

## Література

1. Филипский, Ю. К. К вопросу о динамическом коэффициенте передачи [Текст] / Ю. К. Филипский // Изв. Вузов. Радиотехника. – 1976. – Т.31, №5. – С. 18-22.
2. Філіпський, Ю. К. Динаміка сигнальних перетворень [Текст]: Нав. посіб. для студентів ВНЗ / Ю. К. Філіпський. – Одеса: ОДПУ, 2006. – 89 с.
3. Філіпський, Ю. К. Частотно-часові характеристики цифрових фільтрів 1-го та 2-го порядку без прототипів [Текст] / Ю. К. Філіпський, Л. С. Прусенкова // Тр. Одес. политехн. ун-та. – 2009. – Вып. 1 (31). – С. 97-02.
4. Филипский, Ю. К. Динамические свойства избирательных цепей при скачках частоты [Текст] // Изв. вузов. Радиотехника. – 1976. – Т. 19, № 9. – С. 70-74.
5. Агаджанян, А. Р. Особенности частотно-временного анализасигналов и цепей [Текст] / А. Р. Агаджанян, Ю. К. Філіпський // ПраціОПУ. – 2008. – № 1(29). – С. 199-203.
6. Агаджанян, А. Р. Сравнительный анализ частотно-временныхметодов обработки сигналов [Текст] / А. Р. Агаджанян, Ю. К. Філіпський // ПраціОПУ. – 2010. – № 1(33) - 2(34). – С. 175-179.
7. Агаджанян, А. Р. Переваги обробки нестационарних сигналів частотно-часовими методами [Текст] / А. Р. Агаджанян, Ю. К. Філіпський // Праці ОПУ. – 2011. – № 1(35). – С. 125-129.
8. Гоноровский, И. С. Радиотехнические цепи и сигналы [Текст]: учеб. пособие для вузов / И. С. Гоноровский. - 5-е изд. – М.: Дрофа, 2006. – 719 с.
9. Сергиенко, А. Б. Цифровая обработка сигналов [Текст] / А. Б Сергиенко. – 2-е изд. – СПб.: Питер, 2007. – 751 с.
10. Рабинер, Л. Теория и применение цифровой обработки сигналов [Текст]: Пер. с англ. / Л. Рабинер, Б. Гоулд. – М.: МИР, 1978. – 835 с.

*В даній статті висвітлено ряд важливих питань щодо розподілу транспортної роботи міських пасажирських перевезень в залежності від факторів рухливості населення. В результаті досліджень були класифіковані фактори, що визначають рухливість населення. Як наслідок було розроблено математичні моделі транспортної рухливості в залежності від щільності вулично-дорожньої та маршрутної мережі, кількості мешканців міста та рівня автомобілізації*

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

*В данной статье рассматривается ряд важных вопросов о распределении транспортной работы городских пассажирских перевозок в зависимости от факторов подвижности населения. В результате исследований были классифицированы факторы, определяющие подвижность населения. Как следствие, были разработаны математические модели транспортной подвижности в зависимости от плотности улично-дорожной и маршрутной сети, количества жителей и уровня автомобилизации*

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

УДК 656.025.2

## ВИЗНАЧЕННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТРАНСПОРТНОЇ РУХЛИВОСТІ НАСЕЛЕННЯ

В. К. Доля

Доктор технічних наук, професор, завідувачий кафедрою\*

І. Є. Іванов

Кандидат технічних наук\*

\*Кафедра транспортних систем і логістики  
Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова  
вул. Революції, 12, м. Харків, Україна, 61002

## 1. Вступ

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.

Тому існує потреба в детальному вивченні питання розподілу транспортної рухливості між видами транспорту, враховуючи параметри функціонування вулично-дорожньої мережі та населеності міст.

**2. Актуальність теми**

Спостерігається [1 – 3] 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, 3 – 5], 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.

**3. Основна частина**

**3.1. Аналіз літературних джерел по темі дослідження**

В роботах [1, 2] 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 [3, 7 – 9] 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 [3, 9] проведено статистичну обробку впливу наведених факторів на транспортну рухливість та отримано критерії достовірності в межах статистично достовірних.

Загалом в роботі [3] 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.

**3.2. Результати досліджень**

Використовуючи функції перерозподілу транспортної роботи МПТ між різними способами реалізації транспортної рухливості населення міст займали гідне місце в науці про міські пасажирські перевезення. Так було встановлено [1, 2], що має місце коефіцієнт користування транспортом  $\phi_{тр}$ :

$$\phi_{тр} = \frac{P_{тр}}{P_3} , \tag{1}$$

де  $P_3$ ,  $P_{тр}$  – відповідно загальна і транспортна рухливість населення міст.

Коефіцієнт користування пасажирським транспортом загального користування  $\phi_{МТ}$

$$\phi_{МТ} = \frac{P_{МТ}}{P_3} , \tag{2}$$

де  $P_{МТ}$  – рухомість населення міст на міському пасажирському транспорті.

Коефіцієнт користування особистим транспортом  $\phi_{от}$ :

$$\phi_{от} = \frac{P_{от}}{P_3} , \tag{3}$$

де  $P_{от}$  – рухомість населення здійснюється на особистому транспорті.

Разом з тим, згадане вище  $P_{от}$ ,  $P_{тр}$  є функція від економічних, соціальних та екологічних показників і параметрів, що характеризують середовище, мінливе в часі. Задача визначення цих функцій є представлення певного інтересу як для науки так і для практики. 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  $P_3$  (рис. 1). Попередній аналіз впливу зазначених факторів дозволив зробити висновок про ступінь і якість їх впливу на функцію відгуку  $P_3$ . В результаті таблиця обробки пасивного експерименту виглядає наступним чином (табл. 1).

Таблиця 1

Таблиця дослідів пасивного експерименту

Номер досліду	Кількість мешканців, $N_M$ , тис. чол.	Рівень автомобілізації, $Y_a$ , авт./1000 мешканців	Щільність транспортної мережі, $\delta$ , км/км <sup>2</sup>	Щільність маршрутної мережі, $\delta_M$ , км/км <sup>2</sup>	Загальна рухливість населення, $P_Z$ , поїздок
1	100	100	2	1	750
2	500	300	3	2	1300
3	1000	600	3,5	3	1700
.....	.....	.....	.....	.....	.....
n	$N_{M_n}$	$Y_{a_n}$	$\delta_n$	$\delta_{M_n}$	$P_{Z_n}$

Попередній аналіз впливу, вказаних у табл. 2 факторів, дозволяє стверджувати, що загальна рухливість населення  $P_3$  є функція від кількості жителів у місті  $N_{ж}$ , рівня автомобілізації  $Y_a$ , щільності транспортної  $\delta$  та маршрутної мережі  $\delta_M$ , тобто:

$$P_3 = f(N_{ж}; Y_a; \delta; \delta_M). \tag{4}$$

Для визначення виду функції  $P_3$  від перелічених факторів використаємо експериментальні дані та програмний продукт Statistica [10].

На першому етапі відбувається визначення лінійної залежності між факторами та функцією у наступному вигляді [11]

$$y = a_0 + a_1 \cdot x_1 + a_2 \cdot x_2 + \dots + a_n \cdot x_n, \tag{5}$$

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

$x_1, x_2, x_n$  – змінні фактори.

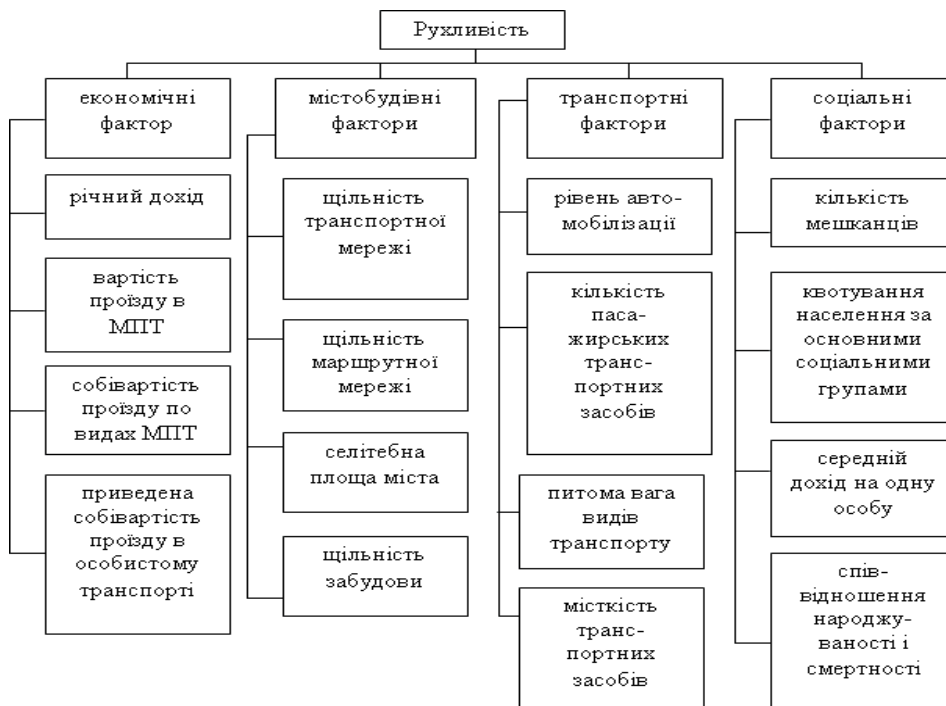


Рис. 1. Фактори, які впливають на рухливість населення

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

$$P_3 = 350,084 + 0,172 \cdot N_{ж} + 1,408 \cdot Y_a + 278,195 \cdot \delta - 182,046 \cdot \delta_M. \tag{6}$$

Під час обробки результатів в програмі Statistica були отримані коефіцієнти значимості факторів моделі (табл. 2), де видно, що такий показник, як кількість жителів у місті  $N_{ж}$  є не значимим, що не відповідає проведеним дослідженням.

Тому необхідно розглянути інші види математичних моделей.

Таблица 2

Коефіцієнти значимості факторів математичної моделі (6)

Фактор	Значення коефіцієнту
Кількість мешканців, $N_{ж}$ , тис. чол.	0,247876
Рівень автомобілізації, $Y_a$ , 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 [10]

$$\ln y = a_0 + a_1 \ln x_1 + a_2 \ln x_2 + \dots + a_n \ln x_n. \tag{7}$$

Це дасть змогу отримати ступеневу модель наступного вигляду:

$$y = a_0 \cdot x_1^{a_1} \cdot x_2^{a_2} \cdot \dots \cdot x_n^{a_n}. \tag{8}$$

Використовуючи програмний продукт Statistica, було отримано коефіцієнти моделі й побудовано ступеневу математичну модель:

$$P_3 = 73,42 \times N_{ж}^{0,314} \times Y_a^{0,183} \times \delta^{0,091} \times \delta_M^{-0,299}. \tag{9}$$

Під час обробки результатів в програмі Statistica були отримані коефіцієнти значимості факторів моделі (табл. 3), де видно, що такий показник, як щільність транспортної мережі  $\delta$  є не значимим, що не відповідає проведеним дослідженням.

Таблица 3

Коефіцієнти значимості факторів математичної моделі (9)

Фактор	Значення коефіцієнту
Кількість мешканців, $N_{ж}$ , 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]:

$$\varepsilon = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{y_i^M - y_i^{\Phi}}{y_i^{\Phi}} \right| \cdot 100\%, \quad (10)$$

де  $N$  – кількість спостережень, од.;

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

Так для залежності (6) середня помилка апроксимації склала 5,04%, а для математичної моделі (9) – 3,4%. Отримані значення свідчать про достатню достовірність отриманих математичних моделей.

#### 4. Порівняльний аналіз отриманих результатів

Наведені математичні моделі (6), (9) визначення транспортної рухливості дозволяють визначити останню при заданих параметрах вулично-дорожньої та маршрутної мережі, співвідношенні поїздки на ма-

совому та індивідуальному пасажирському транспорті. Зокрема збільшення рівня автомобілізації призводить до збільшення поїздки 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 [3] підтверджують отримані нами закономірності, а саме зменшення кількості поїздки на масовому пасажирському транспорті й збільшення на індивідуальному.

#### 5. Висновки

В результаті проведених досліджень було встановлено, що такі показники як кількість жителів у місті, рівень автомобілізації, щільність транспортної мережі впливають прямо пропорційно, а щільність маршрутної мережі обернено пропорційно на рухливість населення міст. В подальшому необхідно провести оцінку отриманих моделей на інших містах, які не ввійшли в дані дослідження.

#### Література

1. Доля, В. К. Пасажирські перевезення [Текст] / В. К. Доля. – Х.: Вид-во „Форт”, 2011. – 507 с.
2. Ефремов, И. С. Теория городских пассажирских перевозок [Текст] / И. С. Ефремов, В. М. Кобозев, В. А. Юдин. – М.: Высшая школа, 1980. – 535 с.
3. Mattson, J. Travel Behavior and Mobility of Transportation-Disadvantaged Populations: Evidence from the National Household Travel Survey [Текст] / J. Mattson. – Fargo, 2012. – 49 p.
4. Simpson, J.B. Urban public transport today [Текст] / B.J. Simpson. – E&FN Spon, 2003. – 222 p.
5. Iles, R. Public Transport in Developing Countries [Текст] / R. Iles. – Elsevier, 2005. – 478 p.
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. – pp. 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. – pp. 1235–1244.
8. Bocarejo S. J. P., Transport accessibility and social inequities: a tool for identification of mobility needs and evaluation of transport investments [Текст] / J. P. Bocarejo S., D. R. Oviedo H. – Journal of Transport Geography, 2012. – Vol. 24. – pp. 142-154.
9. 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. – pp. 422–429.
10. Дрейпер, Н. Прикладной регрессионный анализ. Множественная регрессия [Текст] / Н. Дрейпер, Г. Смит. – М.: Диалектика, 2007. – 912 с.
11. Гаврилов, Е. В. Системология на транспорті. Технологія наукових досліджень і технічної творчості [Текст] / Е. В. Гаврилов, М. Ф. Дмитриченко, В. К. Доля та ін.; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К.: Знання України, 2007. – 318с.