

УДК 656.025.2

**І.Є.Іванов**

**Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова**  
**ВИЗНАЧЕННЯ НЕЛІНІЙНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ РУХЛИВОСТІ**

*В даній статті висвітлено ряд важливих питань, щодо розподілу транспортної роботи міських пасажирських перевезень в залежності від факторів рухливості населення. Результатом є розробка математичних моделей транспортної рухливості у лінійному та нелінійному виглядах.*

**Ключові слова:** транспорт, населення, рухливість, фактор, автомобілізація, щільність, мережа.

**Форм 9. Табл 3. Літ 11.**

**И.Е.Иванов**

**ОПРЕДЕЛЕНИЕ НЕЛИНЕЙНОЙ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТНОЙ ПОДВИЖНОСТИ**

*В данной статье рассматривается ряд важных вопросов, о распределении транспортной работы городских пассажирских перевозок в зависимости от факторов подвижности населения. Результатом является разработка математических моделей транспортной подвижности в линейном и нелинейном видах.*

**Ключевые слова:** транспорт, население, подвижность, фактор, автомобилизация, плотность, сеть.

**I.Ivanov**

**DEFINITION OF NONLINEAR TRANSPORT MODELS MOBILITY**

*In this article the impact of transport, urban development, social and economic factors on the transport mobility. This suggests that the overall mobility of the population is a function of the number of residents in the city, the level of car ownership, traffic density and traffic network.*

*The current study it was found that such factors as the number of residents in the city, the level of car ownership, traffic density is affected directly proportional, and the density of the traffic network is inversely proportional to the mobility of the urban population. In particular, an increase in car ownership leads to increased visits to individual transport, which reduces passenger traffic and leads to fewer routes and thus to reduce the density of the traffic network.*

**Keywords:** transportation, population mobility factor motorization, density, network.

**Постановка проблеми.** Зміна соціальних, економічних і екологічних показників і параметрів міських пасажирських перевезень призводить до розподілення пасажиропотоків, як між видами міського пасажирського транспорту (МПТ), так і між окремими маршрутами.

Спостерігається [1, 3, 10] такий перерозподіл рівня автомобілізації, зміна питомих параметрів транспортних мереж, динамікою життєвого рівня і суспільного внеску. Потребуючи високого рівня комфорту при переміщенні люди використовують особистий транспорт, при цьому поступаючись незручностями при паркуванні, витратами часу при стоянні в заторах та складністю утримання і експлуатації транспортних засобів.

Останні дослідження показують [1, 8, 10, 11], що на транспортну рухливість населення впливає безліч факторів, вивчення яких потребує системного підходу.

Попереднє прогнозування перерозподілу транспортних потоків за видами транспорту та маршрутами може в значній мірі сприяти розробці і використанню більш адекватних транспортних технологій.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** В роботах [1, 10] приведені результати досліджень впливу рівня автомобілізації та кількості мешканців міста на рухливість населення, як загальної так і на міському пасажирському транспорті.

В роботі [6] було розглянуто такі фактори впливу на рухливість населення, як площа міста, розподіл між видами міського транспорту та наслідки транспортного процесу (викиди шкідливих речовин). Розроблено прогнози розподілу населення та оцінено вплив на кількість викидів шкідливих речовин.

Наведені дослідження в роботах [4, 5, 7, 10] показують, що на транспортну рухомість впливають вік та стать мешканців міста, мета поїздки, кількість поїздок за добу, рівень доходів населення, частина міста або передмістя, час поїздки та інші.

Зокрема в роботах [4, 10] проведено статистичну обробку впливу наведених факторів на транспортну рухливість та отримано критерії достовірності в межах статистично достовірних.

Загалом в роботі [10] отримано середню кількість поїздок за добу в залежності від віку, статі, рівня доходів населення міст на селищ в порівнянні за 2001 та 2009 роки.

Проведений аналіз дозволив сформулювати основні етапи досліджень, а саме:

– визначення факторів, що впливають на транспортну рухливість;

- експериментальне визначення розподілу транспортної рухливості міста;
- визначення математичної моделі транспортної рухливості населення;
- статистична обробка експериментальних даних.

**Метою дослідження** є визначення нелінійної моделі транспортної рухливості населення. Для досягнення цієї мети необхідно виконати статистичну обробку експериментальних даних.

**Основні результати дослідження.** Для синтезу функцій перерозподілу транспортної роботи між видами реалізації транспортної рухливості населення міст був проведений пасивний експеримент.

В ході експерименту були класифіковані фактори, що визначають рухливість населення  $P_3$ . Попередній аналіз впливу зазначених факторів дозволив зробити висновок про ступінь і якість їх впливу на функцію відгуку  $P_3$ . Попередній аналіз впливу факторів, дозволяє стверджувати, що загальна рухливість населення  $P_3$  є функція від кількості жителів у місті  $H_{ж}$ , рівня автомобілізації  $V_a$ , щільності транспортної  $\delta$  та маршрутної мережі  $\delta_M$ , тобто

$$P_3 = f(H_{ж}; V_a; \delta; \delta_M). \quad (1)$$

Для визначення виду функції  $P_3$  від перелічених факторів використаємо експериментальні дані та програмний продукт Statistica [2].

На першому етапі відбувається визначення лінійної залежності між факторами та функцією у наступному вигляді [9]

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \quad (2)$$

де  $a_0, a_1, a_2, a_n$  – коефіцієнти моделі;

$x_1, x_2, x_n$  – змінні фактори.

Використовуючи програмний продукт Statistica було отримано коефіцієнти моделі й побудовано лінійну математичну модель

$$P_3 = 350,084 + 0,172 \cdot H_{ж} + 1,408 \cdot V_a + 278,195 \cdot \delta - 182,046 \cdot \delta_M. \quad (3)$$

Під час обробки результатів в програмі Statistica були отримані коефіцієнти значимості факторів моделі (табл. 1). Де видно, що такий показник, як кількість жителів у місті  $H_{ж}$  є не значимим, що не відповідає проведеним дослідженням. Тому необхідно розглянути інші види математичних моделей.

Таблиця 1.

Коефіцієнти значимості факторів математичної моделі (3)

Фактор	Значення коефіцієнту
Кількість мешканців, $H_{ж}$ , тис. чол.	0,247876
Рівень автомобілізації, $V_a$ , авт./1000 мешканців,	0,723187
Щільність транспортної мережі, $\delta$ , км/км <sup>2</sup>	0,386634
Щільність маршрутної мережі, $\delta_M$ , км/км <sup>2</sup>	-0,362746

Для отримання ступеневі моделі у програмному середовищі Statistica необхідно використовувати наступну форму запису [2]

$$\ln y = a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \cdot \ln x_2 + \dots + a_n \cdot \ln x_n. \quad (4)$$

Це дасть змогу отримати ступеневу модель наступного вигляду

$$y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}. \quad (5)$$

Використовуючи програмний продукт Statistica було отримано коефіцієнти моделі й побудовано степеневу математичну модель

$$P_3 = 73,42 \cdot H_{ж}^{0,314} \cdot Y_a^{0,183} \cdot \delta^{0,091} \cdot \delta_M^{-0,299}. \quad (6)$$

Під час обробки результатів в програмі Statistica були отримані коефіцієнти значимості факторів моделі (табл. 2). Де видно, що такий показник, як щільність транспортної мережі  $\delta$  є не значимим, що не відповідає проведеним дослідженням.

Таблиця 2.

Коефіцієнти значимості факторів математичної моделі (6)

Фактор	Значення коефіцієнту
Кількість мешканців, $H_{ж}$ , тис. чол.	0,878732
Рівень автомобілізації, $Y_a$ , авт./1000 мешканців,	0,415641
Щільність транспортної мережі, $\delta$ , км/км <sup>2</sup>	0,061081
Щільність маршрутної мережі, $\delta_M$ , км/км <sup>2</sup>	-0,379728

Для оцінки адекватності отриманої моделі використаємо показник середньої помилки апроксимації [1]

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^m - y_i^{\phi}}{y_i^{\phi}} \right| \cdot 100\%, \quad (7)$$

де  $N$  – кількість спостережень, од.;

$y_i^m, y_i^{\phi}$  – відповідно розраховане за моделлю та фактичне значення залежної змінної.

Так для залежності (3) середня помилка апроксимації склала 5,04%, а для математичної моделі (6) – 3,4%. Отримані значення свідчать про достатню достовірність отриманих математичних моделей. Але проведена оцінка отриманих моделей на інших містах, які не ввійшли в дані дослідження показала значні відхилення теоретичних значень із експериментальними.

Тому за експериментальними даними необхідно побудувати багато параметричну нелінійну модель, яка б відповідала фактичним значенням. Для цього необхідно:

- по-перше з'ясувати напрямки дії факторів;
- по-друге ступінь відношення кожного із факторів на загальне значення рухливості.

Використовуючи характеристики залежностей вихідних даних було з'ясовано, що кількість жителів у місті, рівень автомобілізації та щільність транспортної мережі впливають прямо пропорційно, а щільність маршрутної мережі обернено пропорційно. Для визначення ступенів (коефіцієнтів) математичної моделі використовуємо відношення значень вільних членів до значення середньої рухливості.

Таким чином був отриманий вигляд математичної моделі

$$Y = a \cdot X_1^b \cdot X_2^c \cdot X_3^d \cdot X_4^e, \quad (8)$$

де  $Y$  – загальна рухливість населення, поїздок;

$X_1$  – кількість мешканців, тис. чол.;

$X_2$  – рівень автомобілізації, авт./1000 мешканців;

$X_3$  – щільність транспортної мережі, км/км<sup>2</sup>;

$X_4$  – щільність маршрутної мережі, км/км<sup>2</sup>;

$a, b, c, d, e$  – коефіцієнти моделі.

Для визначення коефіцієнтів моделі скористаємося методами математичного моделювання. За розрахунків почергової підстановки значень коефіцієнтів моделі (табл. 3) та наступною перевіркою на адекватність за критерієм середньої помилки апроксимації, визначимо остаточний вид моделі (8).

Таблиця 3.

Межі варіювання коефіцієнтів математичної моделі визначення загальної рухливості населення

Коефіцієнт моделі	Мінімальне значення	Максимальне значення	Середнє значення
<i>a</i>	100	300	200
<i>b</i>	0,05	0,1	0,075
<i>c</i>	0,05	0,5	0,275
<i>d</i>	0,05	0,2	0,125
<i>e</i>	0,05	0,2	0,125

Виконавши процес моделювання та перевірку на адекватність було виявлено, що при значеннях коефіцієнтів  $a = 177; b = 0,063; c = 0,27; d = 0,1; e = 0,05$  теоретична рухливість населення описує реальний процес, а значення середньої помилки апроксимації складо 5,72%.

Таким чином математична модель (8) матиме вигляд

$$P_3 = 177 \cdot H_{ж}^{0,063} \cdot Y_a^{0,27} \cdot (\delta - 1)^{0,10} \cdot \delta_M^{0,05} \quad (9)$$

Аналіз проведених оцінок коефіцієнтів парної кореляції при різних значеннях рухливості, показав, що їх не значне відхилення (від 2,1 до 7,0%) ще раз підтверджує теорію про узгодженість фактичних та розрахованих за моделлю (9) значень.

**Висновок.** Наведені математичні моделі (3), (6), (9) визначення транспортної рухливості дозволяють визначити останню при заданих параметрах вулично-дорожньої та маршрутної мережі, співвідношенні поїздок на масовому та індивідуальному пасажирському транспорті. Зокрема збільшення рівня автомобілізації призводить до збільшення поїздок на індивідуальному транспорті, а це зменшує пасажиропотік й призводить до зменшення кількості маршрутів й відповідно до зниження щільності маршрутної мережі.

Наведені результати досліджень в роботі [10] підтверджують отримані нами закономірності, а саме зменшення кількості поїздок на масовому пасажирському транспорті й збільшення на індивідуальному.

1. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст] / В. К. Доля. – Х.: Вид-во „Форт”, 2011. – 507 с.
2. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия / Н Дрейпер, Г Смит. – М.: Диалектика, 2007. -912 с.
3. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.
4. Системологія на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості [Текст] / [ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2007. – 318 с.
5. Vocarejo S., J. P. Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments [Текст] / J. P. Vocarejo S., D. R. Oviedo H. – Journal of Transport Geography, 2012. – Vol. 24. – P. 142-154.
6. Doi, K. Looking at sustainable urban mobility through a cross-assessment model within the framework of land-use and transport integration [Текст] / K. Doi, M. Kii. – IATSS Research, 2012. – Vol. 35. – P. 62-70.
7. Frändberg, L. More or less travel: personal mobility trends in the Swedish population focusing gender and cohort [Текст] / L. Frändberg, B.Vilhelmson. – Journal of Transport Geography, 2011. – Vol. 19, Iss. 6. – P. 1235–1244.
8. Ples, R. Public Transport in Developing Countries [Текст] / R. Ples. – Elsevier, 2005. – 478 p.
9. J.Simpson, B. Urban public transport today [Текст] / B. J.Simpson. – E&FN Spon, 2003. – 222 p.
10. Mattson, J. Travel Behavior and Mobility of Transportation-Disadvantaged Populations: Evidence from the National Household Travel Survey [Текст] / J. Mattson. – Fargo, 2012. – 49 p.
11. Kim, S. Assessing mobility in an aging society: Personal and built environment factors associated with older people’s subjective transportation deficiency in the US [Текст] / S. Kim. – Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour, 2011. – Vol. 14, Iss. 5. – P. 422–429.

Стаття надійшла до редакції 28.04.2014