

І.В. Чумаченко, А.С. Галкін, Н.В. Давідіч, Є.І. Куш, Є.В. Літомін*Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Україна*

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ

Статтю присвячено визначенню закономірностей формування транспортних потоків у містах. На підставі результатів анкетного обстеження водіїв індивідуальних транспортних засобів визначено значущість критеріїв вибору маршруту руху водіями з різним типом нервової системи. Наведено результати оцінки узгодженості думок експертів. Виявлено, що перевага критерію вибору маршруту руху водіїв залежить від властивостей центральної нервової системи.

Ключові слова: водій, маршрут, транспортний потік, транспортний засіб, анкетування, нервова система, критерій, значущість.

Постановка проблеми

Рішення завдань з управління транспортними потоками у містах не можливо без визначення закономірностей їх формування та розподілу існуючою транспортною мережею [1]. При цьому можливо виділити два етапи процесу формування транспортних потоків. На першому етапі за показниками потреби в мобільності визначаються відповідні кореспонденції між районами мережі. На наступному етапі на підставі отриманих кореспонденцій проводиться завантаження ділянок мережі та визначаються значення потоків на кожній ділянці. Маршрути кожного пересування визначаються самими кореспонденціями відповідно до власних інтересів. В теперішній час немає надійних критеріїв для оцінки рішень, які роблять водії при виборі маршрутів руху.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Одним з методів визначення величини потоків на ділянках дорожньої мережі та перехрестях є накладання на мережу транспортних кореспонденцій, які реалізуються на різних ділянках [2]. За думкою дослідників, при моделюванні розподілу потоків вулично-дорожньою мережею необхідно дотримуватися такої вимоги: модель повинна включати мету, яку поставив водій при пересуванні. Метою водіїв може бути мінімізація втрат, які мають місце під час поїздки. Однак, при цьому необхідно врахувати можливість поїздки між кожними пунктами мережі по декільком маршрутам [2]. По відношенню до вибору маршруту всі транспортні засоби, що рухаються в потоці, можуть бути розділені на дві групи. До першої можна віднести такі, що рухаються за відповідними маршрутами і не мають права змінювати їх в залежності від умов рух. Це автобуси, тролейбуси,

трамваї і т. д. До другої групи відносяться індивідуальні автомобілі, водії яких вільно вибирають маршрути пересування. Вибір маршруту відбувається кожним водієм незалежно від інших учасників процесу пересування [3].

Найважливішою та фундаментальною особливістю завантаження транспортної мережі є те, що вибір методів і способів пересування його користувача впливає на такий вибір інших користувачів. Цей факт створює зворотний зв'язок під час процесу завантаження. Вибір шляхів пересування ґрунтується на порівнянні їх параметрів, а самі параметри визначаються існуючим завантаженням. Рух потоків, які фактично спостерігаються в мережі, являють собою певний рівноважний стан цього процесу [4].

При прийнятті рішення, людина, як правило, прагне до мінімуму витрат і максимального виграшу [5]. При виборі того, чи іншого маршруту водії керуються власною оцінкою часу в дорозі, безпеки, комфорту та інших факторів. Крім того, складність формалізації рішень водіїв обумовлена різноманітними факторами, що характеризують різні маршрути і суб'єктивну природу прийняття рішень. Кожна людина вибирає для себе найважливіші характеристики [3]. Прийняття рішень супроводжується порівнянням можливих варіантів на основі управлінського досвіду, психофізіологічного стану, особистісних характеристик [5]. Найважливішим з факторів, що впливають на вибір водія режимів руху, є нервово-емоційна напруга. Вона залежить від темпераменту, який є однією з властивостей особистості, та характеризує динамічність перебігу нейронних процесів в корі головного мозку [6]. Темперамент визначається типом нервової системи людини [7]. Випадкові фактори також впливають на вибір. До таких факторів можна віднести період доби, настрої,

погода, стан здоров'я тощо. Таким чином, процес формування та розподілу потоків транспортних засобів ґрунтується на колективній поведінці учасників руху з різною метою пересування, віком, кваліфікацією, психофізіологічними характеристиками [8].

Метою статті є визначення закономірностей формування транспортних потоків шляхом порівняльної оцінки значущості критеріїв вибору водіями маршрутів. Досягнення цієї мети можливо за рахунок проведення анкетного опитування водіїв.

Виклад основного матеріалу

Дослідження, проведене авторами, дозволило визначити, що критерії вибору маршруту руху водіїв комерційних транспортних засобів при виконанні замовлень через інтернет залежить від характеристик водія, параметрів маршруту і тимчасових вікон обслуговування споживачів. Визначення закономірностей вибору маршрутів руху водіями індивідуальних транспортних засобів повинно базуватися на інформації про маршрути, які водії вибирають при пересуванні між районами відправлення та прибуття. Розроблена анкета, яка представлена на рис. 1, дозволяє отримати всю необхідну інформацію.

Анкета № _____

Водій _____
 Стаж _____
 Вік _____
 Марка автомобіля _____
 Дата опитування _____
 Тип нервової системи _____

Проведіть ранжування наведених критеріїв від найбільш значущого, за Вашою думкою, до найменш значущого:

Стан дорожнього покриття _____
 Мінімальний пробіг _____
 Мінімальний час пересування _____
 Маршрут пролягає
 магістральними дорогами _____
 Кількість світлофорів на маршруті _____
 Низка інтенсивність _____
 Втома при русі _____
 Інші причини (вказати) _____

Рис. 1. Анкета для визначення критеріїв при виборі маршруту руху

Під час проведення опитування водії виступали експертами. На початку опитування кожного водія було зафіксовано його вік, стаж водіння, індивідуальні характеристики і марка автомобіля. Індивідуальні характеристики визначалися типом нервової системи. На наступному етапі дослідження

водії визначали критерії вибору маршрутів. При визначенні значущості критеріїв використовувався метод рангової кореляції. Отримані результати обробки опитування для всієї сукупності водіїв, які приймали участь у опитуванні, наведено на рис. 2.

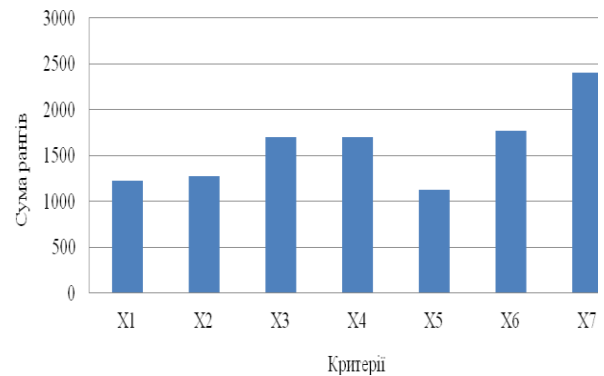


Рис. 2. Зміна ваги критеріїв, беручи до уваги опитування всіх водіїв:

X₁ - пробіг маршрутом; X₂ - час пересування; X₃ - інтенсивність руху; X₄ - маршрут пролягає магістральними дорогами; X₅ - стан дорожнього покриття; X₆ - кількість світлофорів на маршруті; X₇ - втома під час руху.

Аналіз результатів опитування показав, що найбільш значущим критерієм є «стан дорожнього покриття». Ця значущість визначається значним впливом стану покриття на швидкість руху. Крім того, під час руху дорогами з поганим покриттям спостерігається значне погіршення технічного стану транспортного засобу. Існуючі міські дороги України, як правило, знаходяться в незадовільному стані. Це приводить до вибору маршрутів з кращим покриттям.

Наступним за значущістю критерієм є пробіг маршрутом. Водії під час руху припускають, що маршрут мінімальної довжини буде мінімальним і за витратами, що пов'язані з поїздкою.

Третім за значущістю виявився критерій, який характеризує час пересування. Менша значущість його пов'язана з важкістю прогнозування часу пересування, на значення якого суттєвим чином впливають умови руху.

Ще менш важливим для водіїв став критерій «інтенсивність руху», що впливає на параметри пересування. Однак при виборі критерію «час пересування» водії вже беруть до уваги умови руху маршрутом.

Наступним за значущістю є критерій «маршрут пролягає магістральними дорогами». Водії, які вибирають маршрут відповідно до цих критеріїв, покладаються на те, що магістральні дороги, як правило, мають гарне дорожнє покриття, що дозволяє розвивати високу швидкість і зменшувати

час в дорозі. Крім того, врахування цього критерію впливає на умови експлуатації транспортного засобу. Ще менш важливим виявився критерій «кількість світлофорів на маршруті». Він визначає ймовірність затримок на перехрестях і впливає на параметри руху, що в результаті визначає час руху. Найменш значущим став критерій «втома під час руху». Водії транспортних засобів, в першу чергу, намагаються заощадити час пересування і зменшити пробіг маршрутом. Тому при виборі маршруту руху втома є найменш важливим критерієм.

На наступному етапі дослідження було проведено визначення закономірності вибору маршрутів водіями з урахуванням типу нервової системи. Для цього водії було розділено на групи за цією ознакою і проведено окрему оцінку значущості критеріїв. Отримані результати наведено на рис. 3-6.

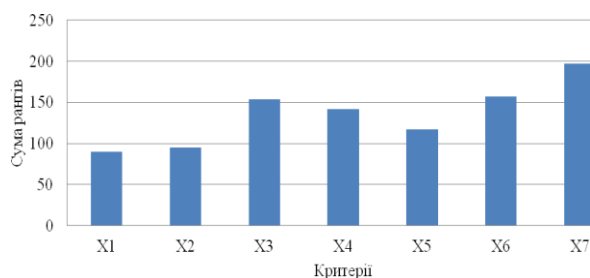


Рис. 3. Зміна ваги критеріїв водіїв з темпераментом «холерик»

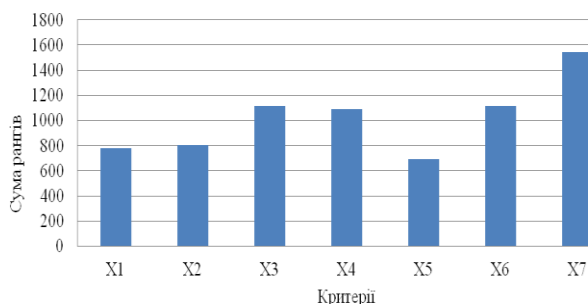


Рис. 4. Зміна ваги критеріїв водіїв з темпераментом «сангвінік»

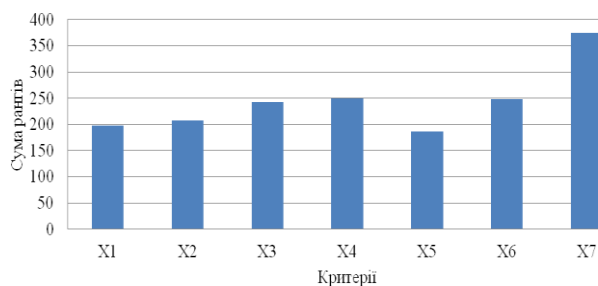


Рис. 5. Зміна ваги критеріїв водіїв з темпераментом «флегматик»

Аналіз результатів показав, що для водіїв з темпераментом «холерик» закономірності зміни значущості більшості критеріїв вибору маршруту руху відповідає зміні значущості критеріїв вибору для сукупності водіїв усіх типів нервової системи.

Відмінною особливістю водія «холерика» є зростання значущості критеріїв «втома під час руху» і «маршрут пролягає магістральними дорогами».

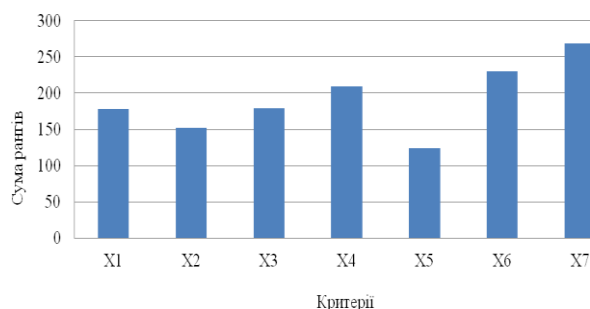


Рис. 6. Зміна ваги критеріїв водіїв з темпераментом «меланхолік»

Це пов'язано з тим, що водії, які мають темперамент «холерик», дуже активні в водінні і емоційно збудливі. Вони недостатньо усидчиві. Водії з цим типом нервової системи безсистемні в роботі, в наслідок цього в тих же умовах руху вони будуть втомлюватися швидше, ніж представники інших темпераментів.

Результати обробки анкет водіїв з темпераментом «сангвінік» показали, що вони узгоджуються з результатами загальної сукупності водіїв. Водії «сангвініки» легко пристосовуються до будь-яких умов на дорозі. Під час руху прийняття правильного рішення вимагає часу. Водії з цим типом нервової системи люблять їздити на високій швидкості, активно маневрувати, ризикувати. Сангвініки легко адаптуються до нових умов, без страху відносяться до високої інтенсивності руху. Внаслідок цього, вони впевнено відчувають себе в умовах інтенсивного дорожнього руху.

Водії з темпераментом «флегматик» однаково реагують на різні умови водіння. Вони мають приблизно однакову значущість критеріїв. Для водіїв «флегматиків» такі критерії, як «час пересування» і «інтенсивність руху» були найбільш значущими. Це пояснюється особливостями цього темпераменту, які проявляються в рівновазі і спокої під час водіння автомобіля.

Для водіїв з типом нервової системи «меланхолік» більш значущими критеріями є такі, як «час пересування», «пробіг маршрутом» і «кількість світлофорів на маршруті». Оскільки водії «меланхоліки» не віддають перевагу довгим поїздкам, вони цінують час більше, ніж водії з іншими типами нервової системи. Водії з цим типом

нервової системи характеризуються емоційною нестабільністю і дисбалансом нервових процесів. Вони постійно в сумнівах щодо вибору маршруту і умов дорожнього руху, що викликає напругу. Висока інтенсивність руху обмежує свободу пересування, викликаючи у водія негативні емоції.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити висновок, що водії транспортних засобів з різними типами нервової системи використовують різні критерії при виборі маршруту руху.

На наступному етапі дослідження було визначено ступінь узгодженості думки експертів з використанням коефіцієнта Кендела:

$$W = \frac{12S}{m^2(n^3 - n)}, \quad (1)$$

де m – кількість експертів; n – кількість факторів; S – сума квадратів відхилення.

Сума квадратів відхилення:

$$S = \sum_{j=1}^n (X_j - \bar{X})^2, \quad (2)$$

де X_j – сума рангів по j -му фактору; \bar{X} – середня сума рангів.

Середня сума рангів:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{j=1}^n X_j}{n}. \quad (3)$$

Для перевірки статистичної ваги коефіцієнта конкордації використовувався критерій χ^2 Пірсона. Розрахункове значення критерію визначалося за формулою:

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1)}. \quad (4)$$

Розрахункове значення критерію порівнювалося з табличним, яке було визначено з урахуванням кількості ступенів свободи та заданого рівня довірчої ймовірності 0,95. Гіпотеза приймається, якщо розрахункове значення критерію перевищує табличне. Табличне значення критерію χ^2 для розглянутих сукупностей водіїв дорівнює 11,07. Результати розрахунків наведено в табл. 1.

Аналіз табл. 1 показав, що розрахункове значення χ^2 перевищує табличне. Це свідчить про не випадковість отриманої залежності. Значення коефіцієнта конкордації показує, що існує узгодженість думок експертів як для загальної

сукупності водіїв, так і для їх груп, розділених на основі «темпераменту».

Таблиця 1.

Оцінка узгодженості думок експертів

Розглянута сукупність	Кількість експертів	Коефіцієнт конкордації	χ^2
Вся сукупність водіїв	400	0,59	1412,34
Холерик	112	0,51	33,47
Сангвінік	120	0,56	177,46
Флегматик	104	0,59	113,35
Меланхолік	64	0,57	104,28

Висновки

При виборі маршруту руху водії керуються різними критеріями. При цьому, перевага того чи іншого критерію залежить від їх індивідуальних характеристик, які визначаються властивостями центральної нервової системи.

Література

- Gabrielli, L., Rinzivillo, S., Ronzano, F., & Villatoro, D. (2013, September). From tweets to semantic trajectories: mining anomalous urban mobility patterns. *In International Workshop on Citizen in Sensor Networks*, 26-35.
- Barbosa, H., Barthelemy, M., Ghoshal, G., James, C. R., Lenormand, M., Louail, T., ... & Tomasini, M. (2018). Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, 734, 1-74.
- Cats, O., Koutsopoulos, H. N., Burghout, W., & Toledo, T. (2011). Effect of real-time transit information on dynamic path choice of passengers. *Transportation Research Record*, 2217(1), 46-54.
- Швецов, В. И. Математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / В. И. Швецов. - М.: Институт системного анализа РАН, 2003. – 189 с.
- Nielsen, O. A. (2000). A stochastic transit assignment model considering differences in passengers utility functions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), 377-402.
- Chu, D., Deng, Z., He, Y., Wu, C., Sun, C., & Lu, Z. (2017). Curve speed model for driver assistance based on driving style classification. *IET Intelligent Transport Systems*, 11(8), 501-510.
- Łuczak, A., & Tarnowski, A. (2014). Validation of selected temperament and personality questionnaires for diagnosing drivers' aptitude for safe driving. *A Polish study. Accident Analysis & Prevention*, 70, 293-300.
- Gao, L., Juan, Z., Ni, A., & Jing, P. (2014). The Effect of Travel Information on Travelers' Choice of Travel Modes and Routes: A Case Study of the Travel between the Campuses. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.

References

- Gabrielli, L., Rinzivillo, S., Ronzano, F., & Villatoro, D. (2013, September). From tweets to semantic trajectories:

- mining anomalous urban mobility patterns. *In International Workshop on Citizen in Sensor Networks*, 26-35.
2. Barbosa, H., Barthelemy, M., Ghoshal, G., James, C. R., Lenormand, M., Louail, T., ... & Tomasini, M. (2018). Human mobility: Models and applications. *Physics Reports*, 734, 1-74.
 3. Cats, O., Koutsopoulos, H. N., Burghout, W., & Toledo, T. (2011). Effect of real-time transit information on dynamic path choice of passengers. *Transportation Research Record*, 2217(1), 46-54.
 4. Shvetsov, V. I. (2003) Mathematical modeling of traffic flows - M.: Institute for System Analysis of the Russian Academy of Sciences. 189.
 5. Nielsen, O. A. (2000). A stochastic transit assignment model considering differences in passengers utility functions. *Transportation Research Part B: Methodological*, 34(5), 377-402.
 6. Chu, D., Deng, Z., He, Y., Wu, C., Sun, C., & Lu, Z. (2017). Curve speed model for driver assistance based on driving style classification. *IET Intelligent Transport Systems*, 11(8), 501-510.
 7. Łuczak, A., & Tarnowski, A. (2014). Validation of selected temperament and personality questionnaires for diagnosing drivers' aptitude for safe driving. *A Polish study. Accident Analysis & Prevention*, 70, 293-300.
 8. Gao, L., Juan, Z., Ni, A., & Jing, P. (2014). The Effect of Travel Information on Travelers' Choice of Travel Modes and Routes: A Case Study of the Travel between the Campuses. *Mathematical Problems in Engineering*, 2014.
 9. Zavadsky Yu. V. (1978) Planning of the experiment in the problems of automobile transport, 156.

Рецензент: д-р техн. наук, проф. Ю. О. Давідіч, Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова, Харків, Україна

Автор: ЧУМАЧЕНКО Ігор Володимирович
доктор технічних наук, професор
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – pmkaf@kname.edu.ua

Автор: ГАЛКІН Андрій Сергійович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – Galkin.tsl@gmail.com

Автор: ДАВІДІЧ Наталія Василівна
кандидат технічних наук
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – pmkaf@kname.edu.ua

Автор: КУШ Євген Іванович
кандидат технічних наук, доцент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – yevhen.kush@gmail.com

Автор: ЛІТОМІН Євген Вікторович
асистент
Харківський національний університет міського господарства імені О.М. Бекетова
E-mail – east1785@mail.ru

PATTERNS OF URBAN TRANSPORT FLOWS GENERATION

I. Chumachenko, A. Galkin, N. Davidich, Y. Kush, I. Litomin

O.M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Ukraine

The article is devoted to explaining the issue of exploring the patterns of formation of urban traffic flows in case of the development of urban transport systems projects. Existing methods for predicting traffic flow parameters are developed for all drivers of vehicles, regardless of their individual characteristics, and contain only travel time as a parameter. It is proposed to use the route run, travel time, traffic intensity as the possible criteria, the route runs along the main roads, the condition of the road surface, the number of traffic lights on the route, and fatigue when driving. Based on the results of a questionnaire survey of drivers of individual vehicles, the significance of the criteria for choosing a route of movement for drivers with various types of nervous systems is assessed. The most significant criterion was set up when choosing a route for travel is the "condition of the road surface". The second most important criterion is "run along the route". The third criterion was "travel time". The criterion "traffic intensity" has become even less significant for drivers. The next most important criterion was "the route take place over the main roads". Even less significant was the criterion "quantity of traffic lights on the route". The criterion "fatigue during movement" became the least significant. To assess the consistency of expert opinions, a concordance coefficient was used. The values of the concordance coefficient showed that there is a consistency of expert opinions both for the total population of drivers and for their groups, divided on the basis of "temperament". It was found that when choosing a travel route, drivers are guided by numerous criteria. Moreover, the advantage or disadvantage of one or another criterion depends on its individual characteristics, which are determined by the properties of the central nervous system.

Keywords: driver, route, traffic flow, vehicle, questionnaire, nervous system, criterion, significance.