УДК 681.5 (07)

В.Б. Задоров, Е.В. Федусенко, А.О. Федусенко

Київський національний університет будівництва і архітектури

ЗАСТОСУВАННЯ МЕТОДІВ БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНОЇ ОПТИМІЗАЦІЇ ДО ПЛАНУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Запропоновано багатокритеріальну модель, яка дозволить збільшити ефективність управління перевезенням вантажів у динамічній транспортній мережі за рахунок складання попереднього плану перевезень з урахуванням основних чинників.

Ключові слова: багатокритеріальна оптимізація, системний аналіз, декомпозиція, однокрітеріальна оптимізація, математична модель

Постановка проблеми

Поява на ринку безліч вантажоперевізників загострила конкурентну боротьбу і змусила учасників даного ринку шукати нові конкурентні переваги. Однією з таких переваг є зниження фінансових втрат від неефективної організації доставки вантажу. Застосування методів багатокритеріальної оптимізації дасть змогу не тільки максимізувати прибуток, але й мінімізувати час доставки вантажу. При цьому слід враховувати, що частка транспортних витрат у формуванні ціни на сучасну продукцію сягає, під час, 50%. Виходячи із вищенаведеного, можна зробити висновок, що завдання підвищення ефективності вантажоперевезень за рахунок використання методів багатокритеріальної оптимізації в динамічній транспортній мережі є одним з найактуальніших у вантажоперевезеннях.

Аналіз основних досліджень

Дана задача відноситься до класу багатокритеріальних задач. Розглянемо загальну постановку такої задачі.

Для кожного об'єкта (проекту, мінімізація витрат і т. п.) вводять вектор - критерій $\vec{n} = (N_1, N_2, .., N_m)$, в якому власний критерій N_j представляє функцію параметрів x_1, x_2 ,..., x_n (які визначають, наприклад, характеристики управління проектом і т. п.). Функціональна залежність власних критеріїв задається від параметрів задачі, і тоді основна математична модель багатокритеріальної оптимізації буде сформульована так:

$$\begin{cases} f_j(\bar{x}) \to \min_{x \in R_n} \\ X = \left\{ \vec{x} \big/ \vec{x} \in R_n, q_в(\vec{x}) \le 0 \right\} \; e \in 1, \vec{v} < n \end{cases} \qquad (1)$$

В цій моделі X - безліч допустимих рішень, що задовольняють певним обмеженням, які дані у вигляді системних нерівностей $q_в(\vec{x}) \le 0$ накладених на вектор параметрів $\vec{x} = (X_1, X_2, ..., X_n)$.

Функція f_j $(X_1, X_2, ..., X_n)$ буде називатися j - тою цільовою функцією, а вся сукупність $f_1(\overline{x_1}),...., f_m(\overline{x_m})$ утворює векторну цільову функцію багатокритеріальної оптимізації.

Одним з можливих шляхів вирішення багатокритеріальних задач є шлях перетворення з багатокритеріальної задач в однокрітеріальну.

Розглянемо більш детально такий підхід, наведений в [1].

Відзначимо, що оскільки F(x) є певним вектором, то будь-які компоненти F(x) є конкуруючими і немає якогось єдиного розв‘зку поставленої задачі.

Замість нього для опису характеристик цілей використовується концепція безлічі точок розв‘язків, які не покращуються (так звана оптимальність за Паретто). Розв‘язком, що не покращується, будемо називати таке рішення, при якому поліпшення в одній з цілей призводить до погіршення в іншій.

Розглянемо дану концепцію детальніше. Нехай існує якась область допустимих розв'язків Ω в параметричному просторі. Даний простір задовольняє всі прийняті обмеження, тобто

$\Omega = \{x \in R_n\}$ при заданих в (1) обмеженнях.

Звідси можливо визначити відповідну область допустимих розв‘язків для простору цільових функцій Λ.

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

Визначення точки розв‘язку, що не покращується, наведено в роботі [2]. Точка $x^* \in \Omega$ є рішенням, що не покращується, якщо для деякого околу x^* немає ніякого Δx такого, що

$(x^* + \Delta x) \in \Omega$ і

$$F_i (x^* + \Delta x) \le F_i (x^*),\ i = 1, ..., m \qquad (2)$$

$F_j (x^* + \Delta x) \le F_j (x^*)$, для деякого j.

Оскільки будь-яка з точок простору Ω, тобто простору, що не має точок, що погіршуються, є точкою, в якій будь-яке поліпшення може бути досягнуто у всіх вибраних цілях, то ясно, що така точка не є цінною. Отже, багатокритеріальна оптимізація повинна містити в собі певну генерацію та вибір точок з розв‘язками, які не покращуються [1].

Наступним шляхом для розв‘язання багатокритеріальної задачі є її декомпозиція, тобто розбиття, на окремі однокрітеріальні задачі оптимізації. Приклад такої декомпозиції можна знайти в [3].

Однією з проблем, яка виникає при розв‘язанні поставленої задачі є проблема знаходження найкоротшого шляху між двома вершинами (вузлами) транспортної мережі. Розглянемо більш детально постановку задачі знаходження найкоротшого шляху.

Постановка задачі [4]. Нехай є орієнтований граф G (x, y), де кожній дузі (x, y) поставлено у відповідність число (x, y), яке будемо називати довжиною дуги. Якщо в графі G відсутня якась дуга (x, y) припустимо, що a (x, y) = ∞. Визначимо довжину шляху як суму дуг складових цього шляху. Для будь-яких двох вершин s і t можуть існувати кілька шляхів, що з'єднують їх. Найкоротшим шляхом між вершинами s і t будемо називати шлях, який має мінімально можливу довжину. Існують різні алгоритми для знаходження найкоротшого шляху.

Розглянемо основні з них:

1. Хвильовий алгоритм;
2. Алгоритм Форда-Беллмана;
3. Алгоритм Флойда;
4. Алгоритм Дейкстри;

Ми будемо використовувати алгоритм Дейкстри.

Мета досліджень

Метою є розробка математичної моделі оптимізації перевезень в динамічній транспортній мережі, яка дозволить:

– знайти найкоротший шлях перевезень;
– урахувати основні чинники, які впливають на перевезення, такі як – стан шляхів, швидкість авто, маса авто тощо;
– мінімізувати вартість перевезень.

Виклад основного матеріалу

Побудова математичної моделі

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

Основною характеристикою замовлення на вантажоперевезення є:

– важливість;
– вартість доставки;
– час доставки від виробника до споживача;
– неустойка за квант часу в разі затримки вантажу в дорозі.

Основними характеристиками вантажівок є:

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

Основною характеристикою вузла є:

– кількість автомобілів кожного типу в певному вузлі.

Основними характеристиками дуги транспортної мережі є:

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

Загальна проблема управління процесом перевезення вантажів у динамічній транспортній мережі полягає у розподілі замовлень між вантажоперевізниками, тобто між вузлами транспортної мережі та доставкою вантажів таким чином, що б забезпечити оптимальне перевезення всієї множини вантажів.

Постановка задачі

Нехай:

T = (1,2, ..., m1) - множина тактів планування;

Z = (1,2, .., n1) - множина замовлень.

Основними характеристиками замовлення є:

Ckb – ціна k-го замовлення в b - й такт планування;

Stkb – штраф за день прострочення k-го замовлення в b – й такт планування;

Tdkb – час за який необхідно доставити k-й замовлення в b – й такт планування;

Trkb – реальний час доставки k-го замовлення в b - й такт планування;

Gkb – обсяг k-го замовлення в b – й такт планування;

Wkb – важливість k-го замовлення в b – й такт планування.

Важливість k-го замовлення буде визначатися, виходячи із строку замовлення та оплати, тобто найбільш важливим є замовлення з найменшим строком та найбільшою оплатою. Таке замовлення можна визначати методом ідеальної точки

A = (1,2, .., m) – множина автомобілів різних типів s = 1 .. m;

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

v_s – швидкість автомобіля s-го типу;

m_s – маса автомобіля s-го типу;

g_s – вантажопідйомність автомобіля s-го типу;

U = (1,2, .., n) - множина вузлів транспортної мережі;

$L = \left\|l_{ij}\right\|_{n\times n}$ - довжина дуги між вузлами i і j, якщо вузли не з'єднані дугою то $l_{ij} = 0$;

$Tp = \left\|tp_{ij}\right\|_{n\times n}$ – тип покриття дуги між вузлами і та j, якщо вузли не з'єднані дугою то $t_{pij} = 0$;

$P = \left\|p_{ij}\right\|_{n\times n}$ – пропускна здатність дуги між вузлами і та j, якщо вузли не з'єднані дугою то $p_{ij} = 0$;

$F = \left\|f_{ij}\right\|_{n\times n}$ – імовірність зміни часу проїзду по дузі між вузлами і та j, якщо вузли не з'єднані дугою то $f_{ij} = 0$.

Варійовані параметри

x_{ijskb}=1, якщо s авто в такт часу b для заказу k буде знаходитися на дузі і j

x_{ijskb}=0, інакше час проїзду дуги ij автомобілем s-го типу для k-го замовлення в b-й такт планування буде розраховуватися за формулою (3):

$$t_{ijakb} = \begin{cases} \dfrac{l_{ij}}{V_{ak} + dv_{ijakb}(tp_{ij})}, \text{якщо час не збільшився в дорозі} \\ \dfrac{l_{ij}}{V_{ak} + dv_{ijakb}(tp_{ij})} + \Delta t, \text{якщо час дороги збільшився} \end{cases},$$

де Δt – величина збільшення часу шляху dv_{ijsk} (tp_{ij}) – зміна швидкості руху автомобіля s-го типу по дузі ij залежно від типу покриття цієї дуги, для k - го замовлення в b-й такт планування.

Збільшення часу шляху відбувається залежно від імовірності f_{ij}.

Тоді задача формулюється наступним чином: потрібно визначити оптимальний графік поставок на транспортній мережі для кожного такту планування, такий, що час доставки кожного вантажу був би мінімальним, а прибуток за кожен такт планування максимальним.

Цільові функції даної задачі будуть мати такий вигляд (4)

$$\sum_{b=1}^{m1}\sum_{k=1}^{n1}\sum_{s=1}^{m}\sum_{j=1}^{n^2}\sum_{i=1}^{m^2} t_{ijskb}\cdot x_{ijskb} \to \min \qquad (4)$$

$$\sum_{b=1}^{m1} Pr_o \to \max ,$$

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

$$Pr_o = \sum\nolimits_{k=1}^{n1}(C_k - R_k - Cs_k) \qquad (5)$$

$$C_{sk} = (T_{dsk}\text{-}T_{rsk}) * S_{tsk} \qquad (6)$$

Обмеження нашої моделі будуть мати такий вигляд (7) - (8).

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

$$\sum\nolimits_{s=1}^{m}\sum\nolimits_{j=1}^{n^2}\sum\nolimits_{i=1}^{n^2} M_s \cdot x_{ijskb} \le p_{ij} \ . \qquad (7)$$

Сумарна вантажопідйомність автопарку повинна бути більше або дорівнює обсягу вантажу поточних замовлень.

$$\sum_{s=1}^{m} Q_s \ge G_k \qquad (8)$$

$$x \in \{0,1\},\ t_{ijskb} \ge 0 \qquad (9)$$

Аналіз обраного методу

Розглянемо узагальнений алгоритм розв'язання поставленої задачі. Для цього приймемо за один такт планування – 1 день.

Таким чином задача зводиться до щоденного формування плану перевезень замовлень, які надійшли за день, на наступний день. Для формування такого плану можна використовувати фронтальний алгоритм, описаний в роботі [5].

Узагальнений алгоритм роботи буде такий:

Крок 1. Визначення важливості всіх замовлень, що надійшли методом ідеальної точки і їх сортування за даним параметром. Важливість визначається за двома параметрами: ціною і терміном замовлення. Таким чином замовлення будуть відсортовані за максимальним прибутком.

Для сортування можна використовувати будь-який з відомих методів сортування, наприклад, метод сортування вибором.

Крок 2. Для поточного замовлення виділяються всі наявні на даний момент ресурси, розраховується оптимальний шлях методом Дейкстри і визначається прибуток, отриманий з цього замовлення. Якщо ОПР все влаштовує, то замовлення ставиться на виконання і складається докладний графік проходження замовлення по днях. Перед використанням методу Дейкстри розраховується матриця часу проїзду по кожній дузі для кожної машини цього замовлення.

Даний крок повторюється для всіх замовлень,що стоять у черзі на виконання. При цьому з кожним прийнятим замовленням прохідність дуг, по яких він буде проїжджати в певний час, зменшується на вагу вибраних для виконання замовлення автомобілів. Якщо пропускна здатність дуги падає до 0, то вона виходить з транспортної мережі, до тих пір поки пропускна здатність не збільшиться.

Схема алгоритму показана на рис.1.

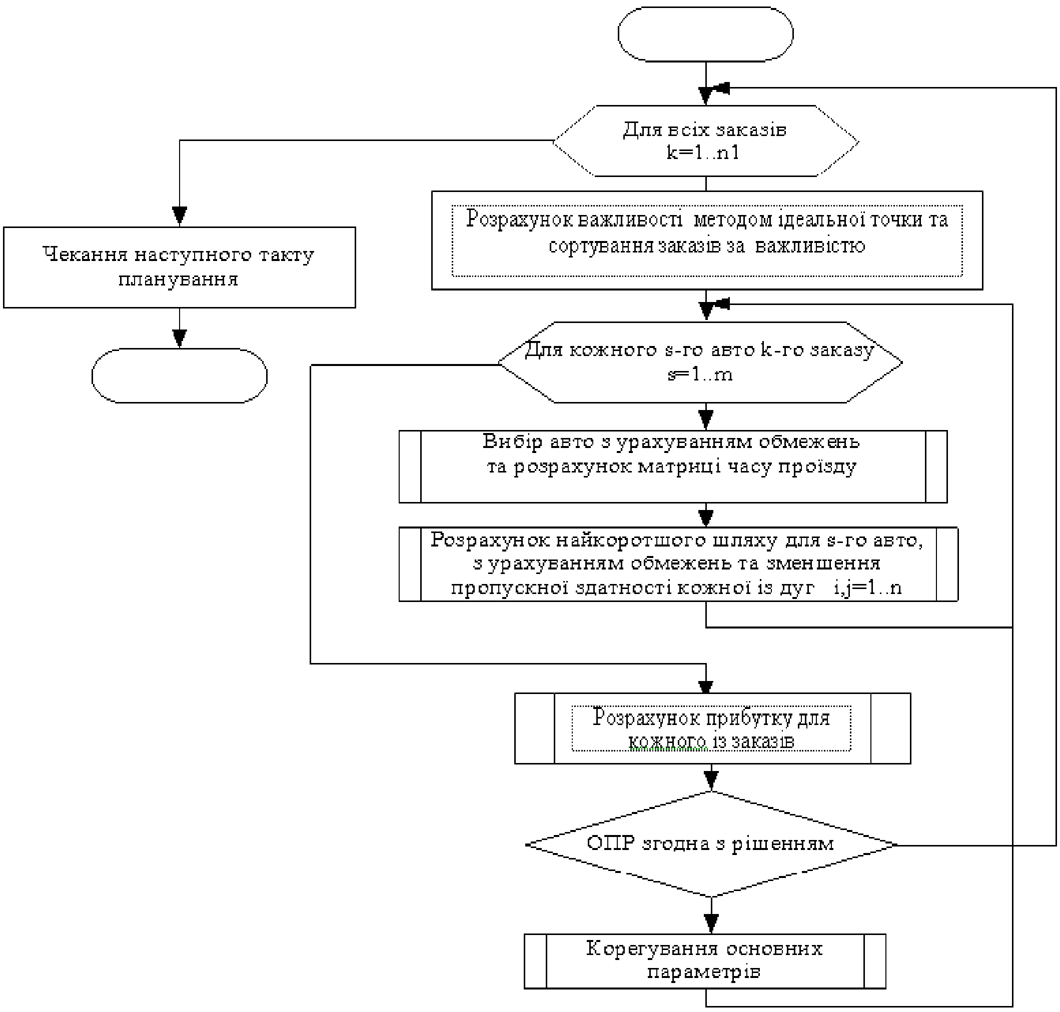

Рис.1. Узагальнена схема алгоритму

Висновки

Запропоновано математичну модель багатокритеріальної оптимізації вантажоперевезень у динамічній транспортній мережі, а також алгоритм вирішення даної моделі з використанням методів ідеальної точки і Дейкстри. Такий підхід дозволяє складати графік вантажоперевезень для кожного такту планування.

Список літератури

1. *Денисенко Т. И. Проблемы многокритериальной оптимизации/Т.И. Денисенко // Сборник научных трудов СевКавГТУ. 2006. № 2. С. 9-11.*
2. *Трифонов А.Г. Многокритериальная оптимизация / А.Г. Трифонов // Консультационный центр MATLAB: раздел Optimization Toolbox. – Интернет-ресурс: http://matlab.exponenta.ru/optimiz/book_1/16.php*
3. *Прилуцкий М.Х. Оптимальное распределение ресурсов в задачах календарного и объемно-календарного планирования /М.Х Прилуцкий, С.Е.Власов//Труды Нижегородского государственного технического университета. Системы обработки информации и управления. 2004, вып. 11. С. 31-36.*
4. *Таха Введение в исследование операцій / Таха, А.Хэмди. – М.: Изд. дом “ Вильямс”, 2005. – 912 с.*
5. *Седжвік Р. Фундаментальні алгоритми на С ++. Алгоритми на графах. / Р. Седжвік. - СПб: ООО «ДиаСофтЮП», 2002.-496с.*
6. *Денисенко Т. І. Проблеми багатокритеріальної оптимізації./ Денисенко Т. І. //Зб. Наук. пр.. СевКавГТУ. Серія «Природничонаукова». 2006. № 2 стр 10.*

Стаття надійшла до редколегії: 24.05.2010

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Цюцюра, Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ