

УДК 656.025

МОДЕЛЮВАННЯ ПОПИТУ НА ПОСЛУГИ МІСЬКОГО ПАСАЖИРСЬКОГО ТРАНСПОРТУ ПРИ ПРОВЕДЕННІ МАСОВИХ ЗАХОДІВ У МІСТАХ

В роботі представлено новий підхід до моделювання матриці пасажирських кореспонденцій під час проведення масових заходів в містах. Запропоновано формалізувати попит на послуги міського пасажирського транспорту як багатошаровий, що складається зі звичайних пересувань та пересувань, що обумовлені проведенням культурних заходів. Наведені результати аналізу зростання рівня навантаження на маршрутну мережу міста під час проведення масових заходів

Ключові слова: пасажирська кореспонденція, транспортна кореспонденція, математичне моделювання, міська маршрутна мережа

В работе представлен новый подход к моделированию матрицы пассажирских корреспонденций во время проведения массовых мероприятий в городах. Предложено формализовать спрос на услуги городского пассажирского транспорта как многослойный, который состоит из обычных перемещений и перемещений, которые обусловлены проведением культурных мероприятий. Представлены результаты анализа уровня нагрузки на маршрутную сеть города во время проведения массовых мероприятий

Ключевые слова: пассажирская корреспонденция, транспортная корреспонденция, математическое моделирование, городская маршрутная сеть

О. В. Россолов
Кандидат технічних наук*
E-mail: ross_a@rambler.ru

Є. В. Любий
Кандидат технічних наук*
E-mail: lion_khadi@mail.ru

В. Ю. Король
Асистент*

*Кафедра транспортних систем і логістики**
E-mail: vladislavkorol@yandex.ua

О. С. Левченко
Асистент

Кафедра організації та безпеки дорожнього руху**
E-mail: levchenkoelena77@mail.ru

**Харківський національний автомобільно-дорожній університет
вул. Петровського, 25, м. Харків, Україна, 61002

1. Вступ

Задача обслуговування міським транспортом масових заходів стає з кожним роком все більш складною у зв'язку з інтенсивним міським будівництвом (змінюються центри утворення і поглинання пасажиропотоків), зростанням рівня автомобілізації та підвищенням потреб населення в якісному транспортному обслуговуванні. Тому для підвищення обґрунтованості прийняття управлінських рішень необхідна розробка та використання економіко-математичних моделей аналізу функціонування та прогнозування розвитку системи міського пасажирського транспорту (МПТ) в умовах проведення масових заходів.

Методи моделювання дозволяють повністю уникнути або спростити натурний експеримент і забезпечити достатню достовірність математичного опису та розрахунків з їх використанням. Найбільше розповсюдження отримали методи і моделі, які представляють попит на послуги МПТ у вигляді матриці пасажирських кореспонденцій (МПК). Однак, більшість з них передбачені для моделювання трудових пересувань. Формування системи МПТ, що відповідає потребам попиту на пересування під час проведення масових заходів і яка є економічно доцільною, можливо лише при наявності МПК, які буде найбільш на-

ближеною до реальних потреб пасажирів на послуги МПТ.

У зв'язку з цим постає проблема визначення попиту населення на послуги МПТ під час проведення масових заходів та виявлення закономірностей його формування.

2. Аналіз існуючих моделей попиту на послуги міського пасажирського транспорту

Існують різні класифікації моделей та підходів до визначення попиту на послуги МПТ. В [1] методи розрахунку МПК виділено у дві основні групи: моделі точкового подання МПК, до яких відносяться статистичні моделі, моделі сукупного попиту та дискретного вибору, і інтервальна концепція формування МПК, згідно з якою попит на пересування описується певною низькою матриць кореспонденцій.

В [2] залежно від груп населення міста та обсягу наявних даних виділяють три групи математичних моделей: детерміновані, які розглядають пересування у вигляді однозначної функції визначальних факторів; ймовірнісні, які розглядають пересування у вигляді стохастичних (випадкових) величин, що підпорядковуються статистичним закономірностям; евристичні,

що визначають динаміку зростання обсягів пересувань на основі евристичного прогнозування. Залежно від методики отримання вихідних даних і застосування результатів моделі прогнозування ділять на два класи: аналогові (екстраполяційні) і синтетичні (імітаційні).

В [3] простежується поділ моделей на два класи: екстраполяційні і ймовірнісні. Екстраполяційні методи формування МПК засновані на використанні даних обстеження існуючого стану розподілу потоків пасажирів і транспорту між кореспондуючими районами із застосуванням для прогнозування розрахунків пропорційних коефіцієнтів зростання. Ці моделі побудовано з використанням коефіцієнтів зміни характеристик потоків, тому вони отримали наступні назви: метод єдиного коефіцієнта зростання, метод середніх коефіцієнтів зростання та метод Фратара. У практиці транспортного моделювання та планування екстраполяційні методи не набули широкого розповсюдження. Це пов'язано з тим, що для проведення розрахунків необхідно володіти інформацією про фактичні кореспонденції між транспортними районами міста. Отримання цих кореспонденцій є надзвичайно трудомісткою процедурою, а інколи і нездійсненною задачею (для великих міст).

До того ж ці методи не зовсім адекватно враховують динаміку розвитку структури міста, що особливо важливо при будівництві швидкісних ліній громадського транспорту або швидкісних магістралей. Екстраполяційні методи, в основному, використовуються при низьких темпах зростання міст і невеликих термінах прогнозу – не більше 5-7 років [4].

Ймовірнісні методи формування матриці кореспонденції отримали найбільше поширення в перспективному плануванні розвитку транспорту. До них належать гравітаційні та ентропійні моделі [3].

Гравітаційні моделі базуються на аналогії з законом всесвітнього тяжіння. В них величини кореспонденцій прямопропорційні обсягам відправлень з одного транспортного району і прибуття в інший, і зворотнопропорційні відстані між цими районами. Кількість кореспонденцій між районами i та j [2, 8]:

$$A_{ij} = k \cdot \frac{A_i \cdot A_j}{R_{ij}^y}, \quad (1)$$

де k - масштабний коефіцієнт;

A_i, A_j - місткості взаємодіючих транспортних районів, чол.;

R_{ij}^y - «функція опору» транспортного зв'язку районів i та j ;

y - емпіричний коефіцієнт, який встановлюється на основі натурних транспортних обстежень.

Ентропійна модель розрахунку пасажирських кореспонденцій оснований на допущенні про аналогії процесів, які відбуваються з термодинамічними процесами [5]. Значення кореспонденції визначається по принципу максимізації ентропії, який припускає, що система з найбільшою ймовірністю приймає максимально стійкий стан з мінімумом внутрішньої енергії, що можливо лише при максимумі ентропії [1]:

$$S = \left(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n h_{sj} \cdot \ln(h_{ij}) \right) \rightarrow \max, \quad (2)$$

де S – ентропія системи;

n – кількість транспортних районів в місті, од.;

h_{ij} – значення кореспонденції між районом відправлення і та прибуття j .

До переваг гравітаційних і ентропійних моделей можна віднести доступність вихідної інформації і простоту виконання розрахунків. Як недоліки слід відзначити те, що ці моделі потребують калібрування, що ставить під сумнів точність отриманих результатів; і формування матриці пересувань відбувається на основі одного значущого критерію, в той час як задача визначення попиту на пересування є багатокритеріальною [1]. Також залишається невизначеним питання формалізації процесу формування ємностей транспортних районів.

Особливої уваги заслуговує інтервальна концепція визначення попиту на послуги пасажирського маршрутного транспорту, яка ґрунтується на гіпотезі про випадковий характер вибору пасажирями напрямків пересувань [6]. Ця гіпотеза обґрунтована дослідженнями щодо вибору людиною робочого місця [7], але процес формування попиту на послуги міського пасажирського транспорту під час проведення масових заходів в рамках цієї концепції ще не формалізовано.

3. Мета і постановка задачі

Об'єктом дослідження є процес формування попиту населення на послуги пасажирського транспорту під час проведення масових заходів. Відповідно метою роботи є розробка моделі формування МПК під час проведення масових заходів.

Для досягнення цієї мети необхідно вирішити наступні задачі: формалізувати етапи формування МПК під час проведення масових заходів та виконати моделювання МПК під час проведення масових заходів на прикладі м. Харкова.

4. Рішення поставленої задачі

Матриця пасажирських кореспонденцій під час проведення масових заходів буде складатися з матриці кореспонденцій на транспорті загального користування, матриці кореспонденцій на індивідуальному транспорті, матриці кореспонденцій пересування пасажирів к місцям проведення масових заходів.

$$H_{МЗ} = H_{мік}^{ЗТ} + H_{мік}^{ІТ} + H_{мік}^{КМ}, \quad (3)$$

де $H_{мік}^{ЗТ}$ – матриця кореспонденцій на транспорті загального користування;

$H_{мік}^{ІТ}$ – матриця кореспонденцій на індивідуальному транспорті;

$H_{мік}^{КМ}$ – матриця кореспонденцій пасажирів, що описує пересування к місцям проведення масових заходів.

Для побудови моделі були використані матриця кореспонденцій на транспорті загального користування м. Харкова [8] і матриця кореспонденцій учасників масових заходів, що прибувають на стадіон і фан-зону м. Харкова під час проведення чемпіонату Євро-2012 з футболу.

Матриця кореспонденцій на транспорті загального користування в вечірній період «пік» була сформована в результаті транспонування матриці кореспонденцій на транспорті загального користування м. Харкова для ранкового періоду «пік».

$$H_{\text{пік}}^{\text{ЗТ}} = H_{\text{МПТ}}^{\text{T}} \tag{4}$$

де $H_{\text{МПТ}}^{\text{T}}$ – транспонована матриця кореспонденцій на транспорті загального користування м. Харкова для ранкової години «пік».

Матриця кореспонденцій учасників масових заходів була розрахована по методиці, описаній в [8]. Для її розрахунку були використані прогнознi значення прибуття учасників і вболівальників у м. Харків залежно від виду транспорту та дані про об'єкти розміщення місць тимчасового проживання. Для цього була розрахована матриця прибуття учасників масових заходів, що прибували у місто раніше ніж за 12 годин до початку матчу.

У результаті районування території м. Харкова було отримано 140 транспортних районів [1]. Так як матриця трудових кореспонденцій складає 140 районів по відправленню та прибуттю, необхідно було кожен транспортний вузол і об'єкт розміщення місць тимчасового проживання закріпити за транспортним районом.

Використовуючи ймовірнісний підхід були визначені обсяги прибуття учасників масових заходів до об'єктів розміщення місць тимчасового проживання по формулі [6]:

$$h_{ij} = Q \cdot p_i \cdot p_j \tag{5}$$

де Q - загальна місткість об'єктів тимчасового проживання, чол.;

p_i - ймовірність відправлення з і-го транспортного району;

p_j - ймовірність прибуття в j-й транспортний район.

$$p_i = \frac{D_i}{Q}; \tag{6}$$

$$p_j = \frac{A_j}{Q}, \tag{7}$$

де D_i - обсяг по відправленню з і-го транспортного району, пас.;

A_j - обсяг по прибуттю з j-го транспортного району, пас.

Районами відправлення в цій матриці виступали найбільші транспортні вузли м. Харкова, а саме аеропорт, Південний вокзал та автостанція №1.

А районами прибуття виступали об'єкти розміщення місць тимчасового проживання учасників масових заходів.

Наступним етапом стало формування матриці кореспонденцій учасників масових заходів, яка складається з пересування мешканців міста, що приймають участь у масових заходах, пересування учасників масових заходів, котрі прибувають у місто менш чим за 12 годин до початку матчу та пересування від місць тимчасового проживання учасників масових заходів,

що прибули у місто раніше ніж за 12 годин до початку матчу.

Можна припустити, що обсяги відправлення з транспортних районів мешканців приймаючого міста, які беруть участь у масових заходах, залежать від кількості мешканців транспортного району і частки зайнятості у масових заходах.

$$D_i = N_i^{\text{меш}} \cdot \frac{N_{\text{уч}}^{\text{меш}}}{N_{\text{м}}^{\text{меш}}}, \tag{8}$$

де $N_i^{\text{меш}}$ - кількість мешканців транспортного району, чол.;

$N_{\text{уч}}^{\text{меш}}$ - кількість учасників масових заходів з числа мешканців приймаючого міста, чол.;

$N_{\text{м}}^{\text{меш}}$ - кількість мешканців міста, чол.

Матрицю пересування учасників масових заходів, котрі прибувають у місто менш чим за 12 годин до початку матчу, розраховано по методиці [6], з припущенням, що всі прибуваючі відразу їдуть на місця проведення масових заходів. Районами відправлення в цій матриці виступали аеропорт, залізничні вокзали і станції, автовокзали і автостанції м. Харкова, а також перехоплюючи паркінги. Вихідними даними для ємностей по відправленню послужили прогнознi значення прибуття учасників в залежності від виду транспорту [9].

Матриця кореспонденцій індивідуального транспорту була сформована на основі статистичних даних кількості зареєстрованих автомобілів по адміністративним районам міста Харкова [10]. Для визначення обсягів по відправленню на індивідуальному транспорті була запропонована наступна залежність:

$$D_i = N_{\text{авт}_i} \cdot \overline{q_{\text{сер}}} \cdot K_{\text{зан}}, \tag{9}$$

де D_i – ємність по відправленню індивідуальним транспортом з і-го району, чол.;

$N_{\text{авт}_i}$ - кількість автомобілів, що зареєстровані в транспортному районі, авт.;

$q_{\text{сер}}$ - середня наповненість одного автомобіля (прийнята 2 чол.);

$K_{\text{зан}}$ – коефіцієнт зайнятості (приймаємо 0,3) [1].

Можна припустити, що існує лінійний взаємозв'язок між ємністю по прибуттю у транспортний район на транспорті загального користування і на індивідуальному транспорті. На основі цього для визначення обсягів по прибуттю індивідуальним транспортом використовувалась наступна залежність:

$$A_j = A_{\text{МПТ}_j} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n D_i}{\sum_{j=1}^n A_{\text{МПТ}_j}}, \tag{10}$$

де A_j – ємність по прибуттю в j-й транспортний район індивідуальним транспортом, чол.;

$A_{\text{МПТ}_j}$ – ємність по прибуттю в j-й транспортний район на транспорті загального користування, чол.;

n – кількість транспортних районів, од.

Використовуючи рівноймовірнісний підхід [1] була сформована матриця кореспонденцій на індивідуальному транспорті, яку в подальшому було транспоновано для вечірнього періоду «пік».

Об'єднання сформованих таким чином матриць кореспонденцій дало сумарну матрицю пасажирських кореспонденцій під час проведення масових заходів.

Характеристика отриманої матриці пасажирських кореспонденцій під час проведення масових заходів надана в табл. 1. Поряд з цим в табл. 1 представлено характеристики МПК вечірнього періоду, коли масові заходи не проводяться.

Таблиця 1

Характеристика отриманої матриці пасажирських кореспонденцій під час проведення масового заходу в місті Харкові

Статистичні характеристики	Місткість транспортного району		Величина пасажирської кореспонденції		Відхилення
	по відправленню	по прибуттю	під час масових заходів	будній день	
Середнє	4054,14	4054,14	28,96	18,15	10,81
Мінімальне	516	634	0	0	0
Максимальне	23629	47510	9783	424	9359
Середньоквадратичне відхилення	3073,34	5568,8	103,03	23,76	79,27

5. Висновки

В результаті проведених досліджень формалізовано процес транспортного обслуговування населення під час проведення масових заходів. Показано, що попит на пересування міським маршрутним транспортом формується з трьох шарів: пересування в період «пік», які виконуються міським пасажирським транспортом та індивідуальним транспортом в будній день, і пересувань, що обумовлені культурно-масовими заходами.

Зіставлення результатів моделювання МПК при проведенні масових заходів зі звичайною МПК періоду «пік» виявило досить значне зростання навантаження

на маршрутну мережу міста Харкова. Це є індикатором необхідності розробки комплексу заходів по організації транспортного обслуговування населення в період проведення масових заходів в містах.

Література

1. Горбачёв, П.Ф. Моделирование спроса на услуги пассажирского маршрутного транспорта в крупных городах : монография [Текст] / П. Ф. Горбачёв, А. В. Россолов. – Х. : ХНАДУ, 2012. – 152 с.
2. Ortuzar, J. de D. Modelling transport. Third edition [Text] / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd. 2006, – 499 p.
3. Заблоцкий, Г.А. Методы расчета потоков пассажиров и транспорта в городах [Текст] / Г. А. Заблоцкий; под ред. А.К. Старинкевич. - М.: ЦНТИ по гражд. строит. и архит, 1968. – 92 с.
4. Fratar, T. J. Vehicular Trip Distribution by Successive Approximation [Text] / T. J. Fratar // Traffic Quarterly. – 1954. – № 8. – p. 53 – 65.
5. Winston, C. The Demand for Transportation : Models and Applications [Text] / C. Winston, K. A. Small. – С. : Univesity of California, 1998. – 51 p.
6. Горбачёв, П. Ф. Интервальное моделирование спроса на трудовые передвижения в крупнейших городах [Текст] / П. Ф. Горбачёв, А. В. Россолов, К. В. Костенко // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля – 2011. – № 159 – С. 248-253.
7. Quarmby, D. A. Choice of travel mode for the journey to work [text]/ D. A. Quarmby // Journal of Transport Economics and Policy. – 1967. – Vol. 1, № 3. – p. 273 – 314.
8. Barbier, M. Le futur réseau de transport en région de Paris [Text] / M. Barbier, P. Merlin // Cahiers de l'I. A.U.R.P. – 1966. – . vol. 4-5. – 100 p.
9. План мобільності м. Харкова під час підготовки та проведення в Україні фінальної частини чемпіонату Європи 2012 року з футболу [Текст] – Х., 2010. – 116 с.
10. Транспортний комплекс Харківської області у 2010 році. Статистичний збірник [Текст]. – Х., 2011. – 75 с.