

УДК 656.11.021.2

КОРИГУВАННЯ МАТРИЦІ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ ЧЕРЕЗ ЗНАЧЕННЯ ІНТЕНСИВНОСТІ ПОТОКІВ НА ДІЛЯНКАХ МЕРЕЖІ

Д.В. Засядько, аспірант, ХНАДУ

Анотація. Запропоновано методу коригування матриці транспортних кореспонденцій на основі значень інтенсивності транспортних потоків на ділянках мережі за допомогою лінійного програмування. Методика може бути використана у прикладних дослідженнях транспортних мереж міст з метою оптимізації їх функціонування.

Ключові слова: інтенсивність транспортного потоку, матриця транспортних кореспонденцій, коригування матриці кореспонденцій.

КОРРЕКТИРОВКА МАТРИЦЫ ТРАНСПОРТНЫХ КОРЕСПОНДЕНЦИЙ ЧЕРЕЗ ЗНАЧЕНИЯ ИНТЕНСИВНОСТИ ПОТОКОВ НА УЧАСТКАХ СЕТИ

Д.В. Засядько, аспирант, ХНАДУ

Аннотация. Предложена методика корректировки матрицы транспортных корреспонденций на основе значений интенсивности транспортных потоков на участках сети с помощью линейного программирования. Методика может быть использована в прикладных исследованиях транспортных систем городов с целью оптимизации их функционирования.

Ключевые слова: интенсивность транспортного потока, матрица транспортных корреспонденций, корректировка матрицы корреспонденций.

ADJUSTMENT OF TRIP MATRIX USING TRAFFIC INTENSITY VALUES AT TRANSPORT LINKS

D. Zasiadiko, postgraduate, KhNAHU

Abstract. The technique for trip matrix adjustment on the basis of transport flows intensity values at transport links by means of linear programming is offered. The given technique can be applied in investigation of city transportation systems for optimizing their functioning.

Key words: traffic intensity, trip matrix, matrix adjustment.

Вступ

В сучасних умовах питання оптимізації руху транспортних потоків у великих містах потребує особливої уваги, оскільки зростання інтенсивностей руху транспорту за недостатності пропускної здатності міських вулиць призводить до погіршення екології міста, збільшення втрат часу на проїзд та кількості дорожньо-транспортних подій. Затори на міських вулицях призводять до значних збитків через перевитрати пального та витрати часу,

а також до аварій, які, у свою чергу, збільшують імовірність виникнення заторів. Важливість проблеми транспортних заторів відзначають усі дослідники сфери транспорту. Для розв'язання цієї проблеми було запропоновано декілька потенційних рішень як з точки зору планування міст, так і з точки зору керування транспортними потоками. Ці рекомендації включають у себе: заборони і обмеження руху транспорту (наприклад, підвищення податків на використання автомобілів, заборону руху транспорту у певні дні

тижня або години доби, заборону руху вантажного транспорту певними ділянками вулиць тощо), збільшення пропускної здатності транспортних систем (розширення вулиць і доріг, побудова нових ділянок доріг, поліпшення технічного стану існуючих доріг тощо), поліпшення стратегії керування дорожнім рухом (встановлення технічних засобів регулювання руху та оптимізація їхньої роботи, тобто організація світлофорного регулювання на перехрестях, організація колового руху на перехрестях, реверсивний рух тощо), створення системи АСУ дорожнього руху. Однак більшість транспортних проблем є доволі комплексними, і їх вирішення потребує значних фінансових вкладень. Наприклад, розширення дороги може спонукати деяких водіїв змінити маршрути свого руху, що, у свою чергу, може збільшити інтенсивність руху цієї ділянкою та знову призвести до утворення заторів. Крім того, треба брати до уваги соціальні чинники.

Аналіз публікацій

Дослідження та удосконалення транспортної мережі міста є доволі складною задачею, оскільки експерименти з цією системою є неможливими або небажаними.

Створення моделі транспортної мережі у процесі дослідження дозволяє розширити можливості дослідників. Транспортну мережу міста представимо у вигляді плоского графа [1]. Територія міста розділяється на окремі транспортні райони згідно з рекомендаціями [1, 2]. Умовні центри транспортних районів та основні перехрестя подаються як вершини графа, а ділянки міських вулиць і доріг – як дуги графа. Закордонні дослідники [3, 4] пропонують виділяти окремо перехрестя (вузли) та центри транспортних районів (так звані «центроїди»). Причому виникнення та поглинання транспортних потоків відбувається тільки у центроїдах. Як окремі вузли виділяються в'їзди та виїзди з міста.

Однією з проблем при моделюванні транспортної мережі є відтворення закономірностей розподілу потоків на мережі.

Реалізована потреба у переміщенні між транспортними районами зазвичай описується за допомогою матриці кореспонденцій. Кожен елемент цієї матриці показує кількість переміщень від одного транспортного району до

іншого за певний період часу (зазвичай одну годину). Найчастіше матрицю кореспонденцій розраховують для вранішнього пікового періоду зростання інтенсивності транспортних потоків.

При проведенні експериментів з моделлю транспортної мережі змінюють конфігурацію графа транспортної мережі відповідно до запропонованих заходів з удосконалення транспортної мережі; при цьому матрицю кореспонденцій до та після змін вважають незмінною. Розподіл кореспонденцій на новій конфігурації мережі дає нові значення інтенсивності транспортних потоків на мережі, і ми можемо оцінити імовірний стан транспортної системи після впровадження запропонованих заходів.

До 70-х років минулого століття матрицю кореспонденцій розраховували за допомогою статистичних досліджень (інтерв'ю, анкетних опитувань тощо). З розвитком суспільства та через швидкі темпи зростання кількості автомобілів такі опитування ставали дедалі складнішими, дорожчими та більш розтягнутими у часі [3].

За неможливості отримати безпосередньо саму матрицю кореспонденцій можна спробувати спрогнозувати матрицю транспортних кореспонденцій через значення обсягів відправлення та прибуття автомобілів у кожному транспортному районі. У свою чергу, ці обсяги з відправлення та прибуття визначають непрямими методами через кількість місць для паркування, кількість гаражів або обсяги виїжджаючих та приїжджаючих автомобілів з автотранспортних підприємств тощо.

На основі цих даних за допомогою різного типу математичних моделей виконується розрахунок матриці кореспонденцій. Зазвичай використовується гравітаційна модель.

Згідно з цією моделлю кореспонденція з транспортного району i у транспортний район j визначається за формулою [2]

$$H_{ij} = HO_i \frac{HP_j \cdot D_{ij} \cdot K_j}{\sum_{i=1}^n HP_i \cdot D_{ji} \cdot K_i}, \quad (1)$$

де D_{ij} – функція тяжіння між i -м та j -м районами; K_j – балансувальний коефіцієнт;

n – кількість транспортних районів у мережі; i, j – номери транспортних районів; HO_i – ємність з відправлення з району i , авт./год; HP_j – ємність з прибуття у район j , авт./год.

При цьому, по-перше, сума ємностей з відправлення повинна дорівнювати сумі ємностей з прибуття

$$\sum_{i=1}^n HO_i = \sum_{j=1}^n HP_j. \quad (2)$$

По-друге, значення ємностей повинні бути більшими за нуль або дорівнювати нулю.

$$HO_i \geq 0, (i = 1, 2, \dots, n) \quad (3)$$

та

$$HP_j \geq 0, (j = 1, 2, \dots, n). \quad (4)$$

Розрахунки за формулою (1) не дають змоги одразу отримати збалансовану матрицю кореспонденцій, тому після першого розрахунку виконується балансування отриманої матриці. Зазвичай виконують декілька (3–5) ітерацій, хоча теоретично доведено повну збіжність цієї процедури [2].

Закордонні дослідники пропонують, окрім гравітаційних моделей різних типів, ще декілька підходів: моделі рівноваги, що базуються на принципі Вардропа [1, 3], ентропійні моделі [2, 3], нейронні мережі, моделі з використанням нечіткої логіки [4]. Доведено, що за допомогою коефіцієнтів Лагранжа можна перейти від гравітаційної моделі до ентропійної [2].

Мета і постановка задачі

Метою наших досліджень є створення методу розрахунку матриці кореспонденцій транспортних засобів між транспортними районами мережі, задаючи не обсяги відправлення та прибуття автомобілів у транспортних районах, а значення інтенсивності потоків на ділянках. Для розв'язання цієї проблеми було вирішено застосувати метод лінійного програмування [6].

Коригування матриці кореспонденцій

Розподіл кореспонденцій на транспортній мережі виконується за допомогою поперед-

ньо розрахованих найкоротших маршрутів між вершинами плоского орієнтованого графа, який відображає схему вулично-дорожньої мережі. При цьому маршрути можуть обиратися за критерієм мінімуму пробігу або мінімуму часу, враховуючи залежність швидкості транспортного потоку від інтенсивності руху [5].

Після розподілу ми отримуємо значення інтенсивності транспортних потоків на кожній ділянці мережі. Порівнюючи розраховані значення інтенсивності з реальними значеннями інтенсивності, заздалегідь отриманими за допомогою натурних обстежень, ми можемо оцінити точність моделі.

Відомо, що інтенсивність на кожній дузі m транспортної мережі дорівнює сумі кореспонденцій H_{ij} , маршрути яких проходять через дугу m [2].

$$N_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(m)} \cdot H_{ij}, \quad (5)$$

де $k_{ij}^{(m)}$ – коефіцієнт, що визначає, чи проходить маршрут кореспонденції H_{ij} по дузі m . Якщо кореспонденція H_{ij} проходить по дузі m , то $k_{ij}^{(m)} = 1$, інакше $k_{ij}^{(m)} = 0$.

Для обчислення коефіцієнтів $k_{ij}^{(m)}$ визначаємо найкоротші маршрути, якими будуть здійснюватися кореспонденції H_{ij} .

Маршрути можна визначати за критерієм мінімального пробігу, мінімального часу на поїздку або мінімальних транспортних витрат [2].

Однак не завжди водії дотримуються найкоротших маршрутів. Причин існує декілька: незнання міста, наявність інших варіантів маршруту, які мають майже таку саму довжину (час руху), що і найкоротший маршрут. В такому випадку $k_{ij}^{(m)}$ буде дорівнювати вірогідності вибору водієм одного з декількох альтернативних маршрутів.

Оскільки рівняння (5) можна скласти для кожної ланки транспортної мережі, то ми отримуємо систему рівнянь, в якій кожне рівняння відповідає певній ділянці вулично-дорожньої мережі міста.

$$\left\{ \begin{array}{l} N_1 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(1)} \cdot H_{ij} \\ N_2 = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(2)} \cdot H_{ij} \\ \dots\dots\dots \\ N_m = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{(m)} \cdot H_{ij} \end{array} \right. \quad (6)$$

Залежно від того, яким критерієм ми користувалися при визначенні найкоротших маршрутів, цільова функція гіпотетично матиме такий вигляд

$$Z = \sum_i \sum_j H_{ij} \cdot f(l_{ij}) \rightarrow \max \quad \text{або}$$

$$Z = \sum_i \sum_j H_{ij} \cdot f(t_{ij}) \rightarrow \max, \quad (7)$$

причому $f(l_{ij})$ чи $f(t_{ij})$ матиме, пристосовуючи рекомендації [7] до транспортних кореспонденцій, такий вигляд (рис. 1):

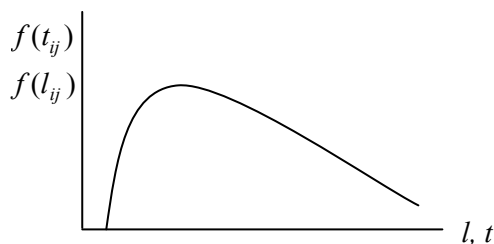


Рис. 1. Розподіл кількості транспортних кореспонденцій

Висновки

Очевидно, що такий вид цільової функції є цілком справедливим з точки зору раціонального використання автомобіля. Адже мало хто буде використовувати автомобіль для пересування на відстань до 1 км; основна кількість кореспонденцій, на наш погляд, припадає на відстань 20–30 км. Далі зі зростанням відстані кількість кореспонденцій зменшується. І вже мало водіїв здійснюють поїздки на великі відстані через усе місто. Крім того, запропонований метод вочевидь не матиме значних розбіжностей із гравітаційним під-

ходом до моделювання розподілу транспортних кореспонденцій на мережі.

Таким чином, запропонований метод дозволяє розраховувати матрицю транспортних кореспонденцій спираючись на дані транспортних обстежень. Надалі необхідно уточнити вигляд цільової функції (7), враховуючи планувальну структуру міста, особливості розташування потокотворювальних та потокопоглинальних пунктів та інші фактори.

Література

1. Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Дональд Дрю ; пер. с. англ. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 125 с.
3. Lei P. A linear programming method for synthesizing origin-destination trip tables from traffic counts for inconsistent systems: theses by Peng Lei, MIT, Blacksburg, Virginia, 1998. – 117 p.
4. Xu W. Estimating an Origin-Destination Matrix With Fussy Weights. Part II: Case Studies / Weici Xu, and Yupo Chan // Transportation planning and technology. – 1993. – №17. – P. 145–163.
5. Лобашов А.О. О прогнозировании скорости транспортных потоков на городских улицах / А.О. Лобашов // Вестник ХГАДТУ: сб. науч. тр. – 1999. – №10. – С. 91–93.
6. Кузнецов Ю.Н., Математическое программирование / Ю.Н. Кузнецов, В.И. Кузубов, А.Б. Волощенко. – М.: Высшая школа, 1976. – 352 с.
7. Гольц Г.А. Транспорт и расселение / Г.А. Гольц. – М.: Наука, 1981. – 248 с.

Рецензент: П. Ф. Горбачов, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 28 листопада 2012 р.