

**В.В. Аулін, к.ф.-м.н., проф.  
Д.В. Голуб, к.т.н.**

*Кіровоградський національний технічний університет*

## ТЕОРЕТИЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗПОДІЛУ ПОПИТУ ПАСАЖИРІВ НА ПОСЛУГИ РІЗНИХ ТИПІВ МІСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

*Розглянуто теоретичне обґрунтування прогнозування попиту типологічних груп пасажирів на різні типи транспортних засобів на основі побудованої моделі привабливості маршрутів міського транспорту шляхом обліку оцінки пасажирів з використанням методу Лайкерта, параметрів транспортного процесу. Визначено попит груп пасажирів на транспортні послуги різних типів міського транспорту на прикладі м. Кіровограда.*

**Ключові слова:** міський транспорт, прогнозування, маршрути, оцінка.

**Вступ. Постановка проблеми.** На сьогодні система транспортного обслуговування населення міста функціонує в умовах істотної невизначеності, рівень якої змінюється залежно від кількості чинників, що впливають на роботу міського пасажирського транспорту (МПТ); міри складності зв'язків між ними, а також від характеру розподілу пасажиропотоку на маршрутній мережі міста.

Ця проблема в тому або іншому ступені відображена в роботах вітчизняних і закордонних учених: Г.А. Варелопуло, В.О. Вдовіченко, А.В. Вельможин, П.Ф. Горбачов, В.А. Гудков, А.Г. Гольдін, Н.У. Гюлев, В.К. Доля, М.Г. Мартинов, Л.Б. Міротін, Е.В. Нагорний, І.В. Спирін, У.Е. Демінг, П.П. Думітрашку, Ф.Б. Кросбі, М.С. Фільшесон, Ф.У. Тейлор, Дж.Х. Харрінгтон, Я.Цибулка та ін.

В той же час попит населення на транспортні послуги в ринкових умовах функціонування міської пасажирської транспортної системи (МПТС) істотно змінився і став більше різноманітніший за своїми просторовими і годинними характеристиками, які складно врахувати при організації і управлінні пасажирськими перевезеннями (ПП) в містах, особливо коли виникає питання про доцільність отримання об'єктивної інформації про структурний склад пасажирів, особливостях споживання ними послуг МПТ, визначення і прогнозування попиту на різні типи транспортних засобів (ТЗ). Ці питання є актуальними і вимагають рішення.

**Метою** даної роботи є теоретичне обґрунтування прогнозування попиту типологічних груп населення на послуги різних типів ТЗ в сучасних умовах функціонування транспортної системи на основі побудови моделі привабливості маршрутів МПТ.

**Викладення основного матеріалу.** Прогнозування попиту пасажирів на послуги різних типів ТЗ передбачає моделювання динаміки їх поведінки. Аналіз існуючих моделей поведінки пасажирів при виборі типу ТЗ на маршрутній мережі [1-3] показав необхідність наявності в них наступних характеристик процесу: взаємозв'язок параметрів безпосереднього вибору пасажирів типу ТЗ і характеристиками відмінності пасажирів; відображення кількісних змін ознак відмінності пасажирів в межах структури МПТС і якісних змін самої структури [4, 5]; облік невідповідних тенденцій в розвитку поведінки пасажирів і випадкових відхилень, обумовлених неможливістю врахувати усі чинники, які впливають на їх поведінку, а також спадкоємність спостережуваних змін.

При виборі певного маршруту МПТ пасажир намагається максимізувати корисний ефект споживання ними транспортних послуг, формуючи при цьому попит на місця в МС, який можна спрогнозувати розробивши модель привабливості міських маршрутів.

При побудові моделі привабливості маршрутів МПТ опис поведінки пасажирів необхідно формалізувати факторними ознаками, по яких можна оцінювати рівень якості ПП. Оскільки вартість проїзду і час пересування не викликає труднощів для чисельної їх інтерпретації, то для рівня комфорту пропонується застосувати значення динамічного коефіцієнта використання місткості. Оцінку міри впливу факторної ознаки на результуючу ознаку проводимо за значенням коефіцієнта кореляції. За методику отримання початкових даних використовуємо метод Лайкерта [6], суть якого полягає в наступному: респондент повинен оцінити у балах від 4 до 1 міра важливості чинника при оцінці якості обслуговування його потреб на переміщення МПТ. Після збору інформації по кожній анкеті визначається сума балів і для кожної з факторних ознак розраховується показник  $\Delta_B$ :

© В.В. Аулін, Д.В. Голуб, 2014

$$\Delta_B = \sum_{i=1}^n B_i - B_i, \quad (1)$$

де  $\sum_{i=1}^n B_i$  – сума балів за анкетною;

$B_i$  – бал за  $i$ -ою факторною ознакою;

$n$  – кількість факторних ознак, наведених в анкеті.

На основі отриманих даних по кожному з чинників визначитися значення коефіцієнта кореляції за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (\Delta_{Bik} - \overline{\Delta_{Bk}}) \cdot \left( \sum_{j=1}^m B_{ji} - \sum_{j=1}^m \overline{B_j} \right)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta_{Bik} - \overline{\Delta_{Bk}})^2 \cdot \sum_{i=1}^n \left( \sum_{j=1}^m B_{ji} - \sum_{j=1}^m \overline{B_j} \right)^2}}, \quad (2)$$

де  $\Delta_{Bik}$  – значення різниці балів за  $k$ -им чинником для  $i$ -ої анкети;

$\overline{\Delta_{Bk}}$  – середнє значення різниці балів за  $k$ -им чинником.

На основі отриманих значень коефіцієнтів кореляції будують модель функції привабливості по кожному з досліджуваних чинників. Виходячи з цього пропонується наступний вид функції привабливості:

$$\Pi_{ij}^k = 4 - (a_0 + a_1 \cdot \frac{x_{ijv}}{x_{v\max}}), \quad (3)$$

де  $\Pi_{ij}^k$  – функція привабливості  $k$ -го шляху пересування пасажирів;

$a_0, a_1$  – коефіцієнти регресії;

$x_{ijv}$  –  $v$ -та факторна ознака, яка детермінує вибір  $k$ -го шляху пересування пасажирів;

$x_{v\max}$  – максимальне значення  $v$ -ої факторної ознаки.

Можна бачити, що у (3) постійна складова дорівнює чотирьом, що відповідає максимальній бальній оцінці, згідно із запропонованою методикою визначення міри впливу обраних характеристик транспортного процесу на якість послуг з перевезення пасажирів.

Значення коефіцієнтів  $a_1$  і  $a_0$  моделі, функції привабливості визначаються, виходячи з регресійного аналізу цих анкет за наступними аналітичними залежностями:

$$a_1 = r_{SB} \cdot \frac{\sigma_{\sum_{j=1}^m B_j}}{\sigma_{\Delta_{Bk}}}, \quad a_0 = \overline{\sum_{j=1}^m B_j} - a_1 \cdot \overline{x_i}. \quad (4)$$

Визначення за (4) виконується, використовуючи парні коефіцієнти кореляції  $r_{SB}$ , що визначають взаємозв'язок між рівнем впливу  $i$ -ої характеристики транспортного процесу на якість транспортного обслуговування і привабливістю  $k$ -го варіанта шляху пересування.

Згідно з методикою Лайкерта, висока кореляція між факторним і результирующим ознаками вказує на значущість впливу досліджуваного об'єкта, тобто цей чинник викликає внутрішній резонанс у респондента, який спонукає його ставити високу бальну оцінку. У разі ідентифікаційного відношення до оцінюваної ознаки бальна оцінка буде наближена до одиниці, а значення коефіцієнта кореляції у свою чергу наблизиться до нуля. При оцінці якості обслуговування, коли респондент повинен оцінити характеристики маршрутів, які в сукупності формують оцінку якості транспортного обслуговування населення, низька бальна оцінка за досліджуваною факторною ознакою вказує на високу якість обслуговування. Це обумовлено тим, що, наприклад, при оцінці вибору варіанта пересування серед певного переліку альтернативних маршрутів у разі їх однакових характеристик щодо рівня заповнення салону ТЗ, пасажир задовольняють усі варіанти переміщення. Якщо визначений з альтернативних маршрутів характеризується високим рівнем заповнення салону ТЗ (низький рівень якості), то це призведе до високої бальної оцінки за цією факторною ознакою.

Виходячи з привабливості маршруту (3), можна сформулювати функцію корисності:

$$W^l(x_{ijv}) = \sum_{v=1}^f (4 - (a_{0v} + a_{1v} \cdot \frac{x_{ijv}}{x_{v\max}})) = 4f - \sum_{v=1}^f \Pi_v \rightarrow \max, \quad (5)$$

де  $W^l(x_{ijv})$  – функція корисності;

$l$  – типологічна група пасажирів;

$\Pi_v$  – варіативна складова функції привабливості;

$f$  – кількість факторних ознак, які детермінують привабливість шляху пересування пасажирів.

Вираз (5) при  $f = 3$  набуває вигляду:

$$W^l(c, t, \gamma) = 12 - (a_{0c} + a_{1c} \cdot \frac{c_m^w}{c_{m \max}^w} + a_{0t} + a_{1t} \cdot \frac{t_{ij}^w}{t_{\max}^w} + a_{0\gamma} + a_{1\gamma} \cdot \frac{\gamma_{Dm}^w}{\gamma_{Dm \max}^w}) \rightarrow \max, l = \overline{1, p} \quad (6)$$

Для знаходження умовного екстремуму функції (6) пропонується застосувати метод множників Лагранжа [2], згідно з яким завдання пошуку екстремуму  $W(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v)$  на безлічі допустимих значень  $D[f_k(x)]$  можна представити у вигляді:

$$D[f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a)] = \begin{cases} f_1(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a) = 0, \\ f_2(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a) = 0, \\ \dots \dots \dots \dots \\ f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a) = 0, \\ \dots \dots \dots \dots \\ f_v(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_a) = 0, \end{cases} \quad (k = \overline{1, v}), \quad (7)$$

і перейти до завдання безумовної оптимізації функції Лагранжа :

$$L(x, \eta) = W(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) + \sum_{k=1}^m \eta_k f_k(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v) \quad (8)$$

де  $\eta(\eta_1, \eta_2, \dots, \eta_k, \dots, \eta_m)$  – вектор додаткових змінних, складові якого є множниками Лагранжа.

Виходячи з того, що вектор факторних ознак  $(x_1, x_2, \dots, x_i, \dots, x_v)$  відомий, отримуємо наступний вид функції Лагранжа для цієї постановки завдання:

$$L(x_i, \eta_1, \eta_2, \eta_3) = W(x_v) + \eta_1 \left( c_{\max} - \sum_{i=1}^a x_i c_i \right) + \eta_2 \left( t_{\max} - \sum_{i=1}^a x_i t_i \right) + \eta_3 \left( \gamma_{D \max} - \sum_{i=1}^a x_i \gamma_{Di} \right) \quad (9)$$

де  $c_{\max}$  – граничне значення вартості проїзду, грн.;

$t_{\max}$  – граничне значення часу пересування, хв.;

$\gamma_{D \max}$  – граничне значення динамічного коефіцієнта заповнення салону МС.

На основі результатів оцінки чинників вибору пасажирями міських маршрутів можна визначити привабливість  $j$ -ого маршруту, який пропонується формалізувати через вірогідність вибору маршруту пересування пасажиром [7]:

$$p_{ij}^k = \left( 12 - \sum_{v=1}^f \Pi_v \right) / \sum_{y=1}^q \left( 12 - \sum_{v=1}^f \Pi_v \right)_y, \quad (10)$$

де  $p_{ij}^k$  – вірогідність вибору  $k$ -ого шляху пересування пасажиром між  $i$ -им і  $j$ -им транспортними районами міста;

$q$  – кількість маршрутів, серед яких виконується оцінка вірогідності вибору шляху пересування, од.

Запропонована модель привабливості міських пасажирських маршрутів, метод Лагранжа і розрахунок вірогідності вибору шляху пересування пасажирів дали можливість зробити прогноз розподілу попиту на транспортні послуги населення міста Кіровограда, враховуючи і стратифікацію користувачів маршрутної мережі (рис. 1).

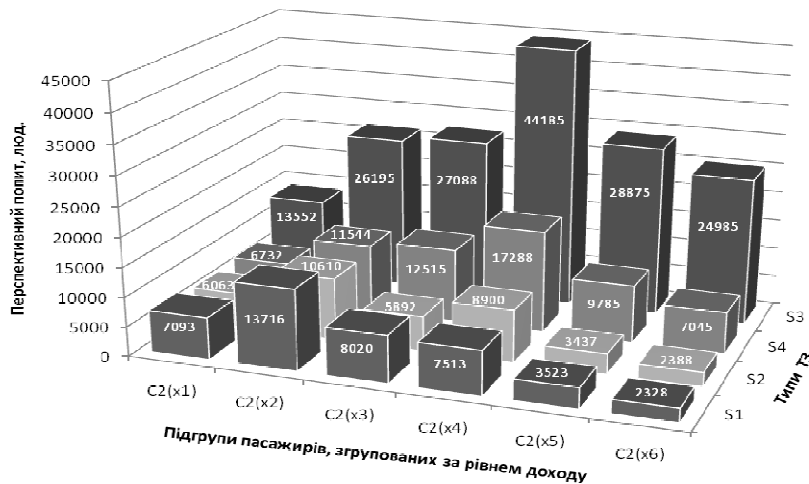


Рис. 1. Прогноз попиту типологічних груп пасажирів на різні типи маршрутних транспортних засобів (на прикладі міста Кіровограда)

Аналіз прогнозу виявив зростання попиту на наступні типи маршрутних транспортних засобів: тролейбус (S1) – 47%, автобуси великої місткості (S2) – 46 %, автобуси середньої місткості (S3) – 43 %. Скорочення кількості автобусів малої і особливо малої місткості (S4) призвело до скорочення попиту пасажирів на цей тип ТЗ на 38 %.

**Висновки.** Таким чином, на основі розробленої моделі привабливості, яка ґрунтується на результатах обстеження попиту пасажирів на міських маршрутах і є основою для визначення вірогідності вибору шляху їх пересування з урахуванням фактичного відношення користувачів міських маршрутів до характеристик альтернативних варіантів пересування, можна здійснювати прогнозування попиту. Розглянутий підхід дозволяє визначити як фактичний, так і перспективний розподіл попиту на транспортні послуги між різними видами МПТ в умовах конкурентної боротьби між перевізниками.

#### Список використаної літератури:

1. Бонсалл П.У. Моделирование пассажиропотоков в транспортной системе / П.У. Бонсалл, А.Ф. Чемперноун, А.К. Мейсон, А.Г. Уильсон. – М. : Транспорт, 1982. – 205 с.
2. Власов Ю.Л. Математическая модель спроса пассажиров на пассажирские транспортные средства / Ю.Л. Власов, В.И. Рассоха // Проблемы качества и эксплуатации автотранспортных средств : докл. IV междуна. научно-техн. конф. – Пенза, ПГУАС, 2006. – С. 277–282.
3. Володченко С.В. Моделирование распределения пассажирских потоков в крупных городах : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.22.10 / С.В. Володченко. – Санкт-Петербург, СПбГАСУ. 2005. – 17 с.
4. Спиринов И.В. Научные основы комплексной реструктуризации городского автобусного транспорта : автореф. дис. ... д.т.н. : 05.22.01 / И.В. Спиринов. – Москва, 2007. – 38 с.
5. Шаров М.И. Совершенствование метода оценки транспортного спроса на перевозки городским пассажирским транспортом : автореф. дис. ... к.т.н. : 05.22.10 / М.И. Шаров. – Иркутск, 2008. – 22 с.
6. Циба В.Т. Математичні основи соціологічних досліджень: кваліметричний підхід / В.Т. Циба. – Київ, МАУП, 2002. – 248 с.
7. Горбачов П.Ф. Підхід до визначення ймовірності вибору пасажиром шляху пересування / П.Ф. Горбачов // Автомобільний транспорт. – Харків : ХНАДУ, 2006. – Вип. 19. – С. 88–91.

АУЛІН Віктор Васильович – кандидат фізико-математичних наук, професор кафедри експлуатації та ремонту машин Кіровоградського національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- автомобільний транспорт;
- інформаційні технології на транспорті;
- логістика.

ГОЛУБ Дмитро Вадимович – кандидат технічних наук, доцент кафедри експлуатації та ремонту машин Кіровоградського національного технічного університету.

Наукові інтереси:

- автомобільний транспорт;

– інформаційні технології на транспорті;  
– логістика.  
Тел.: (0522)39-04-73, (066)516-80-74.  
E-mail: dimchik\_2004@mail.ru.

Стаття надійшла до редакції 01.09.2014