

УДК 656.11.021.2

КОРИГУВАННЯ МАТРИЦІ ТРАНЗИТНИХ ТРАНСПОРТНИХ КОРЕСПОНДЕНЦІЙ У ЦЕНТРАЛЬНИХ ЧАСТИНАХ МІСТ

Є.М. Гецович, професор, д.т.н., Д.В. Засядько, аспірант,
В.М. Панін, студент, ХНАДУ

Анотація. Пропонується спосіб додаткової корекції матриці транспортних кореспонденцій для потоків, що є транзитними для центральних частин міст, з урахуванням інтенсивності потоків у контрольних точках на в'їздах/виїздах з центру, а також інтенсивності потоків на існуючих кільцевих ділянках мережі за їхньої наявності. Цей спосіб є частиною розробленої методики визначення потрібної пропускної здатності умовно-кільцевих ділянок для виведення транзитних потоків.

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

КОРРЕКТИРОВКА МАТРИЦЫ ТРАНЗИТНЫХ ТРАНСПОРТНЫХ КОРЕСПОНДЕНЦИЙ В ЦЕНТРАЛЬНЫХ ЧАСТЯХ ГОРОДОВ

Е.М. Гецович, профессор, д.т.н., Д.В. Засядько, аспирант,
В.М. Панин, студент, ХНАДУ

Аннотация. Предлагается способ дополнительной коррекции матрицы транспортных корреспонденций для потоков, являющихся транзитными для центральных частей городов, с учётом интенсивности потоков в контрольных точках на въездах/выездах из центра, а также интенсивности потоков на существующих кольцевых участках при их наличии. Этот способ является частью разрабатываемой методики определения требуемой пропускной способности условно-кольцевых участков для отведения транзитных потоков.

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

ADJUSTMENT OF ORIGIN-DESTINATION TRANSIT TRIP MATRIX IN CENTRAL CITY AREA

E. Getsovich, Professor, Doctor of Engineering Sciences,
D. Zasiadko, postgraduate, V. Panin, student, KhNAHU

Abstract. In this article we present a supplementary method of origin-destination trip table adjustment. It was designed specially for trip tables of city center transit traffic flows. This method takes into account the flow intensity in check points at the border of central city as well as flow intensity at existing circle links, if they are present. This method is part of the developed methodology for determining the required capacity of conventional ring links to divert transit traffic flows

Key words: traffic intensity, origin-destination trip matrix, origin-destination matrix adjustment.

Вступ

Транспортні потоки, які є транзитними для центральної ділової частини міста (ЦДЧМ), є однією з причин транспортних заторів у ве-

ликих містах, особливо у містах з радіальною планувальною схемою [1–3]. Окрім заходів з обмеження в'їзду у ЦДЧМ, більш дієвим є будівництво умовно-кільцевих транспортних зв'язків (УКЗ) навколо центру. Для проекту-

вання таких ділянок необхідно на початку розрахувати їх потрібну пропускну здатність, оскільки вона визначає потрібну кількість смуг руху та ширину проїжджої частини. Визначити пропускну здатність можна, розрахувавши інтенсивність потоків на майбутніх ділянках за допомогою моделювання [1]. Вулично-дорожню мережу (ВДМ) можна змодельовати у вигляді графа, а інтенсивності потоків на ділянках визначити, розподіливши транспортні кореспонденції по заздалегідь розрахованих маршрутах. Важливим етапом у цьому моделюванні є розрахунок самої матриці транспортних кореспонденцій.

Аналіз публікацій

Процес отримання матриці транспортних кореспонденцій є доволі складним. Існують прямі методи отримання матриці через анкетні опитування городян, але такі опитування потребують багато часу, коштів та бажання людей брати участь в опитуванні [3]. Непрямі методи передбачають розрахунок матриці кореспонденцій через обсяги відправлення і прибуття автомобілів у транспортних районах із використанням різних моделей розподілу поїздок між парами транспортних районів [4–6]. Наприклад, гравітаційні моделі (є декілька видів гравітаційних моделей, різниця між якими полягає у певному виді функції транспортного тяжіння) [6]. Адже інформації щодо обсягу відправлення і прибуття автомобілів та топологічної схеми ВДМ недостатньо для однозначного визначення матриці кореспонденцій. Оцінити правильність матриці кореспонденцій можна лише після виконання розподілення елементів матриці по мережі та порівняння розрахункових та фактичних (отриманих у результаті натурних спостережень) значень інтенсивності потоків на ділянках мережі [7]. Однак при цьому до неточностей матриці додаються також похибки розподілення кореспонденцій, якщо реальні маршрути здійснення кореспонденцій не співпадають із розрахунковими.

Мета і постановка задачі

Метою даного етапу наших досліджень є створення методики коригування та уточнення матриці транспортних кореспонденцій для конкретної задачі визначення потрібної пропускну здатності умовно-кільцевих ділянок. Оскільки для розв'язання цієї задачі ви-

користовується спрощена модель ВДМ [1], де ємності транспортних мегарайонів визначаються через інтенсивність вхідних та вихідних потоків у контрольних точках, то ці значення можна використати для коригування матриці кореспонденцій. Крім того, для уточнення матриці можна використати результати замірів інтенсивності потоків на існуючих умовно-кільцевих ділянках за їх наявності.

Коригування матриці кореспонденцій

У загальному вигляді [3] гравітаційна модель для розрахунку матриці транспортних кореспонденцій передбачає певну залежність величини кореспонденції від обсягів відправлення та прибуття автомобілів та функції тяжіння, яка при найпростішому підході залежить від відстані між транспортними районами

$$h_{ij} = f(HO_i, HP_j, L_{ij}), \quad (1)$$

де h_{ij} – кореспонденція з мегарайону i в мегарайон j , авт./год.; HO_i – ємність по відправленню з району i , авт./год.; HP_j – ємність по прибуттю у район j , авт./год.; L_{ij} – довжина маршруту між транспортними районами i та j , км.

Однак оскільки для нашої задачі розрахунок пропускну здатності умовно-кільцевих ділянок використовується спрощена модель мережі та з припущенням про те, що в ранковий період всі вхідні для ЦДЧМ потоки є транзитними, то, порівнюючи суму вихідних потоків із периферійних мегарайонів із сумою розрахованих значень кореспонденцій, можна визначити коригувальний коефіцієнт k , який показує відмінність розрахованої матриці від реальної за рівнянням

$$k \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{ij}^f = \sum_{i=1}^n N_{\text{вих}i}, \quad (2)$$

де n – кількість транспортних мегарайонів; h_{ij}^f – розраховане за гравітаційною моделлю (функцією f) значення кореспонденції h_{ij} , авт./год.; $N_{\text{вих}i}$ – інтенсивність вихідного потоку на виїзді з мегарайону i , авт./год.

Таким чином можна скоригувати значення матриці кореспонденцій за допомогою цього коригувального коефіцієнта. З урахуванням

цього можна перерахувати значення кореспонденцій

$$h_{ij} = k \cdot f(HO_i, HP_j, L_{ij}). \quad (3)$$

Оскільки цей єдиний коефіцієнт коригує матрицю в цілому, а не окремі її стовпчики, то можуть виникнути розбіжності між сумою розрахованих значень кореспонденцій у стовпчику та значенням ємності транспортного мегарайону по прибуттю. У такому разі матрицю кореспонденцій слід збалансувати за допомогою розрахункової процедури Шацького–Шелейховського [5].

За наявності вже побудованих та введених у експлуатацію умовно-кільцевих ділянок, наприклад, якщо деякі звичайні ділянки ВДМ фактично використовуються для об'їзду ЦДЧМ, то інформацію про інтенсивність транспортного потоку на таких ділянках можна використати для оцінки та коригування матриці кореспонденцій. На жаль, методика [7] придатна лише для незамкнених графів, тобто для однієї магістральної вулиці, але не для мережі в цілому. Отже, пропонується коригувати матрицю кореспонденцій наступним чином. Для кожної умовно-кільцевої ділянки x - y можна визначити суму транспортних кореспонденцій, які проходять цією ділянкою. Ця сума в ідеальному випадку має дорівнювати отриманому в результаті натурних спостережень значенню інтенсивності транспортного потоку N_{x-y} на цій ділянці

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{x-y} \cdot h_{ij} = N_m, \quad (4)$$

де k_{ij}^{x-y} – коефіцієнт, який дорівнює 1, якщо кореспонденція h_{ij} здійснюється через ділянку x - y , інакше $k_{ij}^{x-y} = 0$. Для розрахунку значень коефіцієнтів k_{ij}^{x-y} спочатку треба визначити маршрути пересування транспортних кореспонденцій між мегарайонами, враховуючи ЦДЧМ. Для розрахунку маршрутів реалізації транспортних кореспонденцій використовуються відомі у теорії графів алгоритми Дейкстри, Флойда-Уоршола та ін. [8], оскільки вулично-дорожня мережа змодельована у вигляді плоского орієнтованого графа. Критерієм для розрахунку маршруту може бути мінімальна довжина маршру-

ту, а також мінімальний час поїздки або витрати на поїздки. [8]. У реальних дорожніх умовах водії не завжди дотримуються найкоротших маршрутів. Зокрема якщо на перехресті вздовж маршруту водієві незручно виконувати лівий поворот, то водій, особливо за відсутності досвіду, може змінити маршрут, щоби уникнути лівих поворотів. Іншими причинами може бути погане знання міста, наявність маршрутів-конкурентів з майже однаковою довжиною або тривалістю поїздки. Для таких умов коефіцієнт k_{ij}^{x-y} розраховується як вірогідність вибору певного варіанта маршруту серед множини варіантів маршрутів. Далі задачу коригування матриці кореспонденцій під задані значення інтенсивності потоків на ділянках розглядаємо як задачу лінійного програмування [9] зі змінними h_{ij} . Для сукупності ділянок мережі можна записати систему рівнянь у вигляді умови (4). Ця система рівнянь буде системою обмежень.

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{x_1-y_1} \cdot h_{ij} = N_{x_1-y_1} \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{x_2-y_2} \cdot h_{ij} = N_{x_2-y_2} \\ \dots\dots\dots \\ \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n k_{ij}^{x_n-y_n} \cdot h_{ij} = N_{x_n-y_n} \end{cases} \quad (5)$$

Крім того, додатковою умовою є те, що значення кореспонденцій не можуть бути від'ємними числами. У роботі було зроблено припущення, що цільова функція при цьому задає розподілення кореспонденції залежно від відстані

$$Z = \sum_i \sum_j h_{ij} \cdot f(l_{ij}) \rightarrow \max, \quad (6)$$

причому $f(l_{ij})$ матиме, пристосовуючи рекомендації [10] до транспортних кореспонденцій, такий вигляд

$$f(l_{ij}) = e^{-\frac{(l_{ij}-l_{cp})^2}{c}}, \quad (7)$$

де l_{cp} – середня відстань поїздки, км; c – константа, значення якої визначається залежно від геометричних розмірів міста. Для задачі подальшого визначення потрібної

пропускної здатності проводиться розподілення елементів матриці кореспонденцій за задалегідь визначеними маршрутами. При визначенні маршрутів мається на увазі, що всі маршрути між периферійними мегарайонами пролягнуть через майбутні умовно-кільцеві ділянки.

$$P_{x-y} = \frac{1}{k_{\zeta}} \cdot \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n (h_{i-j} \cdot k_{i-j}^{x-y}), \quad (8)$$

де x – початкова вершина графа для ділянки x - y ; y – кінцева вершина графа для ділянки x - y ; k_{ζ} – коефіцієнт завантаження дороги рухом (прийнятне значення $< 0,8$ згідно з [2]); k_{i-j}^{x-y} – коефіцієнт, що визначає, чи проходить кореспонденція h_{i-j} ділянкою x - y (1 – проходить, 0 – не проходить). Визначається після розрахунку маршрутів реалізації кореспонденцій.

Висновки

Задача визначення якомога точних значень транспортних кореспонденцій, що є транзитними для ЦДЧМ, є важливою при розрахунку потрібної пропускної здатності майбутніх умовно-кільцевих ділянок вулично-дорожньої мережі, по яких будуть відведені за межі ЦДЧМ або підняті на естакади транзитні для ЦДЧМ транспортні потоки. Вихідними даними для коригування матриці кореспонденцій можуть бути результати натурних спостережень інтенсивності транспортних потоків у контрольних точках на в'їздах/виїздах з ЦДЧМ та на вже існуючих умовно-кільцевих ділянках за їх наявності. Для коригування матриці з використанням замірів на в'їздах/виїздах з ЦДЧМ робиться припущення про те, що для ранкового пікового періоду вихідні потоки для ЦДЧМ є транзитними, а для вечірнього часу – навпаки. При цьому пропонується визначати єдиний коригувальний коефіцієнт за розбіжністю сум по стовпцях матриці з результатами замірів інтенсивності на в'їздах/ виїздах з ЦДЧМ. Урахування відомих значень інтенсивності потоків на існуючих кільцевих ділянках описано як задачу лінійного програмування. У подальших дослідженнях буде уточнено вид цільової функції (6) та зроблено практичну

перевірку запропонованих коригувань за допомогою натурних відеоспостережень.

Література

1. Гецович Е.М. Определение интенсивностей и направлений транзитных транспортных потоков в центральной деловой части города / Е.М. Гецович, Д.В. Засядько // Коммунальное хозяйство городов. ХНАМГ. – К.: Техника. – 2009. – Вып. 86. – С. 350–357.
2. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов / Е.М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990 – 240 с.
3. Брайловский Н.О. Моделирование транспортных систем / Н.О. Брайловский, Б.И. Грановский. – М.: Транспорт, 1978. – 124 с.
4. Sheffy Y. Urban Transportation Networks. Equilibrium Analysis with Mathematical Programming Methods / Y. Sheffy. – Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1995. – 400 p.
5. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах. / В.Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
6. Вол М. Анализ транспортных систем / М. Вол, Б. Мартин; пер с англ. – М.: Транспорт, 1989. – 514 с.
7. Лагереv Р.Ю. Методы восстановления матриц корреспонденций потоков по данным загрузки сети / Р.Ю. Лагереv // Информационные технологии и проблемы математического моделирования сложных систем. – Иркутск: ИИТМ ИргУПС. – 2005. – Вып. 3. – С. 111–115.
8. Швецов В.И. Математическое моделирование транспортных потоков / В.И. Швецов // АиТ. – 2003. – №11. – С. 3–46.
9. Кузнецов Ю.Н. Математическое программирование / Ю.Н. Кузнецов, В.И. Кузубов, А.Б. Волощенко. – М.: Высшая школа, 1976. – 352 с.
10. Гольц Г.А. Транспорт и расселение / Г. А. Гольц. – М.: Наука, 1981. – 248 с.

Рецензент: О.В. Денисенко, доцент, к.т.н., ХНАДУ.

Стаття надійшла до редакції 10 травня 2013 р.