10,15]. Однак це завдання в стохастичній постановці не розглядалася. Принциповим тут є питання про вибір раціональної структури транспортної мережі (число і розташування проміжних центрів).

Як зазначалося вище, інші можливі причини виникнення багатоіндексності пов'язані з відмінностями у вартості перевезень товарів різного виду і з використанням транспортних засобів різного типу.

- стохастична задача маршрутизації. Це завдання є однією з найбільш проблемних завдань транспортної логістики. Справа в тому, що відомі методи її

вирішення забезпечують отримання результату в прийнятний час тільки для задач невисокою розмірності (два-три десятка пунктів) [14, 15], в той час як в реальних задачах ця розмірність на порядок-півтора вище (наприклад, ТОВ «Веселий молочник» забезпечує поставку молокопродуктів в 1800 магазинів роздрібної торгівлі).

Для вирішення завдання маршрутизації такої розмірності потрібна розробка спеціальної методики. Складність завдання додатково зростає в зв'язку з необхідністю врахування випадкового попиту і вартостей перевезень. Основний напрямок досліджень - вивчення можливості використання генетичних алгоритмів [16].

Структуризація перерахованих завдань за характером вихідних даних (детерміновані або стохастичні), типу перевезень (від «багатьох до багатьох» або «від одного до багатьох»), розмірності (висока або дуже висока), а також методу їх вирішення і організації відповідної обчислювальної процедури призводить до необхідності розробки комплексу математичних моделей, методів та інформаційних технологій розв'язування задач транспортної логістики високої розмірності в умовах невизначеності вихідних даних.

1.4. Порівняльний аналіз методів дослідження САУ ресурсами ТЕП в умовах невизначеності

Вибір структури транспортної мережі з сепарабельном проміжними центрами. Завдання транспортної логістики з проміжними центрами (складами), по-видимому, вперше була сформульована в [19] як засіб боротьби з високою розмірністю задачі і ефективний спосіб зниження загальних транспортних витрат. Потім в [12] ця задача

була заново поставлена і вирішена як багатоіндексна завдання лінійного програмування. В обох цих роботах завдання вирішується як транспортна, і в якості єдиного критерію використовувалися сумарні транспортні витрати. При цьому передбачалося, що число проміжних складів і їх розташування задані. Це припущення було знято в [13], де була запропонована методика відшукування координат проміжних складів з урахуванням розташування споживачів і відмінностей в обсягах попиту.

Принциповий недолік цих розробок полягає в тому, що сформульоване завдання вирішувалася в детермінованою постановці. Разом з тим реальний стохастический характер попиту може істотно вплинути на результат.

У зв'язку з цим поставимо завдання вибору структури транспортної мережі з проміжними центрами в умовах стохастичного попиту [2,15].

Будемо вважати, що дана деяка обмежена область S , на множині точок якої з координатами (x, y) , визначена функція $h(x, y)$, що задає щільність розподілу споживачів в (x, y) . Для забезпечення споживачів є основна база, що володіє продуктом споживання в обсязі Q , що перевищує середній сумарний попит, то є

$$Q > \int_0^{\infty} \theta \varphi(\theta) \iint_S h(x, y) dx dy d\theta,$$

де $\varphi(\theta)$ - щільність розподілу випадкової величини попиту.

Передбачається, що сумарні витрати функціонування системи забезпечення споживачів продуктом можуть бути зменшені, якщо структура цієї системи буде включати деяке число проміжних центрів, кожен з яких буде забезпечувати потреби своєї подобласти. Таким чином, кожен проміжний центр орієнтований на своє певне безліч споживачів, які для різних проміжних центрів не перетинаються. Така структура системи проміжних центрів називається сепарабельном [7,15]. Поставимо задачу відшукування оптимальної кількості і місць розташування проміжних центрів,

а також рівня запасу реалізованого товару в них, що забезпечують мінімум сумарних втрат з урахуванням стохастичного характеру попиту [4,15].

Майданий об'єкт S впишемо в прямокутник S_0 , який розбивається на сукупність елементів - квадратів зі стороною l . При цьому, якщо сторони прямокутника мають довжини a і b , кратні l , то число елементарних квадратів

$$N = \frac{ab}{l^2}. \text{ Перенумеруем ці квадрати, присвоївши кожному свій номер } (i, j),$$

$$i = 1, 2, \dots, n_y, \quad j = 1, 2, \dots, n_x, \quad n_y = \frac{a}{l}, \quad n_x = \frac{b}{l}.$$

Будемо вважати далі, що попит на товар для кожного споживача - випадкове число з математичним очікуванням m і дисперсією σ^2 , тобто [3,15]

$$m = \int_0^{\infty} \theta \varphi(\theta) d\theta, \quad \sigma^2 = \int_0^{\infty} (\theta - m)^2 \varphi(\theta) d\theta.$$

Тоді середній сумарний попит і його дисперсія для споживачів, що проживають в елементарному квадраті (i, j) , визначаються співвідношеннями [3,15]

$$M_{(i,j)} = m \int_{(i-1)l}^{il} \int_{(j-1)l}^{jl} h(x, y) dx dy,$$

$$D_{(i,j)} = \sigma^2 \int_{(i-1)l}^{il} \int_{(j-1)l}^{jl} h(x, y) dx dy.$$

У зв'язку з тим, що число споживачів в кожному елементарному квадраті велике, природно, використовуючи центральну граничну теорему, вважати, що закон розподілу випадкової величини сумарного попиту для квадрата (i, j) є

нормальним з параметрами, обумовленими (1.1), (1.2) . Тепер зручно ввести одноіндексну нумерацію квадратів від 1 до N наступним чином [3,15]

$$q(i, j) = (i-1)n_x + j, i = 1, 2, \dots, n_y, j = 1, 2, \dots, n_x.$$

Тоді щільність розподілу сумарного попиту θ_q для q-го квадрата має вигляд

$$\varphi(\theta_q) = \frac{1}{\sqrt{2\pi D_q^2}} \exp\left\{-\frac{(\theta_q - m_q)^2}{2D_q}\right\}, q = 1, 2, \dots, N.$$

Нехай число проміжних складів задано і дорівнює k. Введемо деякий розподіл товару між проміжними складами $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$, так щоб

$$\sum_{k=1}^K z_k = Q,$$

$$z_k \geq 0, k = 1, 2, \dots, K.$$

Задамо тепер декартові координати проміжних складів $(x_1^{(c)}, y_1^{(c)}), (x_2^{(c)}, y_2^{(c)}), \dots, (x_K^{(c)}, y_K^{(c)})$ і, крім того, розрахуємо координати центрів елементарних квадратів за формулами [2, 6,15]

$$y_q^{(0)} = \text{Int}\left[\frac{q}{n_x}\right]l + \frac{l}{2},$$

$$x_q^{(0)} = \left[q - \text{Int}\left[\frac{q}{n_x}\right]n_x - 1 \right]l + \frac{l}{2}, q = 1, 2, \dots, N.$$

При цьому q-й елементарний квадрат входить в область тяжіння k-го складу, якщо виконується співвідношення [2, 6,15]

$$\min_y \left[(x_q^{(0)} - x_y^{(c)})^2 + (y_q^{(0)} - y_y^{(c)})^2 \right] = (x_q^{(0)} - x_k^{(c)})^2 + (y_q^{(0)} - y_k^{(c)})^2.$$

Індикатори $r_{k,q}$ задовольняють обмеженням

$$\sum_{k=1}^K r_{kq} = 1, \quad q = 1, 2, \dots, N.$$

Тоді щільність розподілу сумарного попиту для k -го проміжного складу має вигляд [2, 6,15]

$$\varphi(\theta_{\Sigma}^{(k)}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_{\Sigma,k}} \exp\left\{-\frac{(\theta_{\Sigma}^{(k)} - m_{\Sigma,k})^2}{2\sigma_{\Sigma,k}^2}\right\},$$

Де

$$m_{\Sigma,k} = \sum_{q=1}^N m_q r_{kq}, \quad \sigma_{\Sigma,k}^2 = \sum_{q=1}^N G_q r_{kq}.$$

Розглянемо тепер сумарні витрати, пов'язані з вибором розподілу запасу товару $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$, розташуванням проміжних складів $(x_k^{(c)}, y_k^{(c)})$, $k = 1, 2, \dots, r$, і розподілом споживачів по областях тяжіння $\{r_{k,q}\}$.

Середні сумарні транспортні витрати визначаються виразом [2, 6,15]

$$R_{mp} = \sum_{k=1}^r R_{0k} Z_k + \sum_{k=1}^r \sum_{q=1}^N R_{kq} m_q r_{kq},$$

де R_{0k} - середня вартість транспортування одиниці товару від основного складу до k -го проміжного; R_{kq} - середня вартість транспортування одиниці товару від k -го проміжного складу до центру реалізації товару в q -ом квадраті.

Середні сумарні витрати на зберігання незатребуваною частини товару в проміжних складах рівні [2, 6,15]

$$R_{xp} = \sum_{k=1}^r \alpha_k \int_0^{\infty} (z_k - \theta_{\Sigma}^{(k)}) \varphi_k(\theta_{\Sigma}^{(k)}) d\theta_{\Sigma}^{(k)},$$

де α_k - плата за зберігання нереалізованої частини товару в k -м проміжному складі.

Середні сумарні втрати в зв'язку з дефіцитом товару рівні [2, 6,15]

$$R_{def} = \sum_{k=1}^r (\beta_k - C) \int_{x_k}^{\infty} (\theta_{\Sigma}^{(k)} - z_k) \varphi_k(\theta_{\Sigma}^{(k)}) d\theta_{\Sigma}^{(k)},$$

де β - вартість товару при продажу; C - закупівельна вартість товару.

Тоді загальні середні витрати дорівнюють [3, 6,15]

$$\begin{aligned} R_{\Sigma}((z_k), (x_k^{(l)}, y_k^{(l)}), (r_{kq})) &= R_{mp} + R_{xp} + R_{def} = \\ &= \sum_{k=1}^r \left\{ R_{ok}(x_k^{(l)}, y_k^{(l)}) z_k + \sum_{q=1}^N R_{kq}(x_k^{(l)}, y_k^{(l)}) m_k r_{kq} + \right. \\ &+ \alpha_k \int_0^{z_k} (z_k - \theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq})) \varphi(\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq})) d\theta_{\Sigma}^{(k)} + \\ &\left. + (\beta - C) \int_{x_k}^{\infty} (\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq}) - z_k) \varphi(\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq})) d\theta_{\Sigma}^{(k)} \right\}. \end{aligned}$$

Тепер вихідна завдання відшукування раціонального розміщення проміжних складів для заданого числа постачальників зведена до відшукування наборів $Z = (z_k), (x_k^{(l)}, y_k^{(l)}), (r_{kq})$, мінімізують (1.5) і задовольняють обмеженням (1.3), (1.4).

Безпосереднє рішення цього завдання є практично нездійсненним, так як чисельне значення критерію (1.5) визначається ($N_1 = 3r + n$) великим числом одноіндексних змінних і дуже великим числом ($N_1 = mnr$) трьохіндексних. До того ж, набір трьохіндексних змінних відшукується в результаті рішення тріпланарної транспортної задачі, параметри якої залежать від значень одноіндексних змінних [2,

6,15]. Природна ієрархія змінних, що виникає внаслідок цього, конструктивно використана в роботі шляхом декомпозиції вихідної задачі.

У зв'язку з цим пропонується наступна ітераційна процедура, кожна ітерація якої складається з декількох етапів.

Перший етап. Задаємо число проміжних центрів K і рівномірно розподіляємо вихідний обсяг продукту між ними [2, 6,15]

$$Z_k = \frac{Q}{K}, \quad k = 1, 2, \dots, K.$$

Другий етап. Шукаємо початкове розташування проміжних центрів в межах області S таким чином, щоб мінімальна відстань між ними було максимальною.

Третій етап. Для отриманого розташування проміжних центрів вирішуємо завдання кластеризації, використовуючи наступну процедуру. Для кожної пари (k -й проміжний центр - q -й центр реалізації товару в елементарному квадраті) обчислюється потенційна функція [15, 16, 17, 22]

$$W_{kq} = \frac{Z_k m_q}{R_{kq}^2}.$$

далі відшукується

$$(k_0, q_0) = \arg \max W_{kq}. \quad (1.6)$$

Тепер q_0 -й елементарний квадрат приписується k_0 -му проміжного центру. Квадрат q_0 виключається з розгляду і процедура (1.6) повторюється.

Четвертий етап. За результатами рішення задачі кластеризації проводиться уточнення положення проміжних центрів. При цьому в кожному кластері нове розташування цього центру визначається центром тяжіння визначається кластером подобласти, координати якого розраховуються за формулами [15, 16, 17, 22]

$$X_k^{(c)} = \frac{\sum_{q=1}^N x_q m_q r_{kq}}{\sum_{q=1}^N m_q r_{kq}},$$

$$Y_k^{(c)} = \frac{\sum_{q=1}^N y_q m_q r_{kq}}{\sum_{q=1}^N m_q r_{kq}},$$

де (x_q, y_q) - координати центру реалізації товару в q-му квадраті.

П'ятий етап. Результати рішення задач третього і четвертого етапів задають розподіл елементарних квадратів по підобласті і положення проміжних центрів в них. На черговому етапі вирішується завдання мінімізації (1.5) по вектору змінних $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ з урахуванням обмежень (1.3). Розмірність цього завдання невелика і вона може бути вирішена будь-яким методом нульового порядку, наприклад, методом Нелдера-Міда. Перша ітерація завершена [15, 16, 17, 22].

Друга і наступні ітерації починаються з виконання третього етапу, з урахуванням знайденого на попередній ітерації розташування проміжних центрів і розподілу заданого обсягу продукту Q між ними. Процедура завершується, якщо результати двох сусідніх ітерацій збігаються. При цьому поставлена задача для заданого числа проміжних центрів вирішена. Далі описана технологія розв'язання задачі повторюється для нового числа проміжних центрів, перебір по яким забезпечує вичерпне рішення задачі [15, 16, 17, 22].

Таким чином, отримані методика і відповідна обчислювальна процедура вирішення задачі відшукання раціональної структури транспортної мережі з проміжними центрами з урахуванням стохастичності попиту.

Тепер кожен проміжний центр використовується як джерело розподілу продукту між споживачами, що входять в область тяжіння цього центру.

РОЗДІЛ 2

МЕТОД АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

2.1. Транспортна задача з стохастичним попитом

Транспортна задача лінійного програмування в традиційній постановці формулюється наступним чином [15, 16,]. Є m постачальників однорідного продукту і n споживачів цього продукту.

Відомі вектор $A = (a_1 \ a_2 \ \dots \ a_i \ \dots \ a_m)$, компоненти якого фіксують можливості постачальників, вектор $B = (b_1 \ b_2 \ \dots \ b_j \ \dots \ b_n)$, компоненти якого визначають отримані з використанням інформаційних технологій оцінки потреб споживачів, а також матриця $C = (c_{ij})$, яка визначає вартості доставки одиниці продукту від постачальників до споживачів. Необхідно знайти матрицю $X = (x_{ij})$, що задає план перевезень продукту від постачальників до споживачів, що мінімізувала сумарну вартість перевезень [15, 16, 17, 22]

$$L_1(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij} \quad (2.1)$$

І задовольняючи обмеження

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

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

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.4)$$

Шляхом додавання фіктивних змінних ця задача зводиться до канонічної, в якій нерівності (2.2), (2.3) перетворюються в рівності [1, 2]. Методи вирішення цього завдання добре відомі і реалізовані в широко застосовуваних математичних пакетах (MathCAD, MS Excel та ін.) [15, 22]

Слід зазначити, що в умовах ринкової економіки наведена постановка транспортної задачі не може бути визнана реалістичною, оскільки параметри завдання, як вказувалося, не є детермінованими величинами. На практиці випадковими є можливості постачальників, потреби споживачів (попит на продукт), а також вартості перевезень. Зрозуміло, що в цих умовах рішення задачі, що отримується з використанням визначених при обробці реальних даних усереднених оцінок параметрів завдання, у багатьох випадках практичного інтересу не представляє. З іншого боку, постановка в якості параметрів завдання їх випадкових значень робить результат рішення задачі випадковим, що також неприйнятно [15, 22].

Методи вирішення таких завдань об'єднані в специфічний підклас загальних методів математичного програмування, що отримав назву стохастичне програмування [4-7]. Технологія рішення задач стохастичного програмування полягає в побудові для кожної з них відповідного детермінованого аналога з використанням надалі стандартних методів математичного програмування. При цьому в якості цільової функції в таких завданнях зазвичай застосовують математичне очікування або дисперсію деяких функцій від рішення, а також ймовірність попадання рішення в деяку область. Стосовно до транспортним завданням ця проблема розглядалася в [15]. Для вирішення завдань в цих роботах використовуються згадані вище підходи.

Нехай, наприклад, розглядається транспортна задача, в якій параметри $b_j, j = 1, 2, \dots, n$, що визначають попит споживачів продукту, – випадкові величини з відомими щільностями розподілу $\varphi_j(b_j), j = 1, 2, \dots, n$. При цьому в формулюванні завдання замість обмежень (2.3) виникають ймовірні обмеження виду [15, 22]

$$P\left\{\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq b_j\right\} \geq \gamma_j, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (2.5)$$

де, $\gamma_j, j=1,2,\dots,n$ - допустимі ймовірності виконання нерівностей (2.3) при реалізації плану $X = (x_{ij})$.

Для отримання детермінованого аналога імовірнісного обмеження (2.5) обчислюються значення \hat{b}_j з рівнянь [15, 22]

$$\int_{b_j}^{\infty} \varphi_j(b_j) db_j = \gamma_j, \quad j=1,2,\dots,n.$$

Тоді, очевидно, обмеження (2.5) еквівалентні умовам

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} \geq \hat{b}_j, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (2.6)$$

Таким чином, отримана транспортна задача (2.1), (2.2), (2.4), (2.6) в детермінованій постановці, яке вирішується звичайними методами.

Принциповий недолік описаної методики полягає в неврахування відмінностей в компонентах сумарних витрат, пов'язаних з реалізацією різних планів $X = (x_{ij})$ завдання, які визначаються набором значень b_j , [15, 22] $j=1,2,\dots,n$. Справа в тому, що цей набір впливає не тільки на величину і, відповідно, сумарну вартість перевезень, але і на рівень витрат на зберігання нереалізованого продукту, а також на величину «штрафу» при виникненні дефіциту. У зв'язку з цим виникає необхідність постановки і вирішення специфічної транспортної задачі, в якій обсяги споживання не задані і потребують визначення [15, 22].

Нехай, для конкретності, в задачі мова йде про перевезення будь-якого товару від виробників до магазинів для його реалізації, введемо наступні величини [12, 15]:

- $\varphi_j(\theta)$ - щільність розподілу випадкової величини попиту на товар в j -м пункті споживання;

- α_j - плата за зберігання одиниці нереалізованого товару в j -м пункті;

- β_j - вартість одиниці товару в j -м пункті при продажу;

- c_j - закупівельна ціна одиниці товару;

- z_j - обсяг замовлення товару для j -го пункту споживання, $j = 1, 2, \dots, n$.

Тоді, отжимаємо:

$$R_1(z_j) = \alpha_j \int_0^{z_j} (z_j - \theta) \tilde{\varphi}_j(\theta) d\theta - \text{середні витрати на зберігання нереалізованої}$$

частини товару в j -ом пункті,

$$R_2(z_j) = (\beta_j - c_j) \int_{z_j}^{\infty} (\theta - z_j) \tilde{\tilde{\varphi}}_j(\theta) d\theta - \text{середні втрати в зв'язку з дефіцитом товару}$$

в j -ом пункті [15, 22],

$$\tilde{\varphi}_j(\theta) = \frac{\varphi_j(\theta)}{\int_0^{z_j} \varphi_j(\theta) d\theta},$$

$$\tilde{\tilde{\varphi}}_j(\theta) = \frac{\varphi_j(\theta)}{\int_{z_j}^{\infty} \varphi_j(\theta) d\theta}$$

Вектор $\underline{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, визначає значення обсягів поставок товару до споживачів, разом з вектором $A = (a_1, a_2, \dots, a_m)$ і матрицею вартостей $C = (c_{ij})$ задають транспортну задачу виду (2.1) - (2.4), рішення якої визначає план перевезень $X(\underline{Z}) = \{x_{ij}(\underline{Z})\}$ залежить від \underline{Z} . Тоді цільова функція, що описує величину сумарних витрат, відповідних вектору \underline{Z} , матиме вигляд [12, 15]:

$$L_2(X(\underline{Z})) = \sum_{j=1}^n [(R_1(z_j) + R_2(z_j))] + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(z_j).$$

З огляду на це, вихідна задача перетвориться до виду: знайти план перевезень

$$X^* = \arg \min_{\underline{Z}} \min_{\underline{X}(\underline{Z})} L_2(X(\underline{Z})) =$$

$$= \arg \min_{\underline{Z}} \min_{\underline{X}(\underline{Z})} \left[\sum_{j=1}^n \left(R_1(z_j) \int_0^{z_j} \varphi_j(\theta) d\theta + R_2(z_j) \int_{z_j}^{\infty} \varphi_j(\theta) d\theta \right) + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(z_j) \right],$$

задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n x_{ij}(Z) \leq a_i, \quad i=1,2,\dots,m, \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij}(Z) = z_j, \quad j=1,2,\dots,n, \quad (2.9)$$

$$\sum_{j=1}^n z_j = \sum_{i=1}^m a_i = A, \quad (2.10)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i=1,2,\dots,m, \quad j=1,2,\dots,n. \quad (2.11)$$

В окремому випадку, коли продається швидкопсувний товар, який потребує дотримання спеціальних умов при зберіганні, типова щільність розподілу випадкової величини попиту має вид [4]:

$$\varphi_j(\theta) = \frac{\theta}{\sigma_j^2} \exp\left\{-\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2}\right\} \quad j=1,2,\dots,n.$$

Перетворимо вираз для цільової функції $L_2(X(Z))$ з урахуванням щільності розподілу випадкової величини попиту.

Обчислимо $R_1(z_j)$ і $R_2(z_j)$ тоді маємо [6, 15, 22]:

$$\begin{aligned} R_1(z_j) &= \alpha_j \int_0^{z_j} (z_j - \theta) \frac{\varphi_j(\theta)}{\int_0^{z_j} \varphi_j(\theta) d\theta} d\theta = \frac{\alpha_j}{\int_0^{z_j} \varphi_j(\theta) d\theta} \int_0^{z_j} (z_j - \theta) \frac{\theta}{\sigma_j^2} \exp\left\{-\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2}\right\} d\theta = \\ &= \frac{(\beta_j - c_j) \sqrt{2\pi} \sigma_j}{\int_{z_j}^{\infty} \varphi_j(\theta) d\theta} \left(\frac{1}{2} - \frac{1}{\sqrt{2\pi} \sigma_j} \int_{z_j}^{\infty} \exp\left\{-\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2}\right\} d\theta \right) = \frac{1}{2} \frac{(\beta_j - c_j) \sqrt{2\pi} \sigma_j}{\int_{z_j}^{\infty} \varphi_j(\theta) d\theta} - \\ &- \frac{\beta_j - c_j}{\int_{z_j}^{\infty} \varphi_j(\theta) d\theta} \int_0^{z_j} \exp\left\{-\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2}\right\} d\theta. \end{aligned}$$

Підставляючи вирази для $R_1(z_j)$ і $R_2(z_j)$ в (2.7), отримаємо [6, 15, 22]

$$\begin{aligned}
X^* &= \arg \min_{\underline{Z}} \min_{\underline{X}(\underline{Z})} \left[\sum_{j=1}^n \left[\alpha_j z_j - \alpha_j \int_0^{z_j} \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2} \right\} d\theta + \frac{1}{2} (\beta_j - c_j) \sqrt{2\pi} \sigma_j - \right. \right. \\
&\quad \left. \left. - (\beta_j - c_j) \int_0^{z_j} \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2} \right\} d\theta \right] + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(z_j) \right] = \\
&= \arg \min_{\underline{Z}} \min_{\underline{X}(\underline{Z})} \left[\sum_{j=1}^n \left[\left(\alpha_j z_j + \frac{1}{2} (\beta_j - c_j) \sqrt{2\pi} \sigma_j \right) - (\alpha_j + \beta_j - c_j) \int_0^{z_j} \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2} \right\} d\theta \right] + \right. \\
&\quad \left. + \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(z_j) \right]. \tag{2.12}
\end{aligned}$$

Для вирішення отриманої завдання пропонується використовувати двоетапну ітераційну процедуру. На першому етапі кожної ітерації вирішується координує завдання визначення сукупності наборів $\underline{Z} = (z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n)$ [6, 15, 22].

На другому етапі ітерації вирішується відповідна сукупність звичайних транспортних завдань, в яких вектори значень параметрів споживання \underline{Z} задаються рішенням координуючої завдання. За результатами вирішення цих завдань для кожної з них здійснюється розрахунок критерію $L_2(X(\underline{Z}))$.

Для побудови загальної процедури вирішення завдання може бути використаний метод Нелдера-Міда [4, 5] відшукування вектору \underline{Z} з алгоритмічно заданою цільовою функцією $L_2(X(\underline{Z}))$.

Обчислювальна процедура розраховується за наступним алгоритмом.

Попередньо для кожного із споживачів розраховуються оцінки мінімального $b_{j \min}$ і максимального $b_{j \max}$ значень попиту шляхом вирішення рівнянь [6, 15, 22]

$$\int_0^{b_{j \min}} \frac{\theta}{\sigma_j^2} \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2} \right\} d\theta = \alpha, \quad j = 1, 2, \dots, n, \tag{2.13}$$

$$\int_{b_{j \max}}^{\infty} \frac{\theta}{\sigma_j^2} \exp \left\{ -\frac{\theta^2}{2\sigma_j^2} \right\} d\theta = \alpha, \quad j = 1, 2, \dots, n, \tag{2.14}$$

де α - деяка досить мала ймовірність (наприклад, $\alpha = 0,05$).

В результаті вирішення цих рівнянь отримаємо [6, 15, 22]

$$b_{j \min} = \sigma_j (-2 \ln(1 - \alpha))^{\frac{1}{2}}, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$b_{j \max} = \sigma_j (-2 \ln \alpha)^{\frac{1}{2}}, \quad j = 1, 2, \dots, n$$

Будемо вважати, що компоненти вектору $\underline{Z} = (z_1 \ z_2 \ \dots \ z_n)$ повинні задовольняти обмеженням [6, 15, 22]

$$b_{j \min} \leq z \leq b_{j \max}, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.15)$$

Тепер, на першій ітерації задамо вихідну сукупність векторів $\underline{Z}_1^{(1)}, \underline{Z}_2^{(1)}, \dots, \underline{Z}_{n+1}^{(1)}$, яка формує симплекс з $(n + 1)$ -й вершинами в n вимірному просторі (z_1, z_2, \dots, z_n) з координатами вершин, які визначаються матрицею [6, 15, 22]

$$D = \begin{pmatrix} b_1^{(0)} & b_1^{(0)} + d_1 & b_1^{(0)} + d_2 & \dots & b_1^{(0)} + d_n \\ b_2^{(0)} & b_2^{(0)} + d_1 & b_2^{(0)} + d_2 & \dots & b_2^{(0)} + d_n \\ b_3^{(0)} & b_3^{(0)} + d_1 & b_3^{(0)} + d_2 & \dots & b_3^{(0)} + d_n \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ b_n^{(0)} & b_n^{(0)} + d_1 & b_n^{(0)} + d_2 & \dots & b_n^{(0)} + d_n \end{pmatrix}, \quad (2.16)$$

$$b_j^{(0)} = \frac{1}{2}(b_{j \min} + b_{j \max}), \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.17)$$

$$d_1 = \frac{n-1}{n} \min_j \{b_{j \max} - b_{j \min}\}, \quad (2.18)$$

$$d_2 = -\frac{1}{n} \min_j \{b_{j \max} - b_{j \min}\}. \quad (2.19)$$

Тут k -й стовпець матриці D задає координати вектору $\underline{Z}_k^{(1)}$. При цьому, як легко перевірити, співвідношення (2.17), забезпечують виконання обмежень (2.15), для компонентів вектора $\underline{Z}_1^{(1)}$, а співвідношення (2.18), (2.19)

- для компонентів всіх інших векторів $\underline{Z}_2^{(1)}, \underline{Z}_3^{(1)}, \dots, \underline{Z}_{n+1}^{(1)}$. Далі, послідовно задаючи компоненти векторів $\underline{Z}_1^{(1)}, \underline{Z}_2^{(1)}, \dots, \underline{Z}_{n+1}^{(1)}$ в якості правих частин обмежень (2.9), отримаємо $(n+1)$ транспортних завдань з цільовою функцією [10, 12, 15]

$$L(X(\underline{Z})) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}(z)$$

і обмеженнями (2.8) - (2.11).

Сукупність рішень цих завдань визначає набір значень цільової функції на цих векторах: $L(X(\underline{Z}_1^{(1)})), L(X(\underline{Z}_2^{(1)})), \dots, L(X(\underline{Z}_{n+1}^{(1)}))$.

Подальша обчислювальна процедура організується відповідно до стандартної технологією методу Нелдера-Міда. Вершини симплекса упорядковуються в порядку зростання значення цільової функції і перенумеровуються. Потім здійснюється відображення «найгіршою» точки відносно центра ваги багатогранника, що виходить в результаті видалення «найгіршою» вершини. Координати нової точки розраховуються за формулою [10, 12, 15]

$$\underline{U} = \underline{C} + \alpha(\underline{C} - \underline{Z}_{n+1}), \quad (2.20)$$

$$\underline{C} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n \underline{Z}_k. \quad (2.21)$$

Обчислюється значення цільової функції в цій точці шляхом вирішення транспортної задачі (2.7) - (2.11), в якій потреби магазинів визначаються вектором \underline{U} . Потім здійснюється порівняння отриманого значення цільової функції з її значеннями в вершинах $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \dots, \underline{Z}_{n+1}$. За результатами порівняння виконується одна з наступних операцій [10, 12, 15].

Якщо, $f(\underline{U}) \leq f(\underline{Z}_1)$ то виконується операція розтягування. При цьому обчислюється нова точка [10, 12, 15]

$$\underline{V} = \underline{C} + \gamma(\underline{C} - \underline{Z}_{n+1}). \quad (2.22)$$

Якщо, $f(\underline{Z}_1) \leq f(\underline{U}) \leq f(\underline{Z}_n)$ то реалізується операція відображення.

Якщо, $f(\underline{Z}_n) \leq f(\underline{U}) \leq f(\underline{Z}_{n+1})$ то виконується операція стиснення і обчислюється нова точка

$$\underline{W} = \underline{C} + \beta(\underline{C} - \underline{Z}_{n+1}). \quad (2.23)$$

У всіх випадках нові точки $\underline{U}, \underline{V}$ або \underline{W} замінюють «найгіршу» точку \underline{Z}_{n+1} .

Нарешті, якщо $f(\underline{Z}_{n+1}) \leq f(\underline{U})$, то реалізується редукція симплекса. При цьому всі точки підтягуються до найкращої вершини [10, 12, 15]:

$$\tilde{\underline{Z}}_j = \frac{1}{2}(\underline{Z}_1 + \underline{Z}_j), \quad j = 2, 3, \dots, n+1. \quad (2.24)$$

В отриманих нових точках обчислюються значення цільової функції шляхом вирішення відповідних транспортних задач, після чого процедура Нелдера-Міда може бути продовжена.

Відповідно до викладеного блок-схема обчислювальної процедури вирішення транспортної задачі має вигляд, представлений на рис. 2.1.

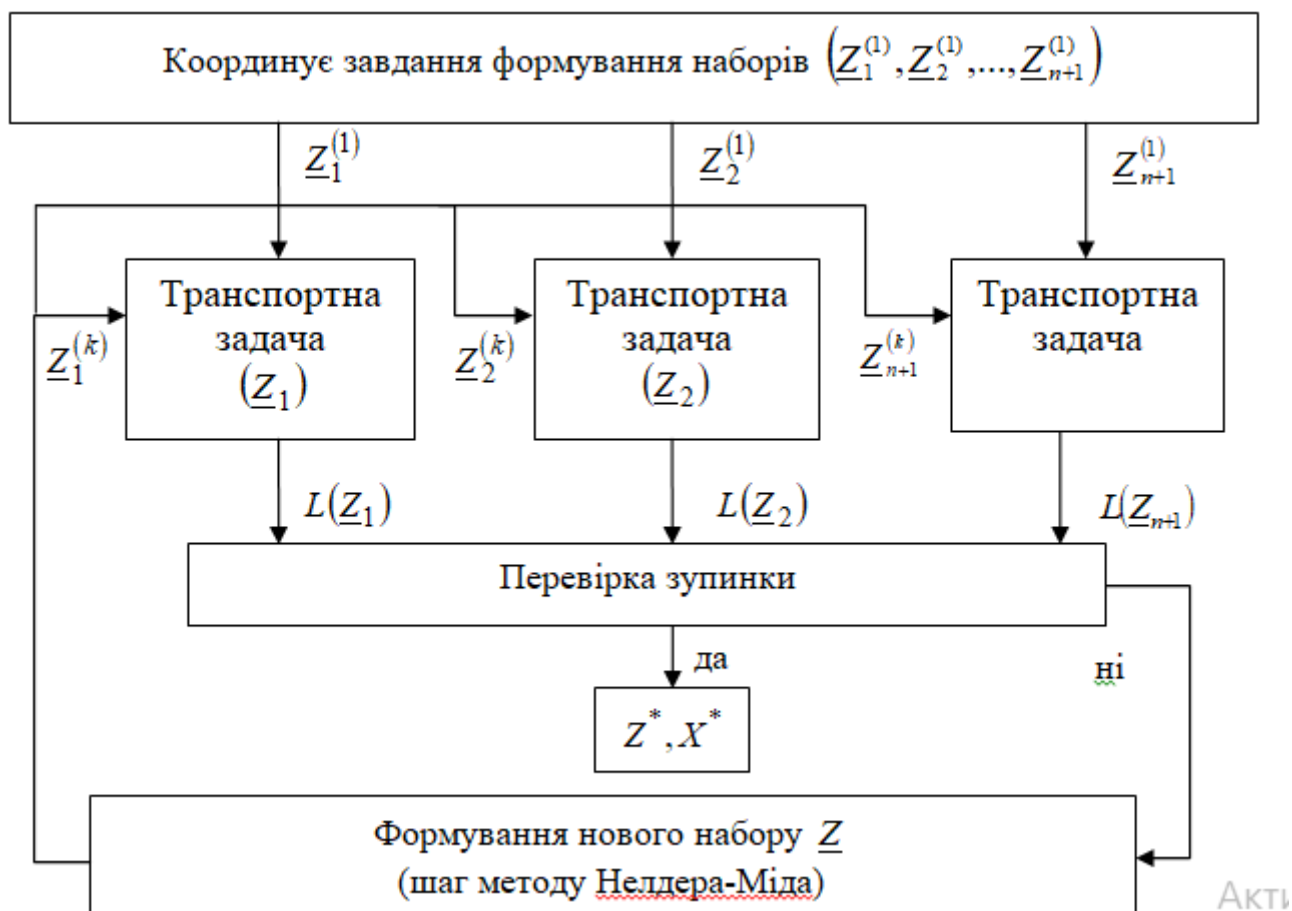


Рис. 2.1. Блок-схема рішення транспортної задачі (2.2) – (2.4), (2.7)

Описана обчислювальна процедура буде коректною, якщо все нові точки, одержувані при її реалізації, будуть належати тій же площини, в якій знаходяться точки вихідного вектору $\underline{Z}_1, \underline{Z}_2, \dots, \underline{Z}_{n+1}$.

Таким чином, [10, 12, 15] розглянутій метод вирішення транспортної задачі, в якій попит на товар є випадковою величиною з відомою щільністю розподілу. При цьому показано, що запропонована ітераційна процедура, яка реалізує метод Нелдера-Міда для алгоритмічно заданою цільовою функції, значення якої є рішеннями відповідних транспортних задач, забезпечує отримання оптимального плану перевезень. Цей план перевезень мінімізує сумарну вартість доставки товару з урахуванням витрат на зберігання нереалізованої частини товару і втрат від його дефіциту.

2.2. Розподіл основних функцій між САУ та диспетчером ТЕП

Жорстке закріплення проміжних центрів за споживачами обмежує ефективність системи доставок товарів від постачальників до споживачів. У зв'язку з цим розглянемо задачу організації поставок товарів для загального випадку, коли таке закріплення знято.

Введемо наступні позначення [10, 12, 15]:

$i \in I = \{1, 2, \dots, m\}$ - номери постачальників;

$k \in K = \{1, 2, \dots, r\}$ - номери проміжних центрів;

$j \in J = \{1, 2, \dots, n\}$ - номери споживачів;

c_{ik}, x_{ik} - вартість транспортування одиниці вантажу і планований обсяг перевезення від і-го постачальника в к-й центр накопичення;

c'_{kj}, x_{kj} - вартість транспортування одиниці вантажу і планований обсяг перевезення від к-го проміжного центру до j-му споживачеві;

a_i - загальний обсяг продукції, призначений для перевезення від i -го постачальника;

d_k - ємність k -го проміжного центру;

b_j - попит продукції j -м споживачем.

У прийнятих позначеннях задача формулюється наступним чином:

знайти набір $\{x_{ik}, x_{kj}\}$, що мінімізує

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r c_{ik} x_{ik} + \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n c'_{kj} x_{kj} \quad (2.7)$$

і задовольняє обмеженням [10, 12, 15]

$$\sum_{k=1}^r x_{ik} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.8)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = \sum_{j=1}^n x_{kj} \leq d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad (2.9)$$

$$\sum_{k=1}^r x_{kj} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.10)$$

$$x_{ik} \geq 0, \quad x_{kj} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, r. \quad (2.11)$$

Функція $L(X)$ визначає загальні транспортні витрати. Виконання умов (2.8), (2.10) забезпечує вивезення усієї виробленої продукції, відсутність накопичення запасів в проміжних центрах і повне задоволення попиту споживачів. Умови (2.9) задають обмеження на ємність проміжних центрів [10, 12, 15].

Умови (2.9) є структурно-утворюють, так як якщо зняти обмеження на ємність проміжних центрів, то проблема редукується до звичайної двухіндексної задачі з матрицею вартостей (c_{ij}) ,

$$c_{ij} = \min_k (c_{ik} + c_{kj}) \quad (2.12)$$

З іншого боку, якщо

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j = \sum_{k=1}^r d_k, \quad (2.13)$$

то вихідна задача розпадається на дві незалежні двухіндексні транспортні завдання:

знайти набір $\{x_{ik}\}$, мінімізує [10, 12, 15]

$$L_a(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r c_{ik} x_{ik} \quad (2.14)$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{k=1}^r x_{ik} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.15)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ik} = d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r; \quad (2.16)$$

знайти набір мінімізує

$$L_o(X) = \sum_{k=1}^r \sum_{j=1}^n c'_{kj} x_{kj} \quad (2.17)$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n x_{jk} = d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad (2.18)$$

$$\sum_{k=1}^r x_{jk} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.19)$$

$$x_{ik} \geq 0, \quad x_{kj} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (2.20)$$

Нарешті якщо

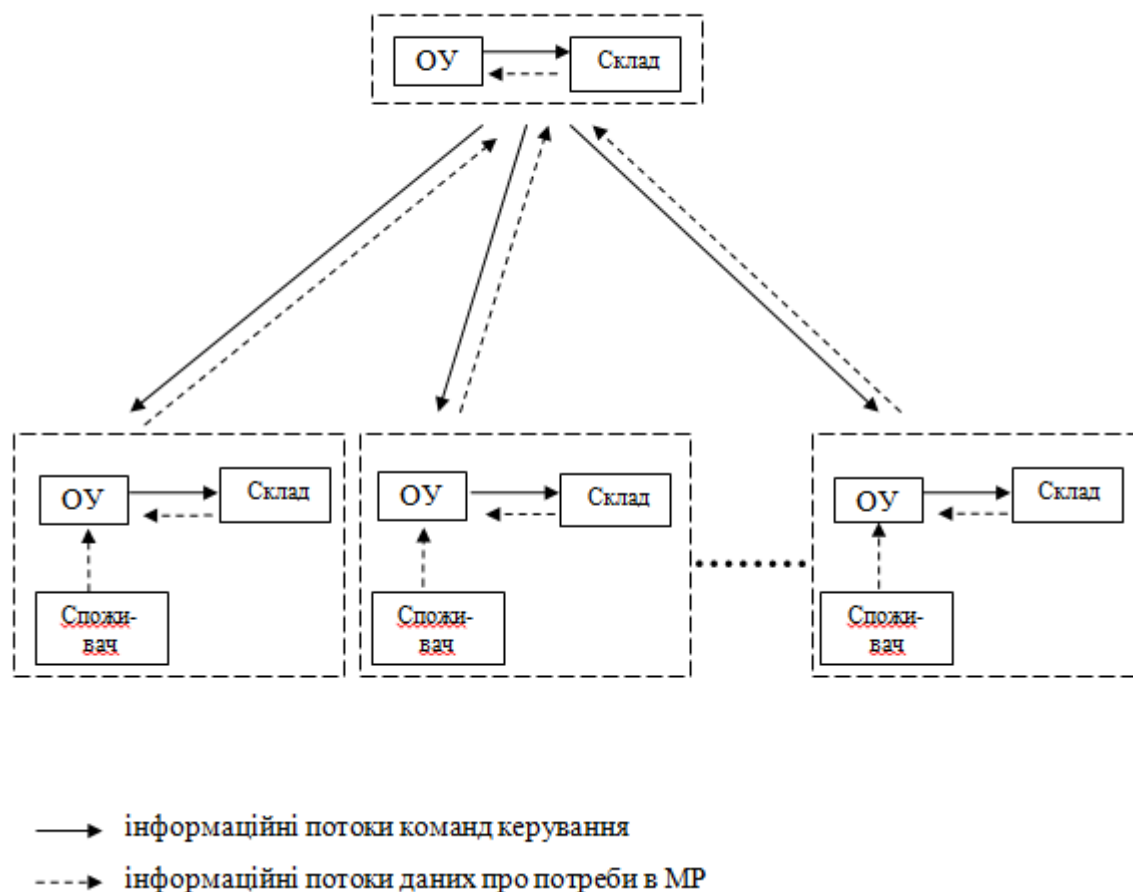
$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j \leq \sum_{k=1}^r d_k, \quad (2.21)$$

то задача (2.7) - (2.11), (2.21) зводиться до тріпланарної транспортної задачі.

Введемо позначення:

x_{ijk} - обсяг продукції, що транспортується від і-го постачальника до j-му споживачеві через k-й проміжний центр,

$c_{ijk} = c_{ik} + c_{kj}$ - вартість транспортування одиниці вантажу від і-го постачальника до j-му споживачеві через k-й проміжний центр.



А
Ч
р

Рис. 2.2. Структурна схема організації інформаційного обміну в підсистемі керування ресурсами ТЕП

2.3. Алгоритм автоматизації розміщення товарів на складі типового ТЕП

Зауважимо, що величина може враховувати також додаткові витрати на зберігання (обробку) або перевантаження продукції в проміжному центрі [10, 12, 15].

У цих позначеннях математична модель задачі має вигляд: знайти набір $X = (x_{ijk})$, мінімізує

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk} x_{ijk}$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r x_{ijk} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n,$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r,$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, r.$$

Отримана задача (2.2) - (2.6) містить систему обмежень (2.5) у формі нерівностей. Наведемо завдання (2.2) - (2.6) до канонічної форми [10, 12, 15].

Введемо фіктивні пункт виробництва і пункт споживання з номерами $m+1$ і $n+1$ відповідно. визначимо тепер [10, 12, 15]

$$a_{m+1} = \sum_{k=1}^r d_k - \sum_{i=1}^m a_i,$$

$$b_{n+1} = \sum_{k=1}^r d_k - \sum_{j=1}^n b_j,$$

$$d_{ijk} = \begin{cases} c_{ijk}, & \text{если } i \in I, j \in J, k \in K, \\ M, & \text{если } i \in I, j = n+1, k \in K, \\ M, & \text{если } i = m+1, j \in J, k \in K, \\ 0, & \text{если } i = m+1, j = n+1, k \in K, \end{cases}$$

де M - достатня велика кількість, наприклад,

$$M = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk} \max \left\{ \max_i a_i, \max_j b_j, \max_k d_k \right\}.$$

Тоді вихідна задача може бути записана наступним чином: знайти набір $Y = (y_{ijk})$, мінімізує [10, 12, 15]

$$L(Y) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r d_{ijk} y_{ijk}$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^{n+1} \sum_{k=1}^r y_{ijk} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m+1,$$

$$\sum_{i=1}^{m+1} \sum_{k=1}^r y_{ijk} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n+1,$$

$$\sum_{i=1}^{m+1} \sum_{j=1}^{n+1} y_{ijk} = d_k, \quad k = 1, 2, \dots, r,$$

$$y_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m+1, \quad j = 1, 2, \dots, n+1, \quad k = 1, 2, \dots, r, \quad ($$

Отримана задача є тріпланарної транспортної завданням лінійного програмування. Як показано в [23] для її вирішення може бути використаний узагальнений метод потенціалів. Процес рішення складається з попереднього етапу і кінцевого числа однотипних ітерацій, що становлять основний етап роботи алгоритму.

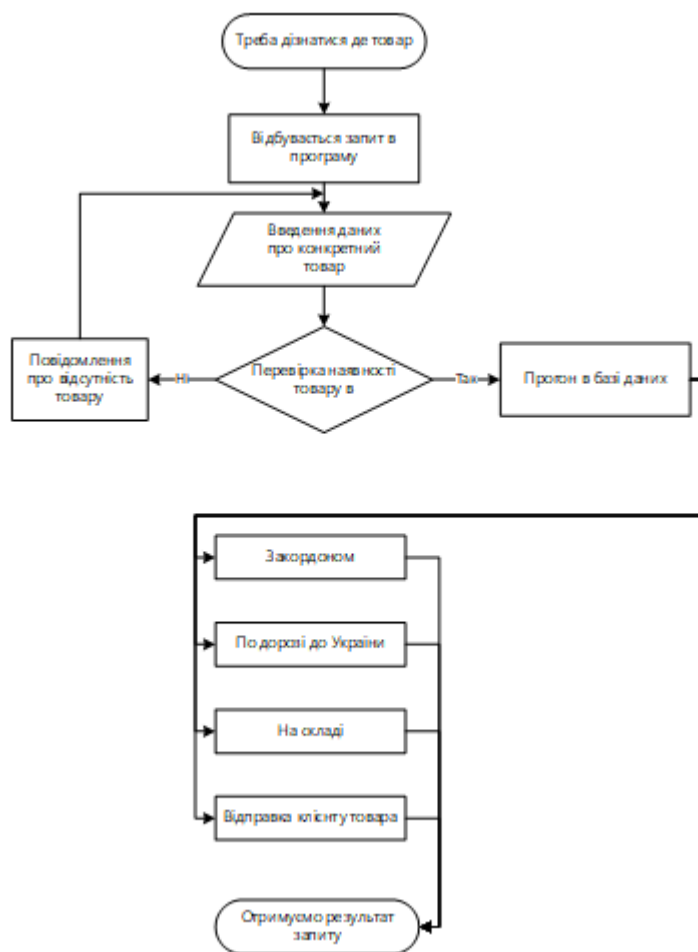


Рис. 2.3. Блок-схема алгоритму автоматизації процесу відслідковування переміщення товарів

На попередньому етапі визначається початковий опорний план. При цьому використовується один з відомих методів, наприклад, метод послідовного розподілу [23, 7]. Кожна ітерація основного етапу складається з двох кроків.

На першому кроці визначається оптимальність отриманого в попередній ітерації (або на попередньому етапі) опорного плану. Якщо він оптимальний, то процес рішення закінчується. В іншому випадку виконується другий крок ітерації, на якому отримують новий опорний план, більш близький до оптимального [10, 11, 15].

Слід зазначити, що трудомісткість обчислювальної процедури вирішення тріпланарних завдань методом потенціалів дуже швидко зростає зі збільшенням

розмірності задачі. Для реальних значень n , m , r число змінних в завданні має порядок 10^6 , а число обмежень - $(10^2 - 10^3)$. При цьому розмірність завдання, що визначається твором числа змінних на число обмежень, має порядок $10^8 - 10^9$. Отримати точне рішення таких задач в прийнятний час при використанні сучасної обчислювальної техніки не вдається. Ця обставина робить актуальною проблему побудови і використання простих і ефективних наближених методів вирішення таких завдань [15].

Інший важливий мотив, який ініціює розробку наближених методів вирішення сформульованої задачі, визначається тим, що параметри реальних завдань не точні, з одного боку, в результаті впливу випадкових факторів, а, з іншого, - через можливу неадекватність лінійної моделі (вартість транспортування, строго кажучи, не є лінійною функцією обсягу перевезення) [7].

Перший з рекомендованих для використання наближених методів добре відомий - метод мінімального елемента в перерізі. При цьому перетин може бути одновимірним (метод мінімального елемента в рядку, стовпці, колонці), двовимірним (метод мінімального елемента в горизонтальній, вертикальній, фронтальній площинах) або навіть тривимірним (метод мінімального елемента матриці) [8].

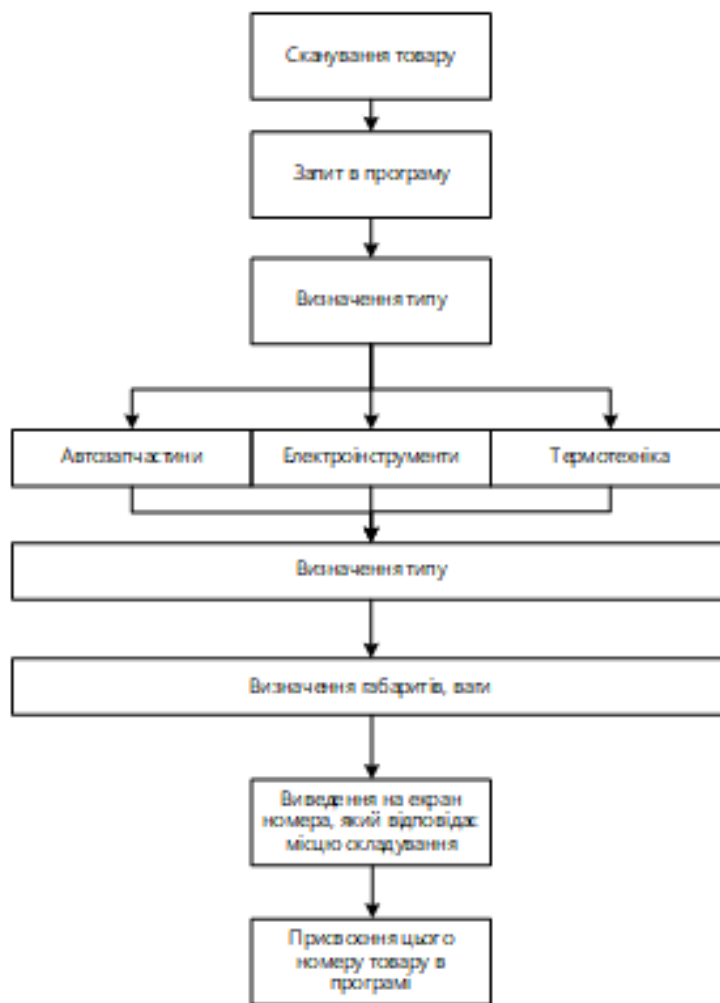


Рис. 2.4. Блок-схема алгоритму автоматичного визначення місця товару на складі
ТЕП

Багаторазові дослідження цього методу показують його ефективність, яка зростає із збільшенням розмірності задачі. Разом з тим, набагато більш ефективним є узагальнення методу нуль - перетворення [23].

Нуль-перетворенням цільової функції тріпланарної транспортної задачі будемо називати еквівалентну перетворення

$$c_{ijk}^{(0)} = c_{ijk} - (\alpha_i + \beta_j + \gamma_k) \quad (2.2)$$

Таке, що [10, 12, 15]

$$\min_{j,k} \{c_{ijk}^{(0)}\} = 0, i = 1, 2, \dots, m,$$

$$\min_{i,k} \{c_{ijk}^{(0)}\} = 0, j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.3)$$

$$\min_{i,j} \{c_{ijk}^{(0)}\} = 0, k = 1, 2, \dots, r.$$

Параметри нуль-перетворення можуть бути обрані не єдиним чином. Для визначеності будемо їх обчислювати за формулами [10, 12, 15]

$$\alpha_i = \min_{j,k} \{c_{ijk}\}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (2.4)$$

$$\beta_j = \min_{i,k} \{c_{ijk} - \alpha_i\}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (2.5)$$

$$\gamma_k = \min_{i,j} \{c_{ijk} - \alpha_i - \beta_j\}, \quad k = 1, 2, \dots, r. \quad (2.6)$$

Для оцінки ефективності наближених методів вирішення транспортної задачі використано тестової приклад, вирішене в [7].

Ефективність наближених методів розраховувалася за формулою

$$\eta = \frac{L - L_0}{L_0},$$

де L_0 - мінімальне значення цільової функції задачі, отримане точним методом; L - значення цільової функції, отримане наближеним методом.

Значення критерію η наведені в табл. 2.1.

Таблиця 2.1.

Результати порівняння ефективності наближених методів вирішення трехіндексних завдань

Метод	Значення цільової функції	η
1. Мінімальний елемент в одновимірному	1165	0,152

перетині		
2. Мінімальний елемент в двовимірному перетині	1144	0,131
3. Мінімальний елемент матриці	1106	0,093
4. Метод нуль-перетворення	1024	0,011
5. Точний метод потенціалів	1013	0

Як видно з таблиці, наближені методи рішення тріпланарних транспортних завдань мають досить високу ефективність. Це особливо стосується методу нуль-перетворення.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ УПРАВЛІННЯ РЕСУРСАМИ ТИПОВОГО ТРАНСПОРТНО-ЕКСПЕДИЦІЙНОГО ПІДПРИЄМСТВА В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

3.1. Автоматизація управління ресурсів ТЕП «Роберт Бош»

Стохастична транспортна задача з проміжними центрами. Як уже зазначалося, стохастичний варіант транспортної задачі з проміжними центрами виникає в результаті недетермінованості основних її параметрів (вартості транспортувань). Зрозуміло, що для її вирішення може бути використана запропонована в п. 2.1 ітераційна процедура, що зводить стохастичну завдання до послідовності детермінованих транспортних завдань [10, 12, 15].

Однак, в даному випадку цей підхід не є ефективним, так як навіть одноразове рішення трьохіндексної транспортної задачі пов'язане з обчислювальними труднощами. У зв'язку з цим поставимо завдання побудови стохастичних аналогів розглянутих вище наближених методів вирішення тріпланарних транспортних завдань [7, 12, 15].

Розглянемо стохастичну процедуру вирішення завдання методом мінімального елемента в перерізі. Незалежно від того, одновимірним, двовимірним або тривимірним є перетин, у всіх цих випадках рішення зводиться до послідовності відшукування мінімального елемента у відповідній матриці вартостей [11, 15].

Нехай задані щільності розподілу $\varphi(c_{ijk})$ випадкових величин c_{ijk} . Введемо N - безліч елементів матриці вартостей, серед яких потрібно знайти мінімальний. Безліч N може бути одновимірним (рядок, стовпець або колонка), двовимірним (горизонтальна, вертикальна або фронтальна матриця) або тривимірним (вся матриця C). Стохастичний аналог мінімального елемента з безлічі N знайдемо наступним чином. Перенумеруємо елементи безлічі N , ввівши $e \in \{1, 2, \dots, \hat{N}\}$, де \hat{N} - число елементів множини N . Для кожного елемента з N , використовуючи

відповідну щільність розподілу $\varphi(c_l)$, розрахуємо математичне сподівання відповідної випадкової величини [10, 12, 15]:

$$\bar{c}_l = \int_0^{\infty} c_l \varphi(c_l) dc_l, \quad l = 1, 2, \dots, \hat{N}. \quad (3.17)$$

Виберемо елемент c_l^* , для якого математичне сподівання (3.17) - мінімально, тобто [10, 12, 15]

$$c_l^* = \min_l \{\bar{c}_l\}.$$

Тепер для кожного елемента $l \in N$ обчислимо ймовірність того, що відповідна випадкова величина виявиться більше c_l^* :

$$P_l = \text{Вер}\{c_l > c_l^*\} = \int_0^{c_l^*} \varphi(c_l) dc_l, \quad l \in N. \quad (3.18)$$

Отриманий набір $\{P_l\}, l \in 1, 2, \dots, N$, надалі використовується для реалізації стандартної технології послідовного вибору мінімального елемента. При цьому конкретний елемент з набору $\{P_l\}$ тем «краще», ніж менше відповідне значення P_l . [3, 8, 15].

Побудова стохастичного аналога процедури нуль-перетворення виконується в два етапи. На першому етапі для кожного елемента матриці вартостей з використанням (3.17) обчислюються відповідні значення математичних очікувань. Далі отримана при цьому матриця піддається нуль-перетворенню за формулами (3.12) - (3.16). Подальші дії повторюють процедуру вирішення завдання методом мінімального елемента матриці [3, 8, 15].

Детермінована модель многопродуктової транспортної задачі формулюється наступним чином.

Введемо наступні позначення [3, 8, 15]:

a_{il} - обсяг продукції l -го виду, що вивозиться від i -го постачальника, $i = 1, 2, \dots, m, \quad l = 1, 2, \dots, p$;

b_{jl} - попит на продукцію l -го виду j -м споживачем, $j = 1, 2, \dots, n, \quad l = 1, 2, \dots, p$;

c_{ijl} - вартість транспортування одиниці продукції l -го виду від i -го постачальника до j -му споживачеві;

x_{ijl} - кількість продукції l -го виду, плановане для транспортування від i -го постачальника до j -му споживачеві, $i = 1, 2, \dots, m$, $j = 1, 2, \dots, n$, $l = 1, 2, \dots, p$.

Цільова функція задачі - сумарна вартість транспортування має вигляд [3, 8, 15]

$$L(x_{ijl}) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{l=1}^p c_{ijl} x_{ijl}. \quad (3.19)$$

У прийнятих позначеннях задача формулюється так: знайти набір $X = (x_{ijl})$ мінімізує (3.19) і задовольняє обмеженням [3, 8, 15]

$$\sum_{j=1}^n x_{ijl} = a_{il}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.20)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ijl} = b_{jl}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.21)$$

$$x_{ijl} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad l = 1, 2, \dots, p. \quad (3.22)$$

Отримана задача є трехіндексною біаксіальною транспортною. Необхідною і достатньою умовою існування рішення в цьому завданні є умова балансу [3, 8, 15]

$$\sum_{i=1}^m a_{il} = \sum_{j=1}^n b_{jl} = S_l, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.23)$$

де S_l - сумарна кількість продукту l -го виду, виробленого постачальниками, на який є попит у його споживачів.

Для вирішення завдання (3.19) - (3.23) досить, надаючи індексу послідовно значення $1, 2, \dots, p$, вирішити p двухіндексних транспортних завдань: знайти набір $X_l = \{x_{ij}\}_l$, мінімізує цільову функцію [3, 7]

$$L(X_l) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ijl} x_{ij} \quad (3.24)$$

і задовольняє обмеженням

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_{il}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.25)$$

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_{jl}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.26)$$

$$x_{ij} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n. \quad (3.27)$$

Оптимальний план задачі (3.19) - (3.23) складається з оптимальних планів завдань (3.24) - (3.27) наступним чином [3, 8, 15]

$$X = \{X_l\}, \quad l = 1, 2, \dots, p.$$

Зрозуміло, що в зв'язку з декомпозицією многопродуктової завдання до сукупності звичайних двухіндексних транспортних завдань, рішення стохастичного варіанти цього завдання може бути отримано з використанням технології, описаної в 2.1.

Принциповим недоліком описаної вище моделі (3.19) - (3.23) є неврахування тієї обставини, що для транспортування деяких видів продуктів потрібен спеціальний транспорт. У цьому випадку завдання стає чотирехіндексной [3, 8, 15].

Введемо позначення [9, 15]:

d_{kl} - обсяг продукції 1-го виду, яку можна перевозити розташовуються транспортними засобами k -го типу, $k = 1, 2, \dots, q$,

c_{ijkl} - вартість транспортування одиниці продукції 1-го виду від i -го постачальника до j -му споживачеві транспортними засобами k -го типу,

x_{ijkl} - кількість продукції 1-го виду, планованого для перевезення від i -го постачальника до j -му споживачеві транспортними засобами k -го типу.

У прийнятих позначеннях задача формулюється так: Знайти набір $X = (x_{ijkl})$, мінімізує сумарну вартість транспортування [3, 8, 15]

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q \sum_{l=1}^p c_{ijkl} x_{ijkl} \quad (3.28)$$

і задовольняє обмеженням [4, 8, 15]:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ijkl} = a_{il}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.29)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q x_{ijkl} = b_{jl}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.30)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijkl} = d_{kl}, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad l = 1, 2, \dots, p, \quad (3.31)$$

$$x_{ijkl} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad l = 1, 2, \dots, p. \quad (3.32)$$

Отримана задача є чотириіндексною тріпланарною транспортною завданням. Для вирішення цього завдання досить, надаючи індексу l послідовно значення $1, 2, \dots, p$, вирішити p тріпланарних транспортних завдань: знайти набір $X_l = \{x_{ijk}\}_l$, мінімізує цільову функцію [13]

$$L(X_l) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q c_{ijkl} x_{ijk} \quad (3.33)$$

і задовольняє обмеженням [13]:

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ijk} = a_{il}, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.34)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q x_{ijk} = b_{jl}, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.35)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} = d_{kl}, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (3.36)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (3.37)$$

Технологія рішення тріпланарних транспортних завдань описана вище в п. 3.1.2. Оптимальний план вихідної завдання (3.28) - (3.32) визначається рішеннями сукупності завдань (3.33) - (3.37) наступним чином

$$X = \{X_l\}, \quad l = 1, 2, \dots, p.$$

3.2. Структурна схема автоматизації процесу обміну інформаційними в ТЕП

У розглянутих вище транспортних задачах в якості цільової функції використовувалася сумарна вартість транспортування продукції від постачальників до споживачів. Ця цільова функція є лінійною формою змінних задачі. Разом з тим, на практиці часто виникають завдання, цільова функція яких не є адитивною. До такої ситуації, наприклад, призводить завдання оптимальної організації перевезень швидкопсувних продуктів, коли важливо мінімізувати максимальне з часів транспортувань. При цьому загальна вартість перевезення може використовуватися як додаткове обмеження. Сформулюємо одне із завдань, що призводять до такої моделі [3, 8, 15].

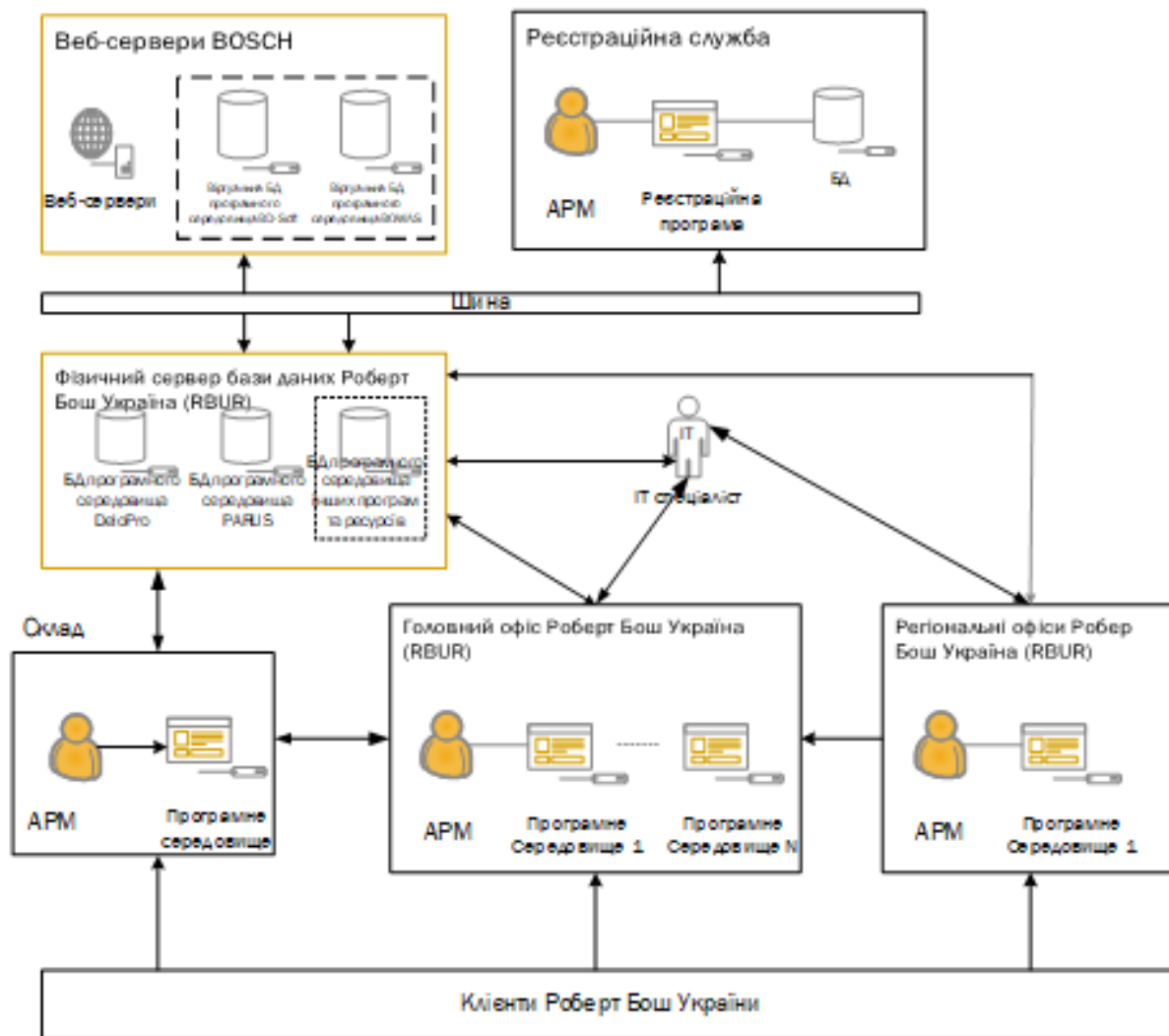


Рис. 3.1. Структурна схема автоматизації інформаційних потоків відносно ресурсів типового ТЕП

Нехай є m центрів виробництва деякого швидкопсувного продукту, k центрів споживання цього продукту і q центрів переробки продукту. Таким продуктом може бути, наприклад, молоко, що доставляється з місць виробництва (молочних ферм) на підприємства переробки з подальшою доставкою готової молочної продукції в пункти збуту [16]. Ясно, що зниження втрат тут відповідає мінімізації часу транспортування продукції.

Введемо наступні позначення [18]:

a_i - обсяг виробництва, що швидко псується продукту i -м постачальником, $i = 1, 2, \dots, m$,

b_j - потреба в цьому продукті у j -го споживача, $j = 1, 2, \dots, n$,

d_k - обсяг продукту, який може прийняти k -й центр переробки, $k = 1, 2, \dots, q$,

t'_{ik} - час транспортування продукту з i -го центру виробництва в k -й проміжний центр,

t_k - час переробки продукту в k -м центрі,

t''_{kj} - час транспортування вантажу від k -го центру переробки до j -му споживачеві,

$t_{ijk} = t'_{ik} + t_k + t''_{kj}$ - загальний час руху продукту від i -го постачальника до j -му споживачеві через k -й проміжний пункт,

x_{ijk} - кількість продукту, плановане для транспортування від i -го

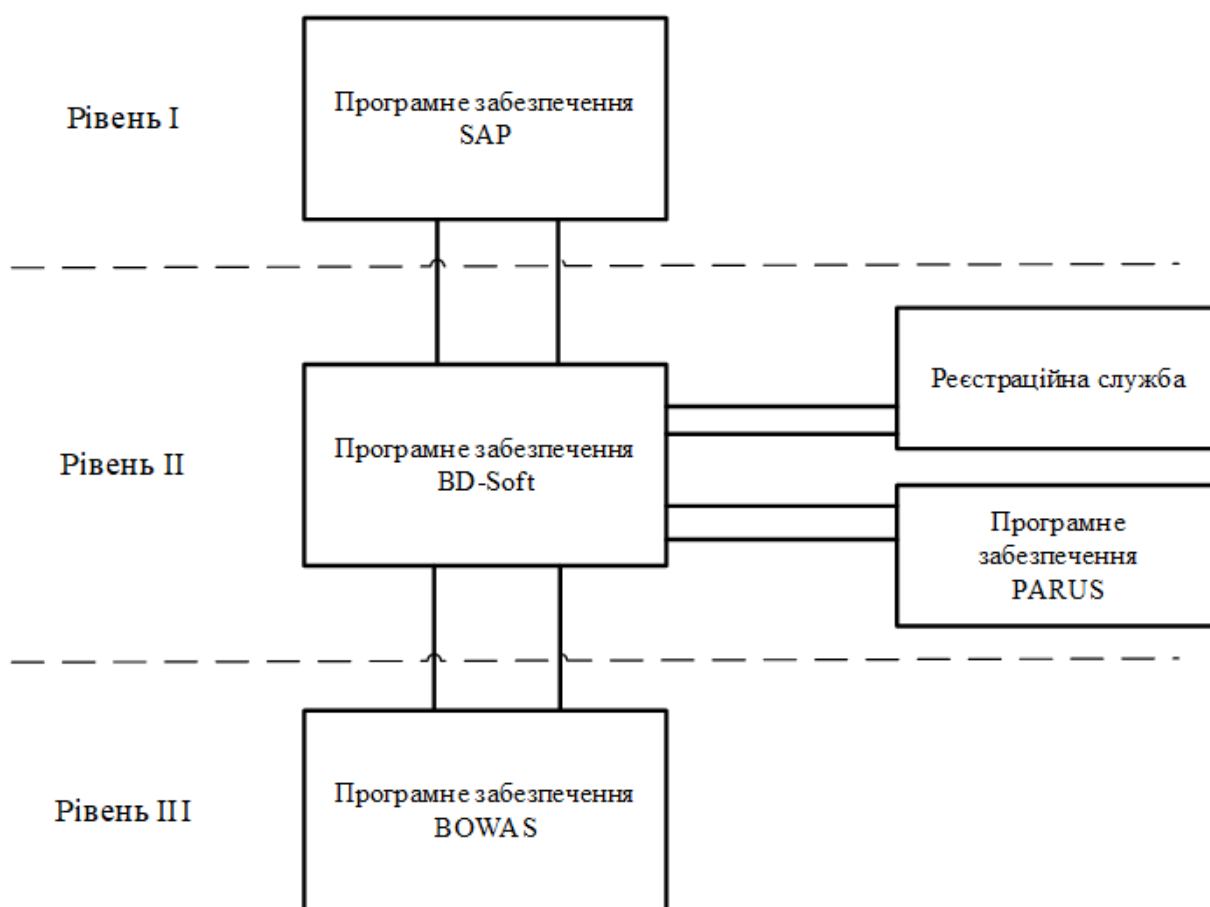


Рис. 3.2. Схема орієнтованості програми BD-Soft

Критерій ефективності плану - максимальне з часів перевезення продукції відповідно до плану $\{x_{ijk}\}$. Тоді задача може бути сформульована таким чином: знайти план $X = \{x_{ijk}\}$, що мінімізує функціонал [3, 8, 15]

$$T(X) = \max_{i,j,k} \{t_{ijk} \delta(x_{ijk})\} \quad (3.38)$$

Де

$$\delta(x_{ijk}) = \begin{cases} 0, & \text{если } x_{ijk} = 0, \\ 1, & \text{если } x_{ijk} > 0, \end{cases} \quad (3.39)$$

і задовольняє обмеженням [3, 8, 15]

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ijk} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad (3.40)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q x_{ijk} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.41)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} = d_k, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (3.42)$$

$$x_{ijk} \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, m, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad k = 1, 2, \dots, q. \quad (3.43)$$

У цьому завданні передбачається, що продукт з центрів виробництва і переробки вивозиться повністю, виконується умова балансу [3, 8, 15]

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^n b_j = \sum_{k=1}^q d_k, \quad (3.44)$$

і, нарешті, час перевезення не залежить від обсягу перевезеного продукту.

Зрозуміло, що цільова функція $T(x)$ є дискретною і приймає в залежності від плану X одне з можливих значень. $\{t_{111}, t_{112}, \dots, t_{ijk}, \dots, t_{mq}\}$

Впорядкуємо це безліч наступним чином [23]:

$$t_{i_1 j_1 k_1} \leq t_{i_2 j_2 k_2} \leq \dots \leq t_{i_s j_s k_s} \leq \dots \leq t_{i_N j_N k_N}, \quad N = mnq. \quad (3.45)$$

Тепер з кожним елементом $t_{i_s j_s k_s}$ цієї послідовності зв'яжемо трехіндексную матрицю $\{h_{ijk}^{(s)}\}$, компоненти якої визначимо співвідношенням [23]

$$h_{ijk}^{(s)} = \begin{cases} 0, & \text{если } t_{ijk} > t_{i_s j_s k_s}, \\ M, & \text{если } t_{ijk} \leq t_{i_s j_s k_s}, \end{cases} \quad (3.46)$$

Де

$$M = \max\{\max_i a_i, \max_j b_j, \max_k d_k\}$$

Сформулюємо N завдань такого вигляду: знайти набір $X^{(s)} = (x_{ijk}^{(s)})$, задовольняє обмеженням [23]

$$\sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^q x_{ijk}^{(s)} = a_i, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3.47)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^q x_{ijk}^{(s)} = b_j, \quad j = 1, 2, \dots, n, \quad (3.48)$$

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk}^{(s)} = d_k, \quad k = 1, 2, \dots, q, \quad (3.49)$$

$$0 \leq x_{ijk}^{(s)} \leq h_{ijk}^{(s)}.$$

Це завдання свідомо вирішити за $s = N$, так як в цьому випадку вона зводиться до пошуку допустимого рішення збалансованої тріпланарної транспортної задачі (значення M досить велика і практично не накладає обмежень на змінні). Вона не можна вирішити за $s < m + n + q - 2$ (якщо тільки система рівнянь (3.47) - (3.49) не є виродження) [15, 22].

Звідси випливає, що існує деякий номер s^* такий, що при $s < s^*$ завдання не можна вирішити, але при $s \geq s^*$ вона вже має рішення. Тоді вибір є шуканим

оптимальним планом задачі (3.38) - (3.43). Рішення завдання слід починати з $s = s_{\min} = m + n + q - 2$. При цьому, в матриці $(h_{ijk}^{(s)})$ відмінні від нуля елементи, що відповідають першим $m + n + q - 2$ (найменшим за величиною) членам послідовності (3.45). Якщо в цьому випадку система (3.47) - (3.70) має рішення, то шуканий план отримано і цільова функція (3.38) прийме мінімально можливе значення. В іншому випадку, якщо система рішення не має, то потрібно збільшити s на одиницю, додавши в матрицю черговий елемент $(h_{ijk}^{(s)})$, відповідний s -му члену послідовності (3.45). Процедуру слід продовжувати до отримання першого рішення системи рівнянь (3.47) - (3.48) [15, 23].

Врахуємо тепер імовірнісний характер завдання. Будемо вважати, що для всіх (i, j, k) значення t_{ijk} є випадкова величина з відомим законом розподілу $\varphi(t_{ijk})$. Виберемо порогове допустимий час перевезення товару від виробника до споживача. Тепер для всіх (i, j, k) обчислимо ймовірність того, що тривалість перевезення t_{ijk} перевищить граничне значення, тобто [22]

$$P_{ijk} = \text{Вер}(t_{ijk} > t_{nop}) = \int_{t_{nop}}^{\infty} \varphi(t_{ijk}) dt_{ijk}.$$

Впорядкуємо безліч ймовірностей P_{ijk} наступним чином:

$$P_{i_1 j_1 k_1} \leq P_{i_2 j_2 k_2} \leq \dots \leq P_{i_s j_s k_s} \leq \dots \leq P_{i_N j_N k_N}.$$

Подальша процедура отримання рішення повторює вже описану.

В результаті рішення задачі отримаємо план $X = (x_{ijk})$, для якого ймовірність того, що найдовша з перевезень, включених до плану, буде реалізована за час, що перевищує допустимий, виявиться мінімально можливою.

3.3. Алгоритм автоматизації процесу замовлення товару та його доставки в Україну

Аналіз і прогнозування випадкового процесу попиту. Аналітичний опис нестационарного випадкового процесу, що описує попит на товари, містить наступні компоненти [23]:

$a_0 + a_1t + \dots + a_d t^d$ - детермінована поліноміальної складова процесу попиту,

$a_{d+1} \cos(\omega t + \varphi)$ - детермінована складова, яка визначає сезонні коливання попиту,

$a_{d+2}[t(\text{mod } 7)] + a_{d+3}[t(\text{mod } 7)]^2$ - детермінована складова, яка описувала тижневі коливання попиту.

Відповідно до цього загальне співвідношення для опису випадкового процесу попиту має вигляд

$$z(t) = a_0 + a_1t + a_{d+1} \cos(\omega t + \varphi) + a_{d+2}[t(\text{mod } 7)] + a_{d+3}[t(\text{mod } 7)]^2 + \varepsilon(t) + \delta(t)$$

де $\varepsilon(t)$ - випадкове відхилення попиту від детермінованої складової в момент t , щільність розподілу якого визначається параметрами, індивідуальними для кожного товару, $\delta(t)$ - випадковий викид невстановленої етіології (наприклад, помилка введення).

Оцінювання параметрів випадкового процесу попиту здійснюється в наступній природної послідовності: коригування попиту при виникненні дефіциту, виявлення і виділення викидів, виявлення і виділення тренда, виділення сезонної складової, виділення внутрішньотижневих коливань, перевірка відсутності автокореляції залишків, оцінювання параметрів щільності розподілу випадкових відхилень попиту. Перейдемо до розгляду відповідних методик [15, 18, 20].

Наведений алгоритм замовлення товару представлено на рис. 3.3.

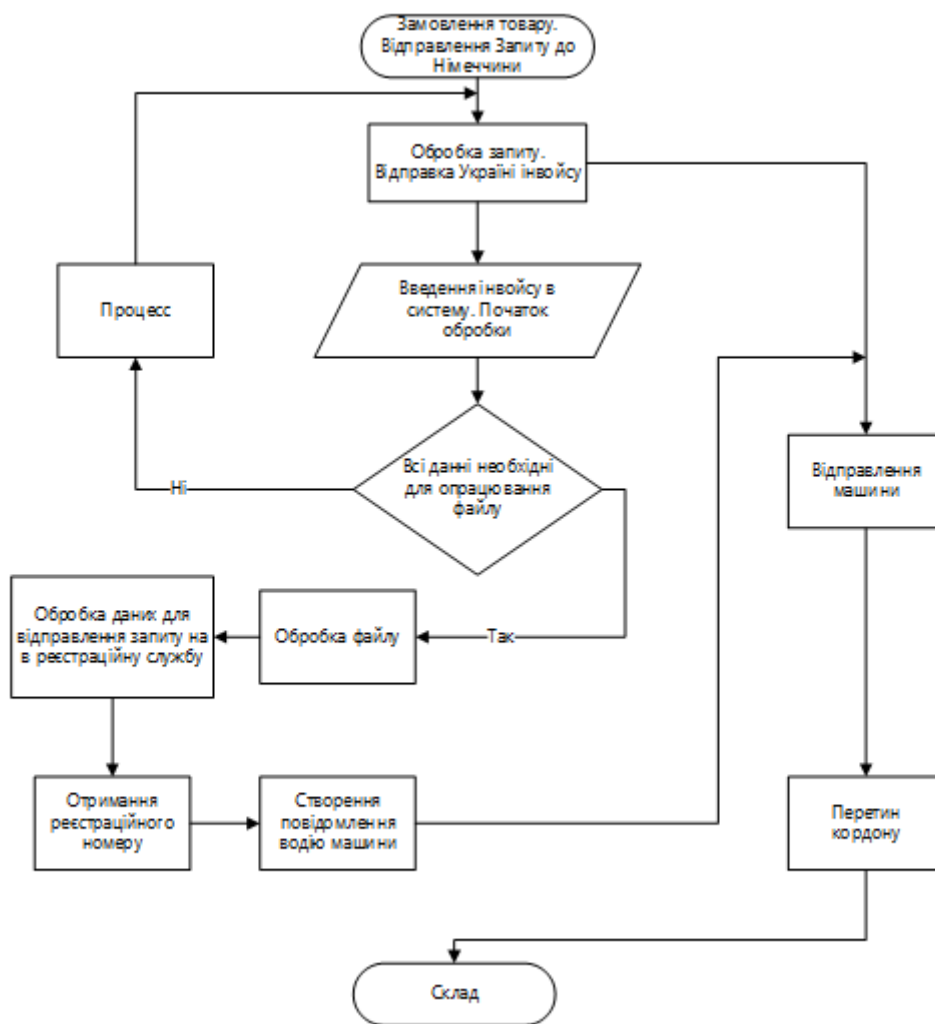


Рис. 3.3 Блок-схема алгоритму автоматизації замовлення товару від головного офісу до регіонального офісу в Україні [15, 18, 20]

Коригування попиту при виникненні дефіциту. У випадках, коли випадковий попит на товар не перевищує запасу, то адекватною характеристикою попиту є обсяг продажів. Якщо ж в процесі торгівлі запас вичерпаний, то для відновлення попиту реалізується наступна процедура [15, 18, 20]. Нехай після реалізації наявного запасу товару в конкретний день продажів відомий вектор $(\xi_1, \xi_2, \dots, \xi_m)$, елементи якого - обсяги разових продажів, і зафіксовано k незадоволених запитів на продаж. Будемо вважати, що кожному з цих запитів відповідає попит, що дорівнює середньому попиту в цей торговий день. Тоді оцінку загального сумарного попиту в цей день отримаємо за формулою [15, 18, 20]

$$\theta_{\Sigma} = \sum_{\ell=1}^m \xi_{\ell} + k \frac{1}{m} \sum_{\ell=1}^m \xi_{\ell} = \left(\sum_{\ell=1}^m \xi_{\ell} \right) \left(1 + \frac{k}{m} \right) = X \left(1 + \frac{k}{m} \right).$$

Виявлення викидів. Із сукупності спостережень попиту $(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_n)$ витягується

$\theta_{j_0} = \max_j \{\theta_j\}$. далі розраховуються [15, 18, 20]

$$\theta = \frac{1}{n-1} \sum_{j \neq j_0} \theta_j, \quad \hat{s} = \left[\frac{1}{n-1} \sum_{j \neq j_0} (\theta_j - \theta)^2 \right]^{\frac{1}{2}}.$$

Тоді статистика [15, 18, 20]

$$t = \frac{\theta_{j_0} - \theta}{\hat{s}}$$

має -розподіл Стюдента з числом ступенів свободи. З таблиці розподілу Стюдента вибирається для заданого рівня значущості і числа ступенів свободи. Якщо, то з ймовірністю спостереження належить вибірці з тієї ж генеральної сукупності, що і інші спостереження. Якщо ж, то з ймовірністю помилки спостереження є викидом і його доцільно виключити.

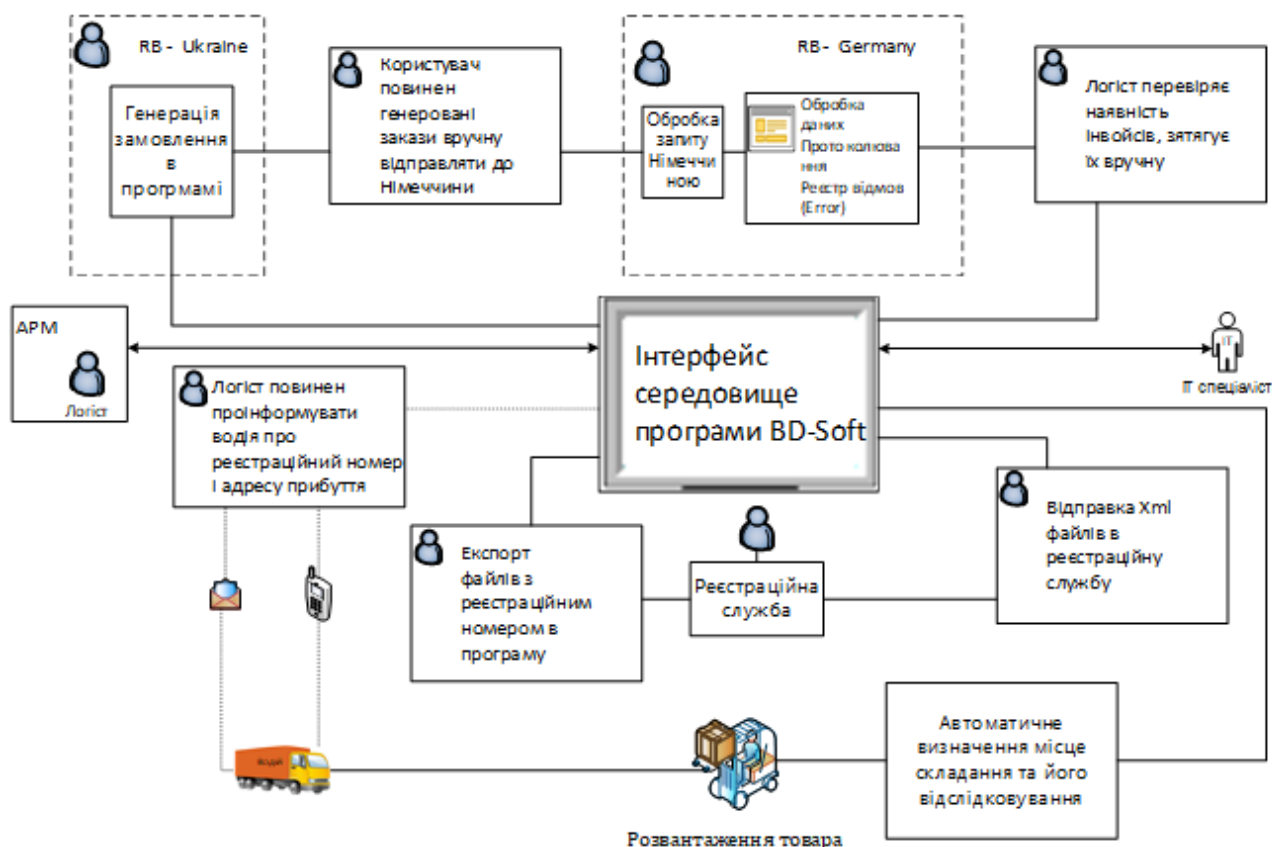


Рис. 3.4. Функціональна схема автоматизації оформлення заказу

Виділення тренда. Для виділення лінійного тренда використовується метод найменших квадратів (МНК). Нехай залежність між екзогенної змінної y і ендогенної t має вигляд. [15, 18, 20]

$$y = a_0 + a_1 t + a_2 t^2 + \dots + a_d t^d.$$

Вихідні дані для оцінювання параметрів рівняння отримані за результатами дослідів і утворюють набори, $T = (t_1, t_2, \dots, t_n)$, $Y = (y_1, y_2, \dots, y_n)$

Введемо матрицю H і вектори A і Y в такий спосіб [15, 18, 20]:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & t_1 & \dots & t_1^d \\ 1 & t_2 & \dots & t_2^d \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & t_n & \dots & t_n^d \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_d \end{pmatrix}, \quad Y = \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dots \\ y_n \end{pmatrix}.$$

Тоді задача відшукування компонентів вектора \hat{A} , найкращого з точки

зору МНК, зводиться до мінімізації суми квадратів відхилень вимірних значень змінної від передбачаються моделлю [15, 18, 20]:

$$J = (HA - Y)^T (HA - Y).$$

При цьому, як відомо,

$$\hat{A} = (H^T H)^{-1} H^T Y.$$

Отримані значення $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_d$ однозначно задають модель [10]

$$y = \hat{a}_0 + \hat{a}_1 t + \dots + \hat{a}_d t^d,$$

яка найкращим, з точки зору МНК, так описує спостережуваний процес.

Виділення сезонної складової. Виділення сезонної складової проведемо по МНК відповідно до методології, описаної вище. Для опису періодичної залежності між ендогенної і екзогенної змінної виберемо співвідношення виду [10,11]

$$y = a_{d+1} \cos(\omega t + \varphi).$$

Так як отримати аналітичний вираз для МНК-оцінок параметрів a_{d+1}, ω, φ досить складно, проведемо оптимізацію функціоналу якості виду

$$F(a_{d+1}, \omega, \varphi) = \sum_t \left(y_t - \sum_{i=0}^d a_i t^i - a_{d+1} \cos(\omega t + \varphi) \right)^2 \Rightarrow \min$$

будь-яким чисельним методом, наприклад методом Нелдера-Міда [15, 18, 20].

Виділення тижневої складовою. З досвіду роботи багатьох підприємств продажу товарів масового споживання було помічено, що попит на більшість найбільш ходових товарів залежить від дня тижня: на початку тижня він високий, потім знижується до середини тижня і до кінця тижня знову зростає [15].

Дослідження автокореляційної функції, проведене для багатьох позицій з різних товарних груп, показує наявність в тимчасовому ряді продажів яскраво вираженою автокореляції з тимчасовим лагом 7, що свідчить про існування внутрішньотижневих коливань. Аналіз середніх і сумарних продажів по кожному окремо взятому дні тижня дозволяє зробити припущення про характер зміни попиту всередині тижні.

Він має вигляд випуклої вниз параболи з центром в середині тижня, рівняння якої може бути записано у вигляді [15, 18, 20]:

$$y(t) = a_{d+2}[t(\bmod 7)] + a_{d+3}[t(\bmod 7)]^2.$$

Оцінка параметрів моделі проводиться відповідно до МНК, для чого будь-яким чисельним методом знаходиться мінімум квадратичної функції помилок [15, 18, 20]

$$F(a_{d+2}, a_{d+3}) = \sum_t (\hat{y}_t - a_{d+2}[t(\bmod 7)] + a_{d+3}[t(\bmod 7)]^2)^2$$

Де

$$\hat{y}_t = y - \sum_{i=0}^d a_i t^i - a_{d+1} \cos(\omega t + \varphi).$$

Аналіз автокореляції залишків. Виявлення автокореляції випадкових залишків у відхиленнях реальних спостережень від виділених детермінованих складових здійснюється з використанням критерію Дарбіна-Уотсона, який обчислюється за формулою [15, 18, 20]

$$d = \frac{\sum_{j=1}^n (\xi_{j+1} - \xi_j)^2}{\sum_{j=1}^n \xi_j^2},$$

де ξ_j - випадкове відхилення в j -му спостереженні.

Розподіл значень критерію Дарбіна-Уотсона протабулювати.

Обчислення значення критерію d порівнюється з табличними значеннями d_1 і d_2 .

Можливі такі випадки [15, 18, 20]:

якщо $d < d_1$, гіпотеза про відсутність автокореляції відкидається (мається позитивна кореляція);

якщо $d_2 < d < 4 - d_2$, гіпотеза про відсутність автокореляції приймається;

якщо $d_1 \leq d \leq d_2$ або $4 - d_2 \leq d \leq 4 - d_1$, то необхідно подальше дослідження (наприклад, по більшій кількості спостережень);

якщо $d > 4 - d_1$, то гіпотеза про відсутність кореляції відкидається (мається негативна кореляція).

3.4. Схема управління багатокomпонентними ресурсами ТЕП

Співвідношення для критерію Дарбіна-Уотсона безпосередньо впливає з відносини, використовуваного для виявлення наявності автокореляції випадкового процесу $\zeta(t)$. Це співвідношення має вигляд [15, 16, 18, 20]

$$r(t) = \frac{M[(\zeta(t+1) - m(t+1)) - (\zeta(t) - m(t))]^2}{M[(\zeta(t) - m(t))^2]}.$$

Перепишемо його таким чином [15, 16, 18, 20]

$$\begin{aligned} r(t) &= \frac{M[(\zeta(t) - m(t))^2] + M[(\zeta(t+1) - m(t+1))^2]}{M[(\zeta(t) - m(t))^2]} - \\ &= \frac{2M[(\zeta(t) - m(t))(\zeta(t+1) - m(t+1))]}{M[(\zeta(t) - m(t))^2]} = \\ &= \frac{D(t+1) + D(t) - 2K(t, t+1)}{D(t)}. \end{aligned}$$

Тут, $D(t)$, $D(t+1)$ - дисперсії процесу в моменти часу t і $t+1$

$K(t, t+1)$ - коваріація між випадковими отсчетами процесу в моменти t і $t+1$.

Якщо процес є стаціонарним (або нестаціонарність його така, що вона не дуже істотно проявляється на інтервалі $(t, t+1)$, то $D(t) \cong D(t+1)$. Тоді $r(t)$ наближено можна записати так [15]:

$$r(t) \cong 2 - 2k(t, t+1),$$

де $k(t, t+1)$ - коефіцієнт кореляції між випадковими значеннями процесу в моменти часу t і $t+1$.

У зв'язку з цим ясно, що, якщо кореляція між цими випадковими значеннями відсутній (або мала), то значення $r(t)$ близьке до 2. При збільшенні значення коефіцієнта кореляції величина $r(t)$ зменшується, наближаючись до нуля (для позитивної кореляції), або до чотирьох (для негативної кореляції) [15, 16, 18, 20].

Наявність автокореляції в залишках вказує на невідповідність обраної моделі реальним даним. Найбільш ймовірна причина невідповідності - це існування неврахованих в моделі факторів, що впливають на характер процесу. Якщо, навпаки, автокорреляція в залишках відсутня, вважається, що модель досить добре узгоджується з реальними даними і враховує вплив всіх основних факторів [4].

Оцінювання і прогноз параметрів щільності розподілу. Після виділення тренда, сезонної і тижневої складових буде отримано випадковий процес з невідомим законом розподілу, для опису якого використовуємо універсальне трипараметричної розподіл виду [9]

$$\psi(\theta) = \frac{2}{\theta_2 \sqrt{2\pi} \left(\frac{1}{\sqrt{1-\theta_3}} + \frac{1}{\sqrt{1+\theta_3}} \right)} \exp \left\{ -\frac{(\theta - \theta_1)^2}{2\theta_2^2} (1 + \theta_3 \operatorname{sign}(\theta - \theta_1)) \right\}.$$

Параметри розподілу знаходяться шляхом апроксимації вибірових гістограм відповідно до методу найменших квадратів, яка проводиться будь-яким чисельним методом, наприклад методом Нелдера-Міда. Випадковий процес, що описує коливання попиту, є нестационарним. Тому параметри $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ наведеної щільності розподілу є функціями часу. Для опису залежностей $\theta_1(t), \theta_2(t), \theta_3(t)$ відповідна задача оцінювання їх параметрів вирішується для послідовних часових інтервалів. Для кожного інтервалу після апроксимації відповідної гістограми отримуємо набір $\theta_1, \theta_2, \theta_3$. Сукупність таких наборів, відповідних послідовним інтервалах спостереження, обробляється стандартним чином і встановлюється характер залежностей параметрів розподілу від факторів, що впливають. Далі будується прогноз значень факторів на інтервал часу $S+I$ і на підставі встановлених

залежностей робиться прогноз щодо значень самих параметрів. Розглянемо тепер інформаційну технологію оцінювання вартостей транспортувань [15, 16, 18, 20].

Оцінка статистичних характеристик вартостей перевезень [9]. Витрати на перевезення вантажу з одного пункту в інший складним чином залежать від великого числа факторів, до числа яких відносяться: рельєф місцевості, категорія дороги, тип покриття і його стан (мокре, сухе і т.д.), загальна довжина дороги, довжина і характер складових її ділянок і ін.

Нехай маршрут між пунктами (i, j) може бути розбитий на n ділянок, що відрізняються своїми характеристиками. Введемо наступні позначення [15, 16, 18, 20]:

- c_{kij} - середня вартість перевезення одиниці вантажу на одиницю довжини - k го ділянки дороги між пунктами (i, j) ,
- L_k - довжина k -го ділянки, $k = 1, 2, \dots, n$.

Тоді [15, 16, 18, 20]

$$c_{ij} = \sum_{k=1}^n c_{kij} L_k \quad (3.1)$$

середня вартість перевезення одиниці вантажу з пункту i в пункт j .

У свою чергу середня вартість c_{kij} перевезення одиниці вантажу на одиницю довжини k -го ділянки може бути представлена сумою двох складових:

$$c_{kij} = c_{kij}^{(1)} + c_{kij}^{(2)}, \quad (3.2)$$

де $c_{kij}^{(1)}$ - середні фактичні витрати на одиницю довжини, пов'язані безпосередньо з витратою пального, грн / км; $c_{kij}^{(2)}$ - середні витрати, пов'язані з оплатою праці водіїв, грн / км.

Отримаємо співвідношення для розрахунку $c_{kij}^{(1)}$. Прийmemo, що [3,4,15]

$$c_{kij}^{(1)} = k_c \cdot Q_{kij}^{(\phi)} \cdot \Pi_T, \quad (3.3)$$

де k_c - коефіцієнт, що враховує витрати на мастильні матеріали (); ($k_c = 1,05$); $Q_{kij}^{(\phi)}$ - середній фактичний витрата пального на одиницю довжини k -го ділянки дороги між пунктами (i, j) , л / км; Π_T - вартість пального, грн / л.

Середній фактичний витрата пального на одиницю шляху розраховують за формулою [3,4,15]

$$Q_{kij}^{(\phi)} = k_T \cdot k_{kij}^{(p)} \cdot Q_{kij}^{(H)}, \quad (3.4)$$

де k_T - коефіцієнт коригування витрат палива, який задається співвідношенням між фактичною швидкістю V_ϕ і нормативною швидкістю \bar{V}_H , яка визначається правилами бази знань в залежності від рельєфу місцевості і категорії дороги (рис. 3.6); $k_{kij}^{(p)}$ - коефіцієнт, що враховує дорожні умови; $Q_{kij}^{(H)}$ - середній нормативний витрата пального на одиницю k -го ділянки дороги між пунктами (i, j) для автомобіля даної марки при русі по рівній місцевості з нормативною швидкістю (визначається правилами бази знань), л / км (табл. 3.1). [3,4,15]

Чисельні значення технічних характеристик, наведені в табл. 3.1, 3.2, 3.3, взяті з [9].

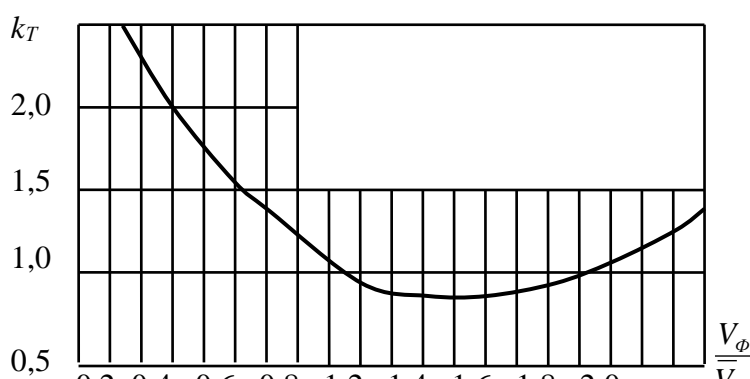


Рис. 3.6. Залежність коефіцієнта коригування витрати палива від швидкості автомобіля

З метою спрощення розрахунків наведену на рис. 3.6. криву, що відображає залежність $k_T = f\left(\frac{V_\phi}{V_H}\right)$, апроксимуємо кубічної параболою [3,4,15]

$$k_T(z) = a_0 + a_1z + a_2z^2 + a_3z^3, \quad z = \frac{V_\phi}{V_H},$$

$$k_T(z) = 3,42 - 4,47z + 2,38z^2 - 0,34z^3.$$

Максимальна похибка цієї апроксимації не перевищує 0,01.

Нормативна швидкість вантажних автомобілів визначається категорією дороги, типом дорожнього покриття, рельєфом місцевості.

3.5. Автоматизація процесу замовлення товарів в ТЕП

Процедура отримання вектора $(X^T V^T \Lambda^T)$, який задовольняє (3.9), полягає в наступному.

Спочатку знайдемо базисне рішення системи $AX = B$, використовуючи звичайний перший крок симплекс-методу лінійного програмування. Нехай A_0 -квадратна $m \times m$ подматриця матриці A , стовпці якої відповідають базисним (ненульовим) змінним, що створює вектор X_0 . При цьому, звісно, $A_0 X_0 = b$ [3,4,15]

Зауважимо, що базисне рішення X_0 задовольняє першим m обмеженням системи (3.11). Тому подальше рішення пов'язане з відшукування допустимого n -компонентного вектора v , який задовольняє спільно з X іншим рівнянням системи

(3.11). Цей вектор може бути отриманий в результаті рішення наступної модифікованої задачі лінійного програмування: знайти вектор $(X^T V^T \Lambda^T)$, що задовольняє системі рівнянь [3,4,15]

$$\begin{aligned} AX &= B, \\ 2GX - A^T \Lambda + V + EU &= 0 \end{aligned} \quad (3.12)$$

і мінімізує лінійну форму

$$L(U) = EU, \quad E = \begin{pmatrix} 1 & & 0 \\ & \dots & \\ 0 & & 1 \end{pmatrix},$$

залежну від компонентів штучного базису $U^T = (u_1, u_2, \dots, u_n)$. Рішення завдання закінчується після виведення з базису штучних змінних U . Відмінність розв'язуваної задачі від звичайної задачі лінійного програмування полягає в тому, що ніяка пара компонент (x_j, v_j) , які вводяться в базис, не може містити одночасно обидва позитивних компонента [3,4,15].

Таким чином, загальна процедура вирішення завдання вимагає проведення в середньому $n + m$ кроків симплекс-методу і є досить трудомісткою. Слід звернути увагу на ту обставину, що отримується в результаті реалізації описаної процедури рішення має принциповими властивостями рішень канонічних задач лінійного програмування: кількість ненульових компонент в ньому не перевищує числа обмежень [3,4,15].

З іншого боку, нелінійний характер цільової функції (3.8), що є наслідком випадковості коефіцієнтів вихідної цільової функції задачі лінійного програмування, призводить до того, що число ненульових компонент вектора рішення задачі (3.9) - (3.9) може бути більшою за кількість обмежень [3,4,15].

Це нове властивість рішень нечіткої задачі лінійного програмування проявляється особливо чітко, якщо зняти обмеження (3.6) на знак компонентів рішення. У цьому випадку співвідношення (3.7) є строгим рівністю

$$2(X^*)^T G - \Lambda^{*T} A = 0.$$

Звідси [3,4,15]

$$GX^* = \frac{1}{2} A^T \Lambda^*,$$

$$X^* = \frac{1}{2} G^{-1} A^T \Lambda^*. \quad (3.13)$$

Підставляючи (3.13) в (2.61), знайдемо Λ^* [3,4,15]:

$$\frac{1}{2} A G^{-1} A^T \Lambda^* = B,$$

$$\frac{1}{2} \Lambda^* = (A G^{-1} A^T)^{-1} B. \quad (3.14)$$

Тепер підстановка (3.14) в (3.13) дає шукане рішення задачі [15]:

$$X^* = G^{-1} A^T (A G^{-1} A^T)^{-1} B. \quad (3.15).$$

В отриманому рішенні (3.15) всі компоненти можуть бути відмінні від нуля. Зазначене властивість зберігається, якщо відновити обмеження (2.62). У цьому випадку для отримання рішення може бути використана будь-яка з добре відомих процедур умовної оптимізації, наприклад, метод штрафних функцій [58, 60]. Відповідно до цього методу побудуємо цільову функцію, враховуючи обмеження (2.61) і (2.62) [5]:

$$\Phi(k) = -X^T G X + C_1 (A X - B)^T (A X - B) + C_2 \left[\min_j \{ \min(0, x_j) \} \right]^p. \quad (3.16)$$

Розглянемо тепер більш складне завдання, коли щільність розподілу випадкової вартості перевезень заданого обсягу товару від заданого постачальника до заданого споживачеві невідома, проте наявного статистичного матеріалу досить, щоб для кожної конкретної ситуації оцінити математичне сподівання і дисперсію втрат [3,4,15].

У зв'язку з цим будемо вважати, що для кожної елементарної поставки $(i, j) \in \text{дані}$, зведені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3

**Значення математичного очікування і дисперсії втрат
в залежності від обсягу перевезення**

x_{ij}	x_{1ij}	x_{2ij}	...	x_{nij}
$m(y_{ij})$	m_{1ij}	m_{2ij}	...	m_{nij}
$D(y_{ij})$	D_{1ij}	D_{2ij}	...	D_{nij}

Тут m_{kij} - оцінене статистично математичне очікування значення втрат для (i, j) - й елементарної поставки, що відповідає об'єму перевезення, x_{kij} , D_{kij} - оцінена статистично дисперсія значення втрат в цій ситуації. Опустимо індекси i, j .

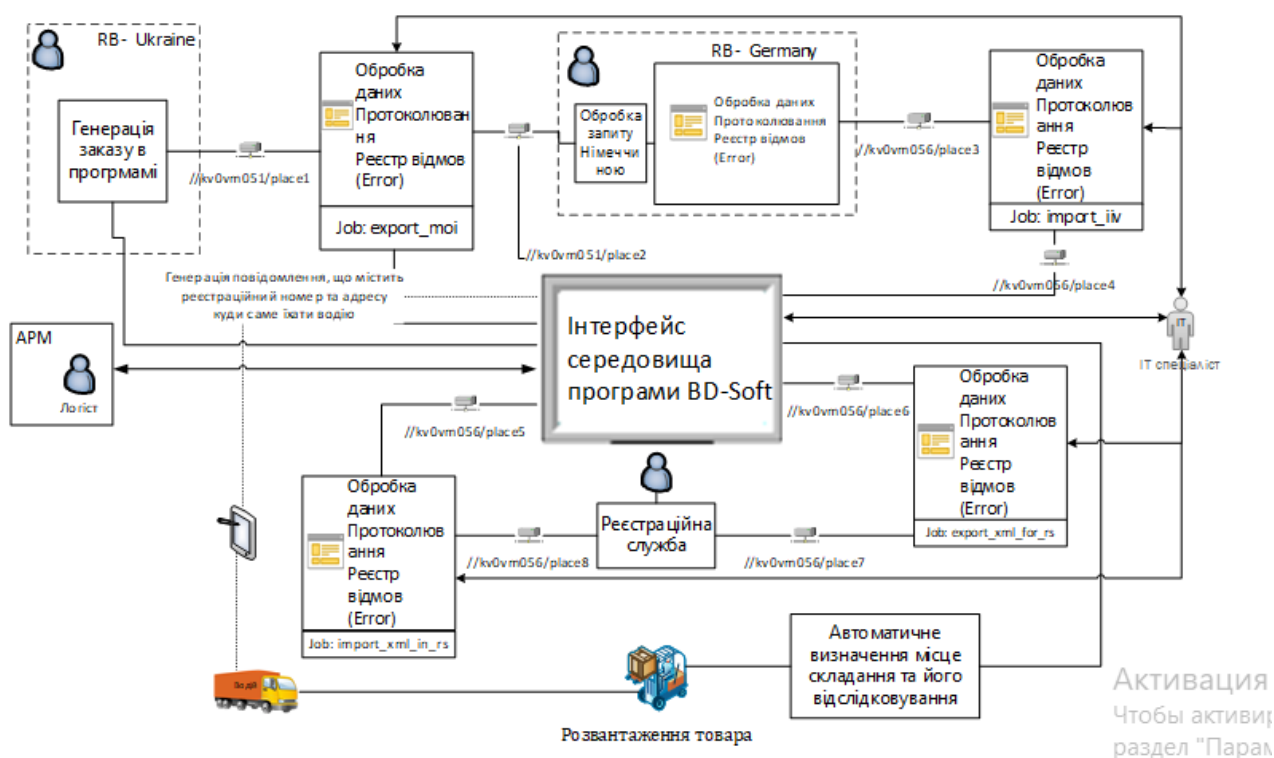


Рис. 3.6. Вдосконалена функціональна схема автоматизації процесу оформлення заказу [3,4,15]

За даними табл. 3.3 побудуємо рівняння регресії, що описують залежності $m(x)$ і $D(x)$, використовуючи поліноми заданого ступеня d . Значення d визначається при перевірці адекватності моделі.

Нехай [3,4,15]

$$m(x) = a_0 + a_1x + a_2x^2 + \dots + a_dx^d,$$

$$D(x) = b_0 + b_1x + b_2x^2 + \dots + b_dx^d.$$

Введемо матрицю H і вектори A, B, M, D в такий спосіб:

$$H = \begin{pmatrix} 1 & x_1 & \dots & x_1^d \\ 1 & x_2 & \dots & x_2^d \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & x_n & \dots & x_n^d \end{pmatrix}, \quad A = \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \dots \\ a_d \end{pmatrix}, \quad B = \begin{pmatrix} b_0 \\ b_1 \\ \dots \\ b_d \end{pmatrix}, \quad M = \begin{pmatrix} m_1 \\ m_2 \\ \dots \\ m_n \end{pmatrix}, \quad D = \begin{pmatrix} D_1 \\ D_2 \\ \dots \\ D_n \end{pmatrix}.$$

Тоді найкращі в сенсі методу найменших квадратів, оцінки векторів A і B визначаються наступними співвідношеннями

$$\hat{A} = (H^T H)^{-1} H^T M,$$

$$\hat{B} = (H^T H)^{-1} H^T D.$$

Нехай тепер для деякого конкретного споживача заданий вектор поставки. При цьому, з використанням отриманих рівнянь регресії, можуть бути розраховані значення математичного очікування і дисперсії сумарних втрат [3,4,15].

$$M_\Sigma(X) = \sum_{i=1}^m m(x_i), \quad D_\Sigma(X) = \sum_{i=1}^m D(x_i)$$

Таким чином, для випадкового значення R сумарних втрат відповідних фіксованому розподілу, можуть бути розраховані математичне очікування $M_\Sigma(X)$ і дисперсія $D_\Sigma(X)$, проте закон розподілу цієї випадкової величини не відомий. У

зв'язку з цим завдання відшукання раціонального розподілу поставок безпосередньо може бути вирішена тільки при оптимізації в середньому.

Як було зазначено вище, цінність такого рішення дуже відносна. В якості альтернативи розглянемо мінімаксне технологію отримання раціонального розподілу поставок за критерієм - імовірність перевищення сумарними втратами заданого порогу, яка може бути реалізована в ситуації, коли закон розподілу втрат відомий тільки з точністю до статистичних характеристик (математичне очікування і дисперсія [3,4,15]).

З цією метою для обраного порогового значення сумарних втрат і будь-який наперед заданої пари $M_{\Sigma}(X)$ і $D_{\Sigma}(X)$ знайдемо «найгіршу» щільність розподілу $f(Z)$ випадкової величини втрат Z , для якої [3,4,15]

$$\int_0^{\infty} f(Z) dZ = 1,$$

$$\int_0^{\infty} Z f(Z) dZ = M_{\Sigma}[X],$$

$$\int_0^{\infty} Z^2 f(Z) dZ = D_{\Sigma}[X] + M_{\Sigma}^2[X] = \mu_2,$$

$$\int_{\Gamma_0}^{\infty} f(Z) dZ \Rightarrow \max_{f(Z)}.$$

З цих співвідношень слід: щільність розподілу $f(Z)$ випадкової величини Z з заданими значеннями математичного очікування і дисперсії є «найгіршою» в тому сенсі, що ймовірність перевищення випадковою Z величиною сумарних втрат заданого порогу Γ_0 є найбільшою для всіх можливих $f(Z)$, з заданими значеннями математичного очікування і дисперсії [3,4,15].

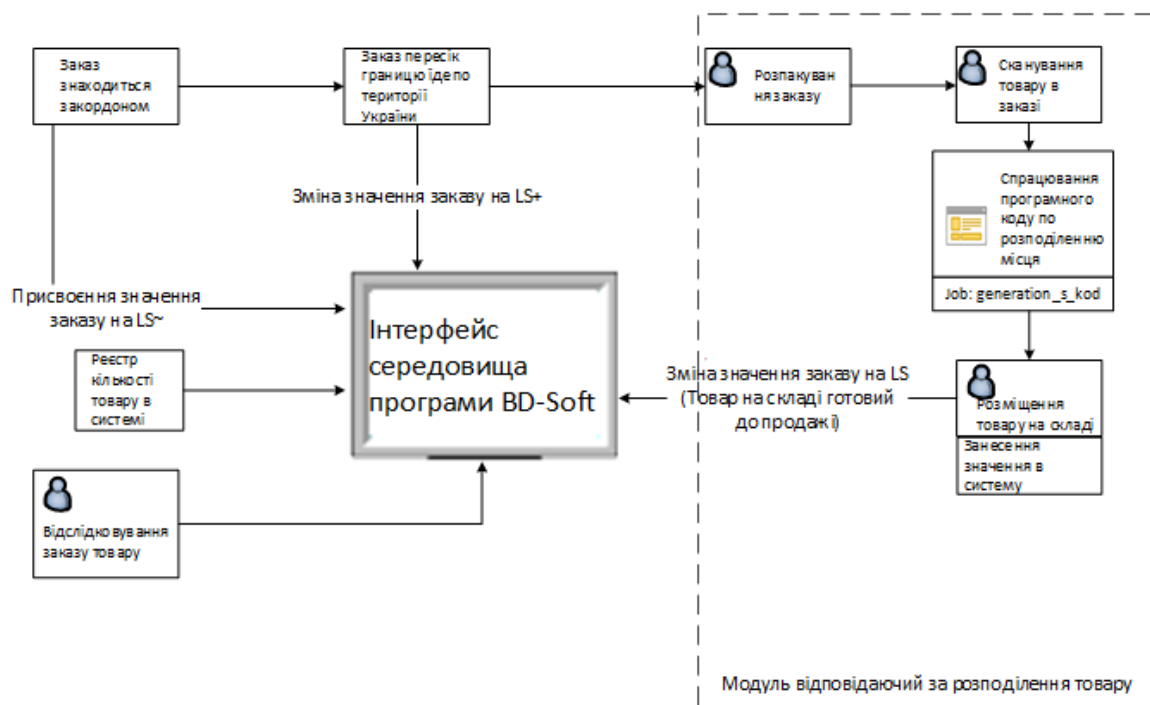


Рис. 3.7. Функціональна схема автоматизації процесу розподілення товару на складі ТЕП

Завдання відшукування $f(Z)$, що задовольняє сформульованим вимогам є стандартною задачею континуальної лінійного програмування [3], постановка якої в даному випадку має такий вигляд: знайти функцію $f(Z)$, максимізує

$$\int_{d_1}^{\infty} C(Z) f(Z) dZ \quad (3.17)$$

і задовольняє обмеженням

$$\int_0^{\infty} Z^i f(Z) dZ = b_i, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (3.18)$$

При вирішенні задачі (3.17) - (3.18) зручно від завдання мінімізації випадкових сумарних втрат Z перейти до еквівалентної задачі максимізації випадкового виграшу R , що обчислюється як різниця між деякою довільній константою A і величиною втрат Z . При цьому [3,4,15]

$$M[R] = A_0 - M_{\Sigma}[X] = \mu_1,$$

$$D[R] = \mu_2.$$

Тепер завдання відшукування найгіршого розподілу має вигляд: знайти щільність $f(R)$, «найгіршу» в тому сенсі, що ймовірність перевищення сумарним випадковим виграшем R заданого порогу Γ_0 є мінімальною, тобто [3,4,15]

$$\int_{\Gamma_0}^{\infty} f(R) dR \Rightarrow \min, \quad (3.19)$$

$$\int_0^{\infty} f(R) dR = 1, \quad (3.20)$$

$$\int_0^{\infty} R f(R) dR = \mu_1, \quad (3.21)$$

$$\int_0^{\infty} R^2 f(R) dR = \mu_2. \quad (3.22)$$

3.6. Підвищення ефективності управління ресурсами ТЕП за рахунок впровадження засобів автоматизації

Коефіцієнт $k_{kij}^{(p)}$ розраховується за формулою [3,4,15]

$$k_{kij}^{(p)} = 0,9k_{kij}^{(A)} + 0,1,$$

$$k_{kij}^{(A)} = \frac{G_{\phi} (f_{\phi.kij} + l_{kij}) + \frac{k_v \cdot s \cdot V_{\phi.kij}^2}{13}}{G_{\phi} f_{H.kij} + \frac{k_v \cdot s \cdot V_{H.kij}^2}{13}}.$$

Тут [3,4,15] G_{ϕ} - фактична вага автомобіля, Н; $f_{\phi.kij}$ - коефіцієнт опору коченню в конкретних умовах k -го ділянки дороги між пунктами (i, j) в залежності від типу покриття і його стану; $f_{H.kij}$ - коефіцієнт опору коченню в нормативних умовах, який задається правилами бази знань в залежності від нормативної швидкості руху для заданого типу покриття і його стану (сухе чисте, мокре, сніг розсипчастий, сніг ущільнений і т.д.) [3,4,15];

$$l_{kij} = \begin{cases} 0,005, & \text{при русі на підйом,} \\ -0,005, & \text{при русі на спуск;} \end{cases}$$

$$f_{H.kij} = \bar{f}_{20} + 0,0005(V_{H.kij} - 20);$$

$$f_{\phi.kij} = \bar{f}_{20} + 0,0005(V_{\phi.kij} - 20);$$

де \bar{f}_{20} - середнє значення опору коченню при швидкості 20 км / год (табл. 3.3);

k_v - коефіцієнт опору повітрю, $\left(\frac{Hc^2}{M^4}\right)$; s - лобова площа, м.

Таким чином, фактичні витрати пального на k -ом ділянці дороги між пунктами (i, j) залежить не тільки від характеристик, що визначають нормативні витрати, але ще і від ряду інших факторів, серед яких є і випадкові. Істотний вплив робить стан покриття (сухе чисте, мокре чисте, мокре брудне, покрите ущільненим снігом, Крім того впливають: інтенсивність руху на цій ділянці дороги, що залежить від чисельності населення пунктів, між якими знаходиться k -й ділянку дороги, числа смуг, часу доби, числа населених пунктів на шляху прямування, ступеня втоми водіїв до моменту подолання k -го ділянки шляху і ін [3,4,15].

Витрати $c_{kij}^{(2)}$, пов'язані з оплатою праці водіїв, розраховуються за формулою

$$c_{kij}^{(2)} = \frac{d}{V_{\phi.kij}}, \quad (3.5)$$

де d - заробітна плата водіїв, грн / год.

Наведені співвідношення дозволяють отримати емпіричне співвідношення для розрахунку витрат на перевезення одиниці вантажу на кожній ділянці дороги з пункту i в пункт j в залежності від багатьох факторів, яке має вигляд:

$$C_{kij} = k_c k_T \left[0,1 + 0,9 \frac{G_{\phi} f_{\phi kij} + \frac{k_V \cdot s \cdot V_{\phi kij}^2}{13}}{G_{\phi} f_{H kij} + \frac{k_V \cdot s \cdot V_{H kij}^2}{13}} \right] Q_{kij} \Pi_T,$$

де C_{kij} - вартість перевезення одиниці вантажу на одиницю довжини k -ого ділянки шляху між пунктами.

Загальна середня вартість перевезень визначається підсумком вартостей для окремих ділянок. Тепер отримане значення витрат використовується в (5.1) для розрахунку середньої вартості перевезення одиниці вантажу з в.

Дисперсія вартості визначається спільним впливом сукупності випадкових факторів, для яких, в припущенні, що вони розподілені рівномірно, в табл. 3.2, табл. 3.3, табл. 3.4 вказані діапазони можливих значень [3,4,15].

де C_{kij} - вартість перевезення одиниці вантажу на одиницю довжини k -ого ділянки шляху між пунктами (i, j) .

Загальна середня вартість перевезень визначається підсумком вартостей для окремих ділянок. Тепер отримане значення витрат c_{kij} використовується в (5.1) для розрахунку середньої вартості перевезення одиниці вантажу з i в j .

Для наближених оціночних розрахунків на практиці часто вважають, що витрати на перевезення вантажу розподілені нормально з середнім значенням, що обчислюється за формулою (3.1), і середнім квадратичним відхиленням, яке визначається зі співвідношення [3,4,15]

$$\sigma_{kij}^2 = (k_{\Delta ij} \cdot c_{kij})^2, \quad (3.6)$$

Де $\sigma_{k,ij}$ - середньоквадратичне відхилення випадкової вартості від середньої на k -ом ділянці дороги з i в j ; $k_{\Delta ij}$ - емпіричний коефіцієнт, який приймають рівним $0,05l^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{r_{kij}}{q_{kij}}}$; r_{kij} - інтенсивність руху на k -ом ділянці дороги між пунктами (i, j) , од. / Хв; q_{kij} - число смуг на k -ом ділянці дороги між пунктами (i, j) ; l - категорія дороги, $l = 1, 2, 3, 4, 5$; c_{kij} - середня вартість перевезення одиниці вантажу для k -го ділянки дороги між пунктами (i, j) .

У цьому співвідношенні число смуг (q_{kij}) грає роль фактора, стабілізуючого швидкість руху автомобіля на відповідній ділянці дороги.

Таким чином, отримані співвідношення дозволяють розрахувати основні статистичні характеристики (математичне очікування і дисперсію) випадкової величини вартості перевезення одиниці вантажу з одного пункту до іншого з урахуванням основних параметрів зв'язує їх магістралі і умовами, в яких реалізується перевезення. Отримувані при цьому значення статистичних характеристик використовуються при вирішенні завдань транспортної логістики [3,4,15].

Розраховані результати наведено в таблиці табл. 3.4.

Таблиця 3.4

Часові та кількісні показники

Операції	До вдосконалення АСУ	Після вдосконалення АСУ
І. Транспортування товару від точки замовлення до пункту призначення		
Час, необхідний для переміщення вантажу від пункту відправлення до пункту призначення $t_{пер}$	126 годин	25 години
Витрати часу на завантаження-вивантаження $t_{зв}$	24 годин	5 годин

Додаткові операції $t_{опер}$	5 год	1 год
Загальний час доставки	206,338 год	82,338 год
II. Оформлення і відвантаження заказу клієнта RBUR		
Формування заказу в програмі до моменту виставлення рахунку з Німеччини	18 робочих годин (2 дня)	9 робочих годин (1 день)
Час на оформлення транспортної накладної бухгалтерією	13,5 робочих годин (1,5 дня)	9 робочих годин (1 день)
Відвантаження машини до замовника	13,5 робочих годин (1,5 дня)	9 робочих годин (1 день)

СПИСОК БІБЛІОГРАФІЧНИХ ПОСИЛАНЬ

ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Стаханов В. А. Теоретические основы логистики / В. А. Стаханов, В. Б. Украинцев. – Ростов-на-Дону : ФЕНИКС, 2001. – 158 с.
2. Альбеков А. У. Коммерческая логистика / А. У. Альбеков, О. А. Митько. – Ростов-на-Дону : ФЕНИКС, 2002. – 416 с.
3. Гордон М. П. Логистика товародвижения / М. П. Гордон, С. Б. Карнаухов. – М. : Центр экономики и маркетинга, 2001. – 200 с.
4. Шумаев В. А. Логистика товародвижения / Шумаев В. А. – М. : Новый век, 2001. – 194 с.
5. Логистика : [учеб. пособ.] / под ред. Б.А. Аникина. [2-е изд.]. – М. : ИНФРА-М, 2000. – 352 с.
6. Миротин Л. Б. Транспортная логистика / Л. Б. Миротин, Ы. Э. Ташбаев. – М. : Бранес, 1996. – 211 с.
7. Неруш Ю. М. Логистика / Неруш Ю. М. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 495 с.
8. Голиков Е. А. Маркетинг и логистика / Голиков Е. А. – М. : Изд. дом «Дашков и Ко», 1999. – 319 с.
9. Малахов В. П. Імітаційні моделі та алгоритми формування маршрутів і траєкторій на основі нечіткої логіки / В. П. Малахов, Г. В. Кондратенко // Труды ОПУ. – 2002. – № 1(17). – С. 1–10.
10. Иванов В. В. Методы вычислений на ЭВМ / Иванов В. В. – К. : Наукова думка, 1986. – 584 с.

11. Ryan G. Rosandich. Quantification of Uncertainty in Transportation Infrastructure Projects / Ryan G. Rosandich. – Santiago: Economics Planning, 2005. – P. 5–14.
12. Борисова Е. А. Триакиальная распределительная задача с нечеткими параметрами / Е. А. Борисова, В. И. Финаев // Известия ТРТУ. Вып. «Интеллектуальные САПР». – 2006. – № 8(63). – С. 17–21.
13. Борисова Е. А. Трехиндексные распределительные задачи с нечеткими параметрами / Е. А. Борисова, В. И. Финаев. – Таганрог : ТТИ ЮФУ, 2007. – 190 с.
14. Раскин Л. Г. Континуальное линейное программирование / Л. Г. Раскин, И. О. Кириченко. – Харьков : ВИБВ МВД Украины, 2005. – 176 с.
15. Диссертация на соискание ученой степени канд. техн. наук.: Информационные технологии для системы поддержки решений задач транспортной логистики в условиях малой выборки исходных данных БачкирЛ.В. – К.: 2013- 128 с.
16. Лысенко Ю. Г. Нейронные сети и генетические алгоритмы / Лысенко Ю. Г., Иванов Н. Н., Минц А. Ю. – Донецк : Юго-Восток, 2003. – 230 с.
17. Goldberg D. Genetic Algorithms / Goldberg D. – MA : Addison Wesley, 1989. – 210 p.
18. Липаев В. В. Процессы и стандарты жизненного цикла сложных программных средств / Липаев В. В. – М. : Синтег. – 2006. – 276 с.
19. Information technology – Software life cycle processes: ISO/IEC 12207:2008. – 2008. – 122 p. – (International Organization for Standardization)
20. Соммервиль И. Инженерия программного обеспечения / Соммервиль И. – К. : Вильямс. – 2002. – 680 с.
21. Крачтен Ф. Введение в Rational Unified Process. / Крачтен Ф. – [2- изд.]. – К. : Вильямс, Диалектика. – 2002. – 240 с.
22. Арлоу Д. UML 2 и Унифицированный процесс: практический объектно-ориентированный анализ и проектирование / Д. Арлоу, А. Нейштадт. – М. : Символ-Плюс. – 2007. – 624 с.
23. Вигерс К. Разработка требований к программному обеспечению / Вигерс

К. – М. : Русская Редакция. – 2004. – 580 с.

24. Cleland-Huang J. Automated classification of non-functional requirements / J. Cleland-Huang, R. Settimi, X. Zou, P. Solc // Requirements Engineering. – 2007. – Vol. 12. – N 2. – P. 103– 120.