

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
«ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ»

БАЧКІР ЛАРИСА ВАДИМІВНА



УДК 658.8

**ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ РІШЕНЬ
ЗАДАЧ ТРАНСПОРТНОЇ ЛОГІСТИКИ
В УМОВАХ МАЛОЇ ВИБІРКИ ВИХІДНИХ ДАНИХ**

Спеціальність 05.13.06 – інформаційні технології

Автореферат дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2013

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі комп'ютерного моніторингу і логістики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України, м. Харків.

Науковий керівник: доктор технічних наук, доцент
Сіра Оксана Володимирівна,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут».

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Федорович Олег Євгенович,
Національний аерокосмічний університет
імені М.Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»,
завідувач кафедри інформаційних
управляючих систем

доктор технічних наук, професор
Нефьодов Леонід Іванович,
Харківський національний
автомобільно-дорожній університет,
завідувач кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Захист відбудеться «19» 12 2013 р. о 14.30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.050.07 у Національному технічному університеті «Харківський політехнічний інститут» за адресою:
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» за адресою:
61002, Харків, вул. Фрунзе, 21.

Автореферат розісланий «15» 11 2013 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Северин В.П.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У сучасних умовах функціонування великих торгово-виробничих комплексів найважливішого значення набувають питання розробки принципів оптимізації, моделей і методів прийняття рішень. Ці питання виникають при побудові систем обробки інформації та прийняття рішень при управлінні транспортними потоками в умовах ризику та невизначеності. Різноманітні задачі цього типу поєднуються в специфічний клас задач транспортної логістики. Практичні потреби розв'язання цих задач стимулювали розробку і реалізацію теоретичних методів та інформаційних технологій їх дослідження. Визнаний внесок в цьому напрямку внесли Дж. Данциг, Д. Б. Юдін, Ю. М. Єрмол'єв, М. Аокі, В. А. Кардаш та інші.

Аналіз відомих постановок і методів розв'язання задач оперативного управління транспортуванням дозволяє виявити ряд недостатньо пророблених серйозних проблем: по-перше, висока розмірність розв'язуваних задач, і, по-друге, необхідність управління перевезеннями в умовах, коли вихідні дані задачі утворюють малу вибірку та задані неточно. Традиційні математичні моделі та методи розв'язання таких задач у випадках, коли обидва ці фактора присутні одночасно, малоефективні. Ця обставина вимагає необхідності розробки інформаційних технологій, які використовують базу даних щодо номенклатури товарів, які підлягають транспортуванню, попиту, раціональних рівнів запасів тощо, а також базу знань, що містить правила розрахунку статистичних характеристик вартостей транспортувань. Дані технології забезпечують функціонування систем підтримки рішень задач транспортної логістики високої розмірності в умовах невизначеності. Такі системи повинні здійснювати аналіз характеру вихідних даних, типу виникаючих задач і їхньої розмірності, поєднувати в єдиний структурований комплекс математичні методи розв'язання цих задач та їх програмну реалізацію.

У зв'язку із цим тема дисертації, що присвячена розробці інформаційних технологій для системи підтримки рішень задач транспортної логістики високої розмірності в умовах малої вибірки вихідних даних, є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана на кафедрі комп'ютерного моніторингу і логістики Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут» у рамках держбюджетної науково-дослідної роботи МОН України за темою «Розробка математичних моделей і методів розв'язання задач управління виробництвом у нечітких умовах» (ДР №0106U005166); у госпрозрахункових науково-дослідних роботах Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського за темами: «Управління маркетингом на сучасному етапі розвитку підприємств Кременчуцького промислового району» (ДР №0102U002629), «Удосконалення управління матеріалопотоками на промислових підприємствах Кременчуцького регіону з використанням логістично-

го підходу» (ДР №0103U005001), при участі здобувача, як виконавця окремих розділів.

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка інформаційних технологій для системи підтримки рішень задач управління транспортними потоками високої розмірності в умовах малої вибірки стохастичних вихідних даних. Для досягнення означеної мети поставлено наступні задачі:

- аналіз відомих методів розв’язання задач транспортної логістики в умовах стохастичності вихідних даних та їх малої вибірки;
- розробка інформаційної технології розв’язання задач транспортної логістики в умовах стохастичного попиту, яка забезпечує мінімізацію середньої сумарної вартості перевезень із врахуванням втрат від дефіциту та витрат на зберігання нереалізованого продукту;
- розробка інформаційної технології розв’язання задач транспортної логістики в умовах, коли інформація про попит обмежена знанням тільки моментів цієї випадкової величини;
- створення методу розв’язання задач логістики з випадковими вартостями перевезень за імовірнісним критерієм;
- розробка математичних моделей та методів прийняття рішень для розв’язання багатойндексних стохастичних задач транспортної логістики, у тому числі задача з проміжними центрами та малої вибірки вихідних даних;
- розробка інформаційної технології розрахунку статистичних характеристик вартостей перевезень з урахуванням основних впливових факторів.

Об’єкт дослідження – процеси прийняття рішень у системі управління транспортними потоками в умовах малої вибірки стохастичних вихідних даних.

Предмет дослідження – інформаційні технології, моделі та методи прийняття рішень в задачах транспортної логістики в умовах малої вибірки стохастичних вихідних даних.

Методи дослідження. При створенні моделей невизначеності попиту та вартостей транспортувань використовувались методи теорії ймовірностей і математичної статистики. При розробці методів розв’язання стохастичних задач транспортної логістики використовувались методи стохастичного математичного програмування, а також континуального лінійного програмування. При розробці моделей і методів розв’язання задач транспортної логістики високої розмірності використовувались методи системного аналізу, декомпозиції, математичного програмування.

Наукова новизна одержаних результатів:

1. Вперше розроблена інформаційна технологія розв’язання задач транспортної логістики з випадковим попитом високої розмірності та малої вибірки вихідних даних, що дозволило врахувати сумарну вартість перевезень, а також втрати від дефіциту та на збереження нереалізованого продукту.
2. Вперше розроблена інформаційна технологія розв’язання задач транспортної логістики в умовах, коли апіорі відсутня інформація про щільність ро-

зподілу попиту та вартості транспортувань, що дозволило отримати мінімаксне рішення в припущенні про якнайгіршу щільність розподілу цих величин.

3. Удосконалені методи та запропонована інформаційна технологія децентралізації при розв'язанні багатоіндексної задачі оптимізації транспортувань за схемою «постачальник–проміжні центри–споживачі» для випадку, коли тривалості транспортувань є випадковими величинами, які знижують розмірність задач.

4. Одержали подальший розвиток методи розв'язання стохастичних багатоіндексних транспортних задач високої розмірності, які зводять задачі до детермінованих.

Практичне значення одержаних результатів полягає у можливості їх безпосереднього використання при розв'язанні реальних задач управління транспортними потоками.

Розроблені методи використані при розв'язанні реальних задач управління транспортуванням в ПП «Транзит-Сервіс» (м. Кременчук). Запропоновані методи для системи підтримки рішення задач управління перевезеннями використані при розробці «Плану відвантажень нафтопродуктів автомобільним та залізничним транспортом АТ «Укртатнафта» на період 2009-2012 рр.» у діяльності Управління сировинного забезпечення та реалізації АТ «Укртатнафта» (м. Кременчук). Результати досліджень дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі в Кременчуцькому національному університеті імені Михайла Остроградського при викладанні дисциплін: «Логістика», «Основи теорії систем і системного аналізу», «Математичне моделювання в менеджменті», «Мікроекономічне моделювання підприємницької діяльності», «Вантажні перевезення», «Основи теорії транспортних процесів і систем», «Комерційна логістика».

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них: моделі й методи розв'язання стохастичних транспортних задач із випадковим попитом і вартостями перевезень за умов малої вибірки вихідних даних; метод розв'язання стохастичних багатоіндексних задач транспортування за схемою «постачальник-проміжні центри-споживачі».

Апробація результатів дисертації. Результати досліджень доповідалися та обговорювалися на: XIV, XV, XIX Міжнародних науково-практичних конференціях «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я» (м. Харків, 2006-2007, 2011 рр.); V-й Міжнародній науково-технічній конференції «Проблеми інформатики й моделювання» (м. Харків, 2005 р.), Міжнародній науково-методичній конференції «Проблеми математичного моделювання» (м. Дніпродзержинськ, 2005 р.); I-й Міжнародній науково-практичній конференції «Современные тенденции развития логистики в Украине» (м. Євпаторія, 2010 р.).

Публікації. За результатами наукових досліджень опубліковано 16 наукових праць, з них 13 – у фахових наукових виданнях України, 2 – у матеріалах конференцій.

Структура й обсяг дисертації. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел та додатків. Повний обсяг дисертації складає 205 сторінок, включаючи 11 рисунків по тексту, 18 таблиць по тексту, 3 рисунки на 3 окремих сторінках, список використаних джерел із 93 найменування на 8 сторінках, 8 додатків на 24 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульовані основна мета й задачі дослідження, охарактеризована наукова новизна, наукове й практичне значення одержаних результатів, наведена інформація про впровадження результатів роботи, апробації та публікації.

У **першому** розділі проведено аналіз моделей транспортної логістики, що дозволив виявити дві серйозні проблеми, які виникають при розв'язанні практичних задач: висока розмірність і невизначеність у завданні вихідних даних.

Установлено, що залежно від характеру невизначеності виникають наступні варіанти задачі транспортної логістики: стохастичний попит; вартість перевезень – випадкова величина, щільність розподілу якої відома; вартість перевезень – випадкова величина, щільність розподілу якої невідома.

Структуризація перерахованих задач за характером вихідних даних (детерміновані або стохастичні), типу перевезень, розмірності (висока або дуже висока), а також методу їхнього розв'язання й організації відповідної обчислювальної процедури приводить до необхідності розробки інформаційних технологій для системи підтримки прийняття рішень транспортної логістики високої розмірності в умовах невизначеності.

У **другому** розділі поставлені задачі транспортної логістики зі стохастичним попитом, які є об'єктом розбудови інформаційної технології.

Принциповий недолік відомих методик рішення транспортних задач складається в неврахуванні компонентів сумарних витрат, пов'язаних не тільки із сумарною вартістю перевезень, але й витратами на зберігання нереалізованого продукту, а також на величину «штрафу» при виникненні дефіциту, що в цілому складає значну базу даних.

Для математичної постановки задачі вводяться: $\varphi_j(\theta)$ – щільність розподілу випадкової величини попиту на товар в j -му пункті продажу; α_j – плата за зберігання одиниці товару в j -му пункті; β_j – вартість одиниці товару в j -му пункті продажу; c_j – закупівельна вартість одиниці товару; z_j – обсяг замовлення товару для j -го пункту, $j = 1, 2, \dots, n$. Тоді середні витрати на зберігання

непроданої частини товару в j -му пункті продажу та середні втрати у зв'язку з дефіцитом товару в j -му пункті визначаються виразами:

$$R_1(z_j) = \alpha_j \int_0^{z_j} (z_j - \theta) \varphi_j(\theta) d\theta, \quad R_2(z_j) = (\beta_j - c_j) \int_{z_j}^{\infty} (\theta - z_j) \varphi_j(\theta) d\theta.$$

Вектор $\underline{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$, який визначає значення обсягів поставок товару до споживачів, разом з матрицею вартостей $C = (c_{ij})$ задають транспортну задачу, розв'язання якої визначає план перевезень $X(\underline{Z}) = \{x_{ij}(\underline{Z})\}$ залежний від \underline{Z} . При цьому співвідношення для розрахунку величини сумарних витрат має вигляд

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

Для розв'язання отриманої задачі запропоновано використання двохетапної ітераційної процедури. На першому етапі кожної ітерації вирішується координуюча задача визначення сукупності наборів $\underline{Z} = (z_1, z_2, \dots, z_n)$. На другому етапі розв'язується відповідна сукупність транспортних задач, у яких вектори значень параметрів споживання \underline{Z} задаються розв'язанням координуючої задачі. За результатами розв'язків цих задач для кожної з них здійснюється розрахунок критерію $L(X(\underline{Z}))$. Для побудови загальної процедури розв'язання задачі використовується метод Нелдера-Міда пошуку вектора \underline{Z} з алгоритмічно заданою цільовою функцією $L_2(X(\underline{Z}))$. Блок-схему обчислювальної процедури розв'язання задачі представлено на рис. 1.

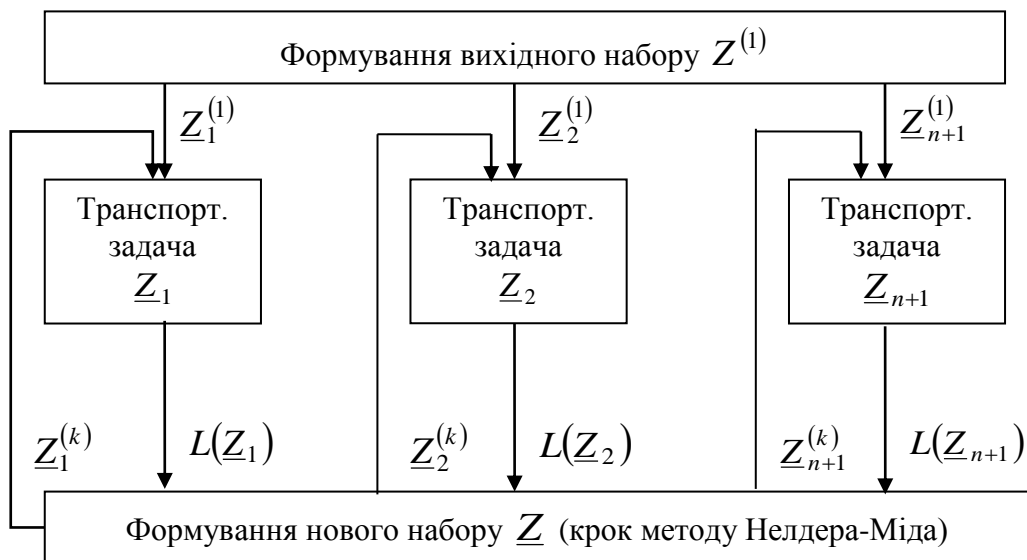


Рис. 1. Блок-схема розв'язання двохетапної задачі

Визначено, що обчислювальна процедура методу Нелдера-Міда може бути реалізована лише для задач невеликої розмірності (10-15 споживачів). Прак-

тична неефективність розглянутої процедури пов'язана з необхідністю розв'язання на кожному її кроці транспортних задач із розмірністю, обумовленою сукупністю споживачів, число яких може бути на порядок більше.

Тому запропонована можливість перетворення задачі з алгоритмічно заданим критерієм до звичайної задачі, у якій значення критерію розраховується аналітично. Для розв'язання задачі використана наступна процедура. Задається сукупність припустимих (задовольняючих обмеженням) наборів

$$\underline{Z}_1 = (z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1n}), \quad \underline{Z}_2 = (z_{21}, z_{22}, \dots, z_{2n}), \quad \dots, \quad \underline{Z}_s = (z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{sn}).$$

Для кожного із цих наборів вирішимо основну транспортну задачу й зафіксуємо відповідний набір значень цільової функції

$$L^T = (L(X(\underline{Z}_1)), L(X(\underline{Z}_2)), \dots, L(X(\underline{Z}_s))).$$

Введено регресійне співвідношення, що зв'язує чисельне значення Z поставок товару споживачам зі значенням цільової функції $L(X(Z))$, отримуваним у результаті розв'язання відповідної основної задачі

$$L(X(Z)) = b_{10}z_1 + \dots + b_{n0}z_n + b_{11}z_1^2 + \dots + b_{nn}z_n^2 + b_{12}z_1z_2 + \dots + b_{n-1,n}z_{n-1}z_n.$$

Невідомі коефіцієнти рівняння регресії знайдені методом найменших квадратів. Точність оцінювання параметрів рівняння регресії може бути істотно поліпшена, якщо набори $\underline{Z}_1 = (z_{11}, z_{12}, \dots, z_{1n})$, $\underline{Z}_2 = (z_{21}, z_{22}, \dots, z_{2n})$, ..., $\underline{Z}_s = (z_{s1}, z_{s2}, \dots, z_{sn})$ вибирати не довільно, а так, щоб вони в сукупності утворили б ортогональний план.

Оскільки реальний попит – нестационарний процес, параметри якого залежать від багатьох факторів і міняються в часі, у цій ситуації обмеженої інформованості природним є використання мінімаксного підходу, відповідно до якого найдемо найгіршу щільність розподілу випадкового попиту із заданими значеннями математичного очікування m_j та дисперсії σ_j^2 . Формальна постановка задачі така: знайти щільність $f(\theta)$, яка максимізує ймовірність виникнення нереалізованого залишку та задовольняє обмеженням:

$$\int_0^{\infty} f(\theta) d\theta = 1, \quad \int_0^{\infty} \theta f(\theta) d\theta = m_j, \quad \int_0^{\infty} \theta^2 f(\theta) d\theta = m_j^2 + \sigma_j^2, \quad f(\theta), \quad \theta \in [0, \infty).$$

Отримана задача є окремим випадком загальної задачі континуального лінійного програмування (КЛП). Розв'язання задачі, що відшукується в класі δ -функцій Дірака, є ітераційним і складається в послідовному відшукуванні компонентів (x_1, x_2, \dots, x_m) та

$$(\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_m)$$
 опорної план-функції задачі, що має вигляд $f(\theta) = \sum_{j=1}^m x_j \delta(\theta - \theta_j)$.

Досліджено задачу транспортної логістики, у якій випадковими є вартості перевезень з відомими щільностями розподілу. Уведено набір щільностей

$\varphi_{ij}(c_{ij}) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_j} \exp\left\{-\frac{(c_{ij} - m_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}\right\}$, $i = \overline{1, m}$, $j = \overline{1, n}$, випадкових значень c_{ij} . Тоді щільність розподілу випадкової величини сумарної вартості транспортування $R = L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$ має вигляд:

$$f(R) = f(L(X)) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_\Sigma} \exp\left\{-\frac{(R - m_\Sigma)^2}{2\sigma_\Sigma^2}\right\}, \quad m_\Sigma = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n m_{ij} x_{ij}, \quad \sigma_\Sigma^2 = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2.$$

Задача полягає у пошуку набору $X = x_{ij}$, який мінімізує ймовірність того, що сумарна вартість перевезення перевищить граничну

$$P(R \geq R_n) = \int_{R_n}^{\infty} f(R) dR = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_{\frac{R_n - m_\Sigma}{\sigma_\Sigma}}^{\infty} e^{-\frac{u^2}{2}} du.$$

Таким чином, задача зведена до знаходження плану X , який максимізує дробово-квадратичну функцію

$$F(X) = R^2(X) = \left(\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij} \right)^2 / \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sigma_{ij}^2 x_{ij}^2$$

й задовольняє транспортним обмеженням. Запропоновано ітераційну процедуру наближеного розв'язання задачі.

Досліджено ситуацію, коли щільність розподілу випадкової вартості перевезень заданого обсягу товару від заданого постачальника до заданого споживача невідома, однак наявного статистичного матеріалу досить, щоб для кожної конкретної ситуації оцінити математичне очікування й дисперсію втрат. Для розв'язання задачі в цьому випадку запропонована мінімаксна технологія одержання раціонального розподілу поставок за критерієм ймовірності перевищення сумарними втратами заданого порогу. Задача вирішується методами континуального лінійного програмування.

Третій розділ присвячено розв'язанню стохастичних багатоіндексних транспортних задач. Досліджена задача вибору структури транспортної мережі із проміжними центрами в умовах стохастичного попиту. Показано, що середні сумарні втрати, що пов'язані з розташуванням проміжних складів $(x_k^{(c)}, y_k^{(c)})$, $k = \overline{1, K}$, вибором розподілу запасу товару $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ й розподілом споживачів за областями тяжіння $\{r_{k,q}\}$, сумарними транспортними витратами, сумарними витратами на зберігання частини товару в проміжних складах, яка була непродана, і сумарними втратами у зв'язку з дефіцитом товару дорівнюють

$$R_{\Sigma}((z), (x^{(l)}, y^{(l)}), (r_q)) = \sum_{k=1}^K \left\{ R_{ok}(x_k^{(l)}, y_k^{(l)})z_k + \sum_{q=1}^N R_{kq}(x_k^{(l)}, y_k^{(l)})m_k r_{kq} + \right. \\ \left. + \alpha_k \int_0^{z_k} (z_k - \theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq}))\varphi(\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq}))d\theta_{\Sigma}^{(k)} + (\beta - C) \int_{x_k}^{\infty} (\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq}) - z_k)\varphi(\theta_{\Sigma}^{(k)}(r_{kq}))d\theta_{\Sigma}^{(k)} \right\},$$

де R_{ok} – відстань від основного складу до k -го проміжного; R_{kq} – відстань від k -го проміжного складу до центра реалізації товару в q -ій області притягання; α_k – плата за зберігання не-реалізованої частини товару в k -му проміжному складі.

Таким чином, вихідна задача відшукування раціонального розміщення проміжних складів зведена до пошуку наборів $Z = (z_k), (x_k^{(l)}, y_k^{(l)}), (r_{kq})$, які мінімізують сумарні втрати й задовольняють обмеженням, обумовленим вимогам споживачів. Через велике число змінних, які визначають значення цільової функції, безпосереднє аналітичне розв'язання задачі нездійснене. Тому запропонована ітераційна процедура, кожна ітерація якої складається з декількох етапів:

- на першому етапі задається число проміжних центрів K і рівномірно розподіляється вихідний обсяг продукту між ними;
- на другому етапі відшукується початкове розташування проміжних центрів таким чином, щоб мінімальна відстань між ними була максимальною;
- на третьому етапі для отриманого розташування проміжних центрів вирішується задача кластеризації центрів реалізації;
- на четвертому етапі за результатами розв'язання задачі кластеризації проводиться уточнення положення проміжних центрів. У кожному кластері нове розташування цього центра визначається центром ваги обумовленої кластером підобласті.

Результати розв'язання задачі третього й четвертого етапів задають розподіл продукту за підобластями та положення проміжних центрів у них.

На п'ятому етапі розв'язується задача мінімізації критерію за вектором змінних $Z = (z_1, z_2, \dots, z_k)$ з урахуванням обмежень. Розмірність цієї задачі невелика й вона може бути вирішена будь-яким методом нульового порядку. Процедура завершується, якщо результати двох сусідніх ітерацій збігаються.

Кожний проміжний центр використовується як джерело розподілу продукту між споживачами, що входять в область тягіння цього центру. Тверде закріплення проміжних центрів за споживачами обмежує ефективність системи доставок товарів від постачальників до споживачів. У зв'язку із цим досліджена задача організації поставок товарів для загального випадку, коли таке закріплення зняте.

Уведемо позначення: x_{ijk} – обсяг продукції, що транспортується від i -го постачальника до j -го споживача через k -й проміжний центр; X – відповідний трьохіндексний набір обсягів продукції; $c_{ijk} = c_{ik} + c_{kj}$ – вартість транспортуван-

ня одиниці вантажу від i -го постачальника до j -го споживача через k -й проміжний центр.

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

$$L(X) = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r c_{ijk} x_{ijk}, \quad \sum_{j=1}^n \sum_{k=1}^r x_{ijk} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^r x_{ijk} = b_j, \quad \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ijk} \leq d_k,$$

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

Отримана задача є трипланарною транспортною задачею лінійного програмування, для розв'язання якої використано узагальнений метод потенціалів.

Вирішено задачу побудови стохастичних аналогів наближених методів розв'язання трипланарних транспортних задач. Спочатку для кожного елемента матриці вартостей, використовуючи відповідну щільність розподілу, розраховується математичне очікування відповідної випадкової величини. Потім обирається елемент, для якого математичне очікування приймає граничне мінімальне значення. Тепер для кожного елемента матриці розраховуємо ймовірність того, що відповідна випадкова величина виявиться менш ніж гранична. Отриманий набір ймовірностей надалі використовується для реалізації стандартної технології послідовного вибору мінімального елемента.

Розглядається багатопродуктова стохастична транспортна задача, яка є трьохіндексною біаксіальною транспортною задачею. Показано, що розв'язання задачі може бути отримано шляхом її декомпозиції до сукупності звичайних двохіндексних транспортних задач. Цей же прийом використано і для розв'язання багатопродуктових стохастичних транспортних задач із урахуванням розходжень у засобах постачання.

У транспортних задачах, як цільова функція, традиційно використовується сумарна вартість транспортування продукції від постачальників до споживачів. Ця цільова функція є лінійною формою змінних задачі. Разом з тим, на практиці часто виникають задачі, цільова функція яких не є адитивною. До такої ситуації, наприклад, приводить задача оптимальної організації перевезень продуктів, що швидко псуються, коли важливо мінімізувати максимальну тривалість транспортувань. При цьому загальна вартість перевезення може використовуватися як додаткове обмеження. Критерій ефективності плану – максимальна тривалість перевезення продукції, що мінімізується при задоволенні природних обмежень. Показано, що розв'язання задачі може бути доведено до послідовного розв'язання систем лінійних алгебраїчних рівнянь. Запропоновано стохастичний аналог розглянутого детермінованого методу розв'язання задачі.

Четвертий розділ присвячено питанню інформаційного забезпечення задач транспортної логістики. Розроблено інформаційну технологію проектування програмного забезпечення системи підтримки прийняття рішень (СППР) за-

дач транспортної логістики. При цьому розв'язані наступні задачі. Обґрунтовано вибір інкрементно-ітеративного варіанту розробки програмного забезпечення. Для опису предметної області використано концептуальне моделювання з вказівкою концепцій і зв'язків між ними. Проведено аналіз варіантів використання програмної системи підтримки управління транспортуваннями. При цьому обрано варіанти управління інформацією про підприємства, номенклатуру товарів, які належать транспортуванню, склади, попит, раціональний рівень запасів. Вибір архітектури системи підтримки управління транспортуваннями проведено за такими критеріями: переносимість отриманого програмного розв'язання, надійність, повнота реалізації підтримки багаторівневої компонентної архітектури. У результаті обґрунтовано вибір пошарової компонентної архітектури. Розглянуто інформаційну технологію оцінки й прогнозування статистичних характеристик значень нестационарного випадкового процесу попиту, яка включає корегування попиту при виникненні дефіциту, виявлення викидів, виділення тренду, сезонної складової, внутрішньотижневої варіації попиту, щільності розподілення випадкових коливань попиту, прогноз статистичних характеристик попиту. Оскільки, у розділі розглянута інформаційна технологія розрахунку статистичних характеристик випадкових вартостей перевезень, отримано емпіричне співвідношення для розрахунку середньої вартості перевезення одиниці вантажу на одиницю довжини k -ї ділянки дороги між пунктами (i, j) , яке має вигляд

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

де k_c – коефіцієнт, який враховує витрати на мастильні матеріали ($k_c = 1,05$); C_T – вартість пального, грн/л; k_T – коефіцієнт корегування витрати пального, який задається співвідношенням між фактичною швидкістю V_ϕ і нормативною швидкістю V_H , яка визначається правилами бази знань залежно від рельєфу місцевості, категорії дороги; G_ϕ – фактична вага автомобіля, Н; $f_{\phi.kij}$ – коефіцієнт опору кочення в конкретних умовах k -ої ділянки дороги між пунктами (i, j) залежно від типу покриття та його стану; $f_{H.kij}$ – коефіцієнт опору кочення в нормативних умовах, який задається правилами бази знань залежно від нормативної швидкості руху для заданого типу покриття та його стану (сухе чисте, мокре, сніг розсипчастий, сніг ущільнений і т.д.); k_v – коефіцієнт опору повітрю, $\left(\frac{Hc^2}{M^4} \right)$; s – лобова площа, м²;

Q_{kij} – середня фактична витрата пального на одиницю k -ої ділянки дороги між пунктами (i, j) .

Загальна середня вартість перевезень визначається підсумком вартостей для окремих ділянок.

Дисперсія вартостей визначається з співвідношення

$$\sigma_{kij}^2 = (k_{\text{э}ij} \cdot c_{kij})^2,$$

де σ_{kij} – середнє квадратичне відхилення випадкової вартості від середньої на k -ій ділянці дороги з i в j ; $k_{\text{э}ij}$ – емпіричний коефіцієнт, який приймають рівним $0,05l^{\frac{1}{3}} \sqrt{\frac{r_{kij}}{q_{kij}}}$; r_{kij} – інтенсивність руху на k -ій ділянці дороги між пунктами (i, j) , од./хв.; q_{kij} – число смуг на k -ій ділянці дороги між пунктами (i, j) ; l – категорія дороги, $l = 1, 2, 3, 4, 5$; c_{kij} – середня вартість перевезень одиниці вантажу для k -ої ділянки дороги між пунктами (i, j) . Число полос (q_{kij}) грає роль фактора, який стабілізує швидкість руху автомобіля на відповідній ділянці.

Таким чином, отримані співвідношення дозволяють розрахувати основні статистичні характеристики (математичне очікування і дисперсію) випадкової величини вартості перевезень одиниці вантажу з одного пункту до другого з урахуванням основних параметрів магістралі, яка їх з'єднує, і умовами, в яких реалізується перевезення.

У п'ятому розділі наведено результати практичної реалізації розробленої методики розв'язання стохастичної транспортної задачі. Шість великих виробників палива ЗАТ «Вік Ойл», ЗАТ «Новойл», ТОВ «ТНК-ВР Колмарс», НК «Альміс-Україна», ПП «Лукойл-Україна», ГАО «Укргазвидобування» постачають бензин до ста двох пунктів споживання. Уведено матрицю середніх вартостей доставки одиниці продукту від виробників до споживачів і матрицю дисперсій цих вартостей, які розраховані за запропонованою методикою. Для визначення граничної сумарної вартості перевезень з використанням методу мінімального елемента матриці складено опорний план задачі X_0 .

При цьому, оскільки всі реальні вартості перевезень є випадковими величинами, то випадковою буде й величина сумарної вартості перевезень. Вважалось, що план перевезень не задовольняє вимогам, тобто невдалий, якщо сумарна вартість перевезень перевищить припустиму вартість. Як граничну вартість R_n обрано величину, що на 5% перевищує середню вартість перевезень та відповідає методу мінімального елемента матриці. Проведено відшукування плану, для якого ймовірність перевищення випадковою сумарною вартістю величини R_n буде мінімальна.

Для отримання плану використана ітераційна процедура послідовного покращення початкового плану.

Оптимальний план отримано після трьох ітерацій поліпшення початкового плану. На рис. 2 наведено графіки зміни середнього значення та дисперсії

сумарної вартості перевезень. На рис. 3 відображена послідовність значень основного критерію – імовірність перевищення випадковою сумарною вартістю транспортування заданої граничної величини, еволюція якого визначає поліпшення плану.

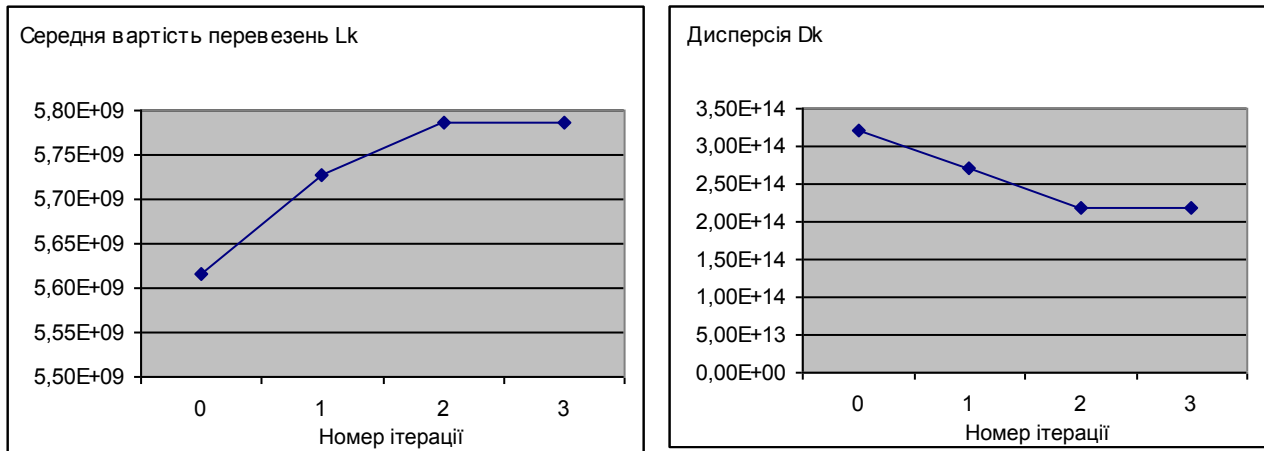


Рис. 2. Графіки зміни визначальних параметрів послідовних рішень задачі

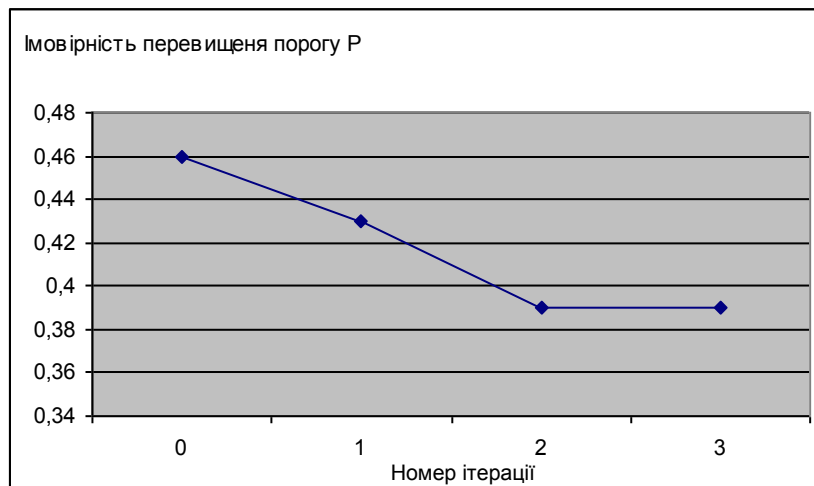


Рис. 3. Графік послідовності значень імовірності перевищення випадковою сумарною вартістю транспортування допустимого значення

Показано, що введення проміжних складів може істотно підвищити ефективність доставки нафтопродуктів споживачам. Для відшукування структури й параметрів системи «постачальники–проміжні центри–споживачі» розроблена технологія рішення стохастичних транспортних задач із проміжними центрами. Блок-схема процедури рішення задачі наведена на рис. 4. Імовірність перевищення допустимого порогового значення сумарної вартості транспортувань при використанні проміжних складів знижується до 0,36.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі наведено теоретичне узагальнення та розв'язання науково-практичної задачі розробки інформаційних технологій для системи підтримки рішень задач управління транспортними потоками високої розмірності в умовах малої вибірки вихідних даних. Основні результати проведених досліджень: розробка методів розв'язання задач транспортної логістики високої та надвисокої розмірності; розробка методів розв'язання задач планування й управління перевезеннями з урахуванням стохастичного характеру малої вибірки вихідних даних. Проведені дослідження дозволяють сформулювати наступні висновки:

1. Розроблена інформаційна технологія розв'язання задач транспортної логістики зі стохастичним попитом, яка дозволяє отримати план транспортувань, що мінімізує сумарну вартість перевезення з урахуванням середніх витрат на зберігання непроданої частини товару та середніх втрат від його дефіциту.

2. Для випадку, коли щільність розподілу випадкової величини попиту оцінити неможливо, розв'язання транспортної задачі відшукується з використанням мінімаксної процедури. Показано, що якнайгірша щільність розподілу розраховується з використанням математичного апарату континуального лінійного програмування.

3. Запропоновано технологію розв'язання транспортної задачі з випадковими вартостями перевезень за критерієм імовірності перевищення сумарною вартістю перевезення допустимого порогового значення.

4. Показано, що багатоіндексна стохастична задача оптимізації транспортувань у системі «постачальник–проміжні центри–споживачі» для випадку, коли положення проміжних центрів задано, зводиться до трьохіндексної несиметричної транспортної задачі лінійного програмування. Зважаючи на високу розмірність задачі, запропоновані наближені процедури її розв'язання. Проведена оцінка ефективності наближених методів. Показано, що моделлю багатопродуктової стохастичної транспортної задачі з урахуванням відмінностей в засобах доставки є чотирьохіндексна трипланарна транспортна задача. Розв'язання задачі досягається шляхом розв'язання послідовності трипланарних задач.

5. Розроблена інформаційна технологія розрахунку статистичних характеристик випадкових вартостей перевезень, яка враховує основні чинники впливу (рельєф місцевості, категорія дороги, витрати палива залежно від типу транспортного засобу і т.д.). Показано, що з урахуванням чинників впливу вартість перевезення – випадкова величина, середнє значення та дисперсія якої розраховуються.

6. Розроблена методика відшукування раціонального плану транспортувань реалізована в практичній задачі. При цьому отримано план транспортувань, який мінімізує імовірність перевищення випадковою вартістю перевезень заданого порогу. Показано, що введення проміжних пунктів істотно покращує план за вибраним критерієм.

7. Результати дослідження впроваджені в діяльності АТ «Укртатнафта», ПП «Транзит-Сервіс» та використовуються в навчальному процесі КрНУ.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Бачкір Л. В. Використання засад логістики для організації ефективного обслуговування споживачів / Л. В. Бачкір // Регіональні перспективи. – Кременчук, 2002.– № 6 (25). – С. 120-122.

2. Бачкір Л. В. Транспортна задача зі стохастичним попитом / О. В. Сіра, Л. В. Бачкір // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – 2006. – Вип. 6 (41), Ч. 1. – С. 22-25.

Здобувачу належить метод розрахунку стохастичних параметрів моделі задачі.

3. Бачкир Л. В. Стохастическая задача транспортной логистики / О. В. Серая, Л. В. Бачкир, А. Л. Томашевич // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – № 31. – С. 112-117.

Здобувач побудував моделі транспортної задачі з урахуванням невизначеності вихідних даних.

4. Бачкир Л. В. Стохастическая задача коммивояжера / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Вісник Національного технічного університету «Харківський політехнічний інститут». – Харків : НТУ «ХПІ», 2006. – № 40. – С. 169-173.

Здобувачу належить модель задачі комівояжера в умовах невизначеності.

5. Бачкір Л. В. Прийняття рішень щодо управління вантажопотоком в умовах невизначеності / Л. В. Бачкір // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2007. – Ч. 2. – № 6 (47). – С. 50-52.

6. Бачкир Л. В. Декомпозиционный генетический алгоритм решения задачи коммивояжера высокой размерности / О. В. Серая, И. В. Зинченко, Л. В. Бачкир // Інформаційно-керуючі системи на залізничному транспорті. – 2007. – № 1. – С. 23-26.

Здобувач розробив процедуру декомпозиції при використанні генетичного алгоритму для розв'язання задачі комівояжера.

7. Бачкир Л. В. Сепарабельная процедура решения многоиндексных нелинейных транспортных задач / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 1/2. – С. 54-56.

Здобувачу належить ітераційна процедура розв'язання багатоіндексних нелінійних транспортних задач.

8. Бачкир Л. В. Минимаксный подход к решению транспортной задачи со случайным спросом / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. – 2007. – № 775. – С. 11-16.

Здобувачем запропоновано метод відшукування найгіршої щільності розподілу випадкових параметрів задачі.

9. Бачкир Л. В. Стохастические транспортные задачи с промежуточными центрами / О. В. Серая, Л. В. Бачкир, И. В. Зинченко // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2007. – № 2/6. – С. 3-5.

Здобувач запропонував модель транспортної задачі з проміжними центрами.

10. Бачкир Л. В. Стохастическая кластеризация в задачах большой размерности / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Східно-Європейський журнал передових технологій. – 2008. – № 4/3. – С. 39-41.

Здобувачем запропоновано методикау зниження розмірності комбінаторних задач з використанням кластеризації.

11. Бачкир Л. В. Оценивание состояния с использованием нечеткой регрессии / О. В. Серая, Т. И. Каткова, Л. В. Бачкир // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». – К.: Век+, 2008. – № 49. – С. 140-145.

Здобувачу належить формулювання критерію оцінки якості оцінювання стану об'єкту.

12. Бачкир Л. В. Комплексная методика расчета статистических характеристик стоимости транспортировок / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету імені Михайла Остроградського. – 2009. – Ч. 1. – № 5/2009 (58) . – С. 40-43.

Здобувач запропонував методикау розрахунку окремих статистичних характеристик вартості транспортувань.

13. Бачкир Л. В. Параметризация задачи транспортной логистики со случайным спросом / О. В. Серая, Л. В. Бачкир // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – Луганськ, 2010. – Ч. 1. – № 4 (146). – С. 128-132.

Здобувачу належить метод параметризації моделі транспортної задачі.

14. Бачкір Л. В. Удосконалення технології використання ресурсів в концепції SCM / Л. В. Бачкір // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету: наукові праці КДПУ. – 2002. – № 4 (15). – С. 88-89.

15. Бачкір Л. В. Прийняття рішень щодо питань управління постачанням на промислових підприємствах / Л. В. Бачкір // X наук.–техн. конф. молодих вчених і спеціалістів КДПУ : тези науков. доп. – Кременчук, 2003. – С. 110-111.

16. Бачкир Л. В. Решение стохастических транспортных задач по вероятностному критерию / Л. В. Бачкир // Тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я». – Харків : НТУ «ХПІ», 2011. – Ч. IV. – С. 361.

АНОТАЦІЇ

Бачкір Л.В. Інформаційні технології для системи підтримки рішень задач транспортної логістики в умовах малої вибірки вихідних даних. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», Харків, 2013.

Дисертаційна робота присвячена розв'язанню науково-практичної задачі щодо розробки інформаційних технологій для системи підтримки рішень задач транспортної логістики високої розмірності в умовах малої вибірки стохастичних вихідних даних.

У роботі розглянута транспортна задача зі стохастичним попитом, щільність розподілення якого відома. Показано, що коректний облік випадкового характеру попиту дозволяє отримати план транспортувань, який мінімізує сумарну вартість перевезень із урахуванням середніх витрат на зберігання непроданої частки товару та середніх втрат від його дефіциту. Для випадку, коли щільність розподілення випадкової величини попиту оцінити неможливо, розв'язання транспортної задачі відшукується з використанням мінімаксної процедури. Розв'язана транспортна задача з випадковими перевезеннями. Критерієм ефективності розв'язання запропонована ймовірність перевищення сумарної вартості перевезень допустимого значення.

Сформульована та розв'язана стохастична задача оптимізації транспортувань у системі «постачальник–проміжні центри–споживачі». При цьому показано, що задача зводиться до трьохіндексної несиметричної транспортної задачі лінійного програмування.

Розглянута методика розрахунку вартості перевезень з урахуванням основних факторів впливу (рельєф місцевості, категорія дороги, витрати палива, тощо). Показано, що з урахуванням факторів впливу вартість перевезень – випадкова величина. Розроблена методика пошуку раціонального плану транспортувань реалізована в практичній задачі.

Ключові слова: інформаційна технологія, системний аналіз, транспортна логістика, принцип оптимізації та методи прийняття рішень за умов невизначеності, висока розмірність задач.

Бачкир Л.В. Информационные технологии для системы поддержки решения задач транспортной логистики в условиях малой выборки исходных данных. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – информационные технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», Харьков, 2013.

Диссертационная работа посвящена решению научно-практической задачи по разработке информационных технологий для системы поддержки решения задач транспортной логистики высокой размерности в условиях малой выборки стохастических исходных данных.

Основные направления проведенных исследований: разработка методов решения задач транспортной логистики высокой и сверхвысокой размерности; разработка методов решения задач планирования и управления перевозками с учетом стохастического характера исходных данных.

В работе рассмотрена транспортная задача со стохастическим спросом, плотность распределения которого известна. Показано, что корректный учет

случайного характера спроса позволяет получить план транспортировок, минимизирующий суммарную стоимость перевозки с учетом средних затрат на хранение непроданной части товара и средних потерь от его дефицита. Для решения задачи предложена итерационная процедура, использующая на каждом шаге метод Нелдера-Мида.

Для случая, когда плотность распределения случайной величины спроса оценить не представляется возможным, решение транспортной задачи отыскивается с использованием минимаксной процедуры. При этом наилучший по эффективности план находится в предположении о том, что неизвестная плотность распределения спроса есть наихудшей с точки зрения возникновения непроданного остатка, а также возможного дефицита товара. Для решения задачи использован математический аппарат континуального линейного программирования.

Рассмотрена транспортная задача со случайными стоимостями перевозок. В качестве критерия эффективности решения предложена вероятность превышения суммарной стоимостью перевозки порогового значения. Показано, что задача сводится к максимизации дробно-квадратичной функции, реализуемой с использованием предложенной итерационной процедуры. На каждом шаге этой процедуры решается обычная задача квадратичного программирования. Кроме этого, показано, что приближенное решение задачи может быть получено с применением итерационной процедуры, на каждом шаге которой решается обычная задача линейного программирования.

Сформулирована и решена стохастическая задача оптимизации транспортировок в системе «поставщик–промежуточные центры–потребители». Задача сведена к трехиндексной несимметричной транспортной задаче линейного программирования. Предложены приближенные процедуры ее решения, проведена оценка их эффективности. Рассмотрены многопродуктовые стохастические транспортные задачи. Показано, что трехиндексная биаксиальная задача, возникающая при решении многопродуктовой стохастической транспортной задачи, может быть сведена к совокупности двухиндексных транспортных задач, которые решаются независимо. При этом моделью многопродуктовой стохастической транспортной задачи с учетом различий в средствах доставки является четырехиндексная трипланарная транспортная задача. Решение задачи достигается путем последовательного решения трипланарных задач.

Рассмотрена методика расчета стоимости перевозок, учитывающая основные влияющие факторы (рельеф местности, категория дороги, расход топлива и т.д.). Показано, что с учетом влияющих факторов стоимость перевозки – случайная величина. Разработанная методика отыскания рационального плана транспортировок реализована в практической задаче. Показано, что введение промежуточных пунктов существенно улучшает план по критерию вероятности превышения суммарной стоимости перевозки порогового значения.

Ключевые слова: информационная технология, системный анализ, транспортная логистика, принцип оптимизации и методы принятия решений в условиях неопределенности, высокая размерность задач.

Bachkir L.V. Information technology for a system of task support decision of transport logistics in a term of small sample of basic data. – As the manuscript.

Thesis for a Candidate's degree in Technical Sciences by speciality 05.13.06 – information technologies. – National Technical University «Kharkiv Politechnical Institute», Kharkiv, 2013.

Dissertation work is devoted to solution of the scientific and practical task for the development of information technology for system support of solving the problem of transport logistics of high dimensionality in small sample of the original data. The transportation problem with a stochastic demand, which density function is known, is considered. In a case when it is not obviously possible to estimate a density function of a random variable of demand, transportation problem solution is based on the application of min-max procedure.

Then in the work the transportation problem with casual costs of transportations is considered. As a criterion of efficiency of solution the probability of excess in total cost of transportation of threshold value is offered.

The stochastic optimization problem of transportations in system «the supplier – intermediate centers – consumers» is formulated. The task is shown to a three-index nonsymmetric transportation problem of linear programming.

The method of calculating the cost of transport, taking into account the main influencing factors. The developed technique for finding a rational plan for transportation is implemented in a practical problem. The introduction of intermediate points significantly improves the plan by the criterion of the probability of exceeding the total transportation cost threshold.

Key words: information technology, a system analysis, transport logistics, the principle of optimization and decision-making methods in the conditions of uncertainty, high dimension of tasks.

