

Давідіч Ю.О.¹, Доля В.К.²¹Харківський національний університет міського господарства імені О. М. Бекетова²Національний університет «Одеська політехніка»**ДО ПИТАННЯ МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОДІЛУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ У МІСТАХ**

Робота присвячена розробці ефективних методів моделювання розподілу транспортних потоків у містах. Аналіз результатів попередніх досліджень показав, що прогнозування параметрів транспортних потоків у містах доцільно проводити з використанням методів моделювання закономірностей руху транспортних засобів. Суттєвий вплив на параметри руху автомобілів мають умови руху, що визначаються характеристиками вулично-дорожньої мережі. Крім того на параметри руху впливає зовнішнє середовище. Цей вплив визначає стохастичний характер руху. Врахування стохастичних явищ при моделюванні параметрів руху автомобілів дозволить отримати більш адекватні результати прогнозування параметрів транспортних потоків у містах. Проведення натурних обстежень і обробка їх результатів дозволило отримати дані, що необхідні для розробки моделей зміни параметрів руху автомобілів. Отримані моделі було використано в імітаційній моделі руху транспортних засобів по вулично-дорожній мережі. Наведено алгоритм імітаційної моделі. Вихідними даними при моделюванні руху транспортних засобів є їх параметри і умови руху. Маршрут руху представляється як сукупність ділянок між перехрестями та перехресть вулично-дорожньої мережі. Для моделювання руху транспортних засобів визначається тип ділянки - з двостороннім або з одностороннім рухом. Залежно від типу ділянки в розрахунках використовуються відповідні моделі та параметри законів розподілу. З використання розроблених моделей визначається середня швидкість руху ділянкою. На наступному кроці моделюється фактична швидкість руху з використанням методу Неймана як випадкова величина, що розподілена за нормальним законом. Маючи значення фактичної швидкості руху можливо визначити час руху по ділянці. Аналогічним чином моделюється час проходження автомобілями перехресть вулично-дорожньої мережі. Після розгляду всіх ділянок та перехресть маршруту визначається сумарний час руху і виконується виведення результатів розрахунків. Отримані результати дозволяють визначити параметри руху автомобілів вулично-дорожньою мережею міста, що дає змогу вирішувати завдання моделювання розподілу транспортних потоків у містах.

Ключові слова: транспортна система, маршрут руху, ділянка, перехрестя, швидкість, закон розподілу, модель.

ВСТУП

Підвищення рівня автомобілізації в Україні потребує відповідного реагування при управлінні транспортними потоками в містах. Одним з напрямків вирішення цієї проблеми є розвиток вулично-дорожньої мережі з метою збільшення її пропускної та провізної здатності. Розвиток мережі слід планувати на базі даних про розподіл транспортних потоків на основі функції тяжіння. Існуючі функції тяжіння в якості основного параметру містять час руху транспортних засобів між районами міста. Рух транспортних засобів є складним процесом, на який впливає значна кількість чинників. Параметри руху формуються під впливом різноманітних факторів системи «водій – автомобіль – дорога – середовище», врахувати вплив яких можливо шляхом моделювання. У зв'язку з цим в дослідженнях застосовують методи моделювання складних об'єктів.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Рішення завдання розподілу транспортних потоків вимагає виконання наступних етапів [1]: 1) розробка відповідних методів опису вулично-дорожньої мережі; 2) визначення матриці кореспонденцій транспорту, виходячи з ємностей транспортних районів з прибуття і відправлення; 3) визначення функцій розподілу потоків автомобілів у містах; 4) накладення кореспонденцій на мережу. Виконання першого етапу потребує вибору раціонального числа характеристик ланок і вузлів, що забезпечують можливість урахування обмежень на рух вулично-дорожньою мережею. Це завдання може бути вирішене шляхом синтезу методу графів і координатного методу опису мережі. Ємності транспортних районів визначаються виходячи з їх виробничих і демографічних характеристик за результатами обстежень. Одним з найважливіших завдань розподілу транспортних потоків є визначення величини кореспонденцій між районами міста [1]. Існуючі методи визначення матриці кореспонденцій базуються на використанні функції тяжіння населення між транспортними районами [2]. Пропоновані науковцями функції тяжіння містять в якості основного показника час руху між районами відправлення та призначення. Кореспонденції обчислюються з використанням гравітаційної моделі розподілу [1]. При пересуванні між районами міста водії можуть обирати різні

шляхи прямування. При цьому, основним критерієм вибору шляху прямування є час руху [3]. Виявивши залежність зміни часу руху від умов, за яких автомобіль рухається, можна вирішувати завдання визначення закономірностей розподілу транспортних потоків у містах. Використання аналітичних методів для вирішення різноманітних задач, які пов'язані з функціонуванням транспортних систем є вкрай утрудненим. Внаслідок цього, дослідники пропонують застосовувати методи моделювання [4, 5, 6, 7]. Модель, перебуваючи в певній відповідності з досліджуваним об'єктом, може замінити його при дослідженні і дозволяє отримати інформацію про досліджуваний об'єкт [8, 9]. Математичні моделі, які знайшли практичне застосування в організації дорожнього руху, дослідники поділяють на дві групи: детерміновані і імовірісно-стохастичні [10]. При детермінованому моделюванні транспортних потоків можна виділити два основних підходи: макро і мікроскопічний [11]. Макроскопічний підхід характеризується створенням макромоделей, що описують стан потоку у вигляді взаємозв'язку його основних характеристик. Ці моделі розглядають потік як стаціонарне явище, що характеризується загальною середньою інтенсивністю, швидкістю, щільністю. Швидкість транспортних потоків, будучи найважливішою характеристикою дорожнього руху, багато в чому визначає ефективність використання транспортних мереж. У зв'язку з цим, завдання прогнозування швидкості потоку транспортних засобів в різних умовах є досить актуальною. Дослідженню закономірностей зміни швидкості руху присвячено досить багато досліджень [4, 11, 12], які дозволяють прогнозувати її значення за різних умов руху. При цьому в якості незалежних змінних використовуються різні чинники. Можливо також макромоделювання транспортних потоків на вулицях з урахуванням перехресть [12], які суттєвим чином впливають на швидкість руху [13]. При мікроскопічному підході до моделювання транспортного потоку досліджується дистанція між транспортними засобами та швидкість їх руху [12, 13]. Мікроскопічний підхід має на меті більш детальний опис взаємодії транспортних засобів у потоці. Широке поширення отримали також стохастичні моделі транспортного потоку [4, 12]. Ці моделі відрізняються більшою об'єктивністю [12]. Рух транспортних засобів у щільному транспортному потоці та особливо в зоні перехресть може бути розглянутий на основі теорії масового обслуговування [12]. Ефективним методом дослідження транспортних потоків є моделювання їх руху з використанням обчислювальної техніки [4]. Найбільший практичний інтерес при вирішенні транспортних задач представляють функціональні стохастичні моделі, які в значній мірі дозволяють вирішити одну з основних проблем сучасної науки - проблему складності [12].

ЦІЛЬ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Метою дослідження є розробка імітаційної моделі руху транспортних засобів вулично-дорожньою мережею для визначення часу руху транспортних засобів між районами міста.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

- виявлення факторів, що впливають на швидкість руху автомобілів;
- математична формалізація впливу параметрів, автомобіля, дороги та середовища на швидкість руху автомобілів;
- розробка алгоритму імітаційної моделі руху транспортних засобів вулично-дорожньою мережею міста.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Визначення закономірностей руху автомобілів вулично-дорожньою мережею міста має базуватися на аналізі факторів, які впливають на швидкість руху. Як параметри, що характеризують автомобіль, можна виділити такі: ширина автомобіля; питома потужність двигуна; кількість людей в салоні автомобіля. Ширина автомобіля може впливати на можливість його маневрування в транспортному потоці. Питома потужність двигуна може виступати як фактор, що характеризує динамічні якості автомобіля. Кількість людей в салоні визначає масу автомобіля, що в свою чергу впливає на швидкість його руху.

До загальних факторів, що характеризують дорожні умови можна віднести такі: відстань видимості дорожнього покриття; коефіцієнт зчеплення колеса з дорогою. Умови видимості, які суттєво впливають на швидкість руху, можна оцінити відстанню видимості дорожнього покриття. Коефіцієнт зчеплення, який визначається типом і станом покриття дороги, так само суттєво впливає на швидкість руху автомобілів.

До факторів, що характеризують дорожні умови руху автомобілів на ділянці маршруту можливо віднести: довжину ділянки; кількість смуг руху; швидкість транспортного потоку; інтенсивність руху транспортних засобів.

Довжина ділянки маршруту між перехрестями визначає той проміжок часу, протягом якого автомобіль може рухатися з максимальною можливою швидкістю. Кількість смуг руху характеризує можливість автомобіля маневрувати в потоці транспортних засобів. Швидкість транспортного потоку в напрямку руху є інтегральним показником. На її значення впливає склад транспортного потоку, тип і стан покриття дороги, ступінь рівності і характер поздовжнього профілю дороги та плану траси. Швидкість та інтенсивність транспортного потоку на ділянці дороги визначає можливість виникнення перешкод руху автомобілю з боку інших транспортних засобів.

Для досягнення поставленої мети було проведено дослідження ступеня впливу різних факторів на параметри руху транспортних засобів. Експериментальні дослідження проводилися у межах міста. Водію досліджуваного транспортного засобу вказувалася задача проїхати між двома пунктами, при цьому проводилась фіксація параметрів та умов руху. Після обробки результатів обстеження з використанням методів математичної статистики було розроблено моделі зміни швидкості руху автомобілів на ділянках маршруту.

Для ділянки з двостороннім рухом середня швидкість руху визначається за такою залежністю:

$$V_2 = 29,5L + 0,2Vn + 0,02N + 20,9Um - 0,03 N/K, \quad (1)$$

де L - довжина ділянки маршруту, км; Vn - швидкість транспортного потоку, км/год; N - інтенсивність транспортного потоку на ділянці в напрямку прямування автомобіля, прив. авт./год; Um - питома потужність двигуна, к.с./т. K - кількість смуг руху на ділянці, од.

Для ділянки з одностороннім рухом середня швидкість руху визначається за такою залежністю:

$$V_1 = 18,1L + 0,5Vn - 0,01N + 0,2Um. \quad (2)$$

Отримані регресійні моделі було використано в імітаційній моделі руху транспортних засобів вулично-дорожньою мережею міста. Вихідними даними при моделюванні руху транспортних засобів є їх параметри і умови руху. На першому етапі моделювання вводяться вихідні дані. Маршрут руху представляється з n ділянок між перехрестями і m перехрестів вулично-дорожньої мережі, $m = n - 1$. Моделювання руху відбувається послідовно для кожної i -ої ділянки маршруту та j -го перехрестя, $i = 1, n$; $j = 1, m$.

Поточний номер ділянки маршруту визначається за залежністю:

$$i = i_p + 1, \quad (3)$$

де i - поточний номер ділянки маршруту; i_p - номер попередньої ділянки маршруту;

На наступному етапі моделювання руху транспортних засобів визначається тип ділянки - з двостороннім або з одностороннім рухом. Тип ділянки визначається за кодом, що наводиться у вихідних даних: 1 - ділянка з одностороннім рухом; 2 - ділянка з двостороннім рухом.

Залежно від типу ділянки в розрахунках використовуються відповідні моделі та параметри законів розподілу.

З використання залежностей (1) та (2) визначається середня швидкість руху ділянкою. На наступному кроці моделюється фактична швидкість руху. З огляду на те, що швидкість руху розподілена за нормальним законом [14], з використанням методу Неймана [15] визначається значення фактичної швидкості руху. Передбачається, що діапазон можливих значень випадкової величини (фактичної швидкості руху) можна описати з використанням правила «трьох сигм» [15]. На підставі цього визначаються межі інтервалу, в якому знаходиться значення досліджуваної змінної:

$$A = V_{cp} - 3\sigma, \quad (4)$$

$$B = V_{cp} + 3\sigma, \quad (5)$$

де A - менша межа інтервалу; B - більша межа інтервалу; σ - середнє квадратичне відхилення випадкової величини; V_{cp} - середнє значення швидкості руху.

Значення середнього квадратичного відхилення від середньої швидкості руху визначається в залежності від типу ділянки. Для ділянок з двостороннім рухом воно визначається за такою залежністю:

$$\sigma_2 = 0,07V_{cp} + 0,003N. \quad (6)$$

Для ділянок з одностороннім рухом значення середнього квадратичного відхилення визначається так:

$$\sigma_1 = 7,7 L. \quad (7)$$

Далі визначається випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі [A, B] за залежністю [11]

$$V\phi = A + \xi_1 \cdot (B-A), \quad (8)$$

де $V\phi$ – фактична швидкість руху (випадкова величина, яка рівномірно розподілена в інтервалі [A, B]); ξ_1 - випадкова величина, рівномірно розподілена в інтервалі [0, 1].

На наступному етапі генерується число ξ_2 , також рівномірно розподілене в інтервалі [0, 1] і перевіряється виконання такої нерівності:

$$\xi_2 \leq \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(V\phi-V_{cp})^2}{2\sigma^2}}. \quad (9)$$

При виконанні нерівності (9) значення $V\phi$ вважається фактичною швидкістю руху. Якщо умова (9) не виконується, то за залежністю (8) визначається нове значення $V\phi$ і процес повторюється.

Маючи значення фактичної швидкості руху можливо визначити час руху по ділянці:

$$t_{пyx\ i} = L_i / V_i, \quad (10)$$

де $t_{пyx\ i}$ - час руху автомобіля на і-й ділянці, год; L_i - довжина і-ї ділянки, км; V_i - фактична швидкість руху на і-й ділянці маршруту, км/год.

На наступному кроці відбувається порівняння поточного номера ділянки з кількістю ділянок на маршруті:

$$i < n. \quad (11)$$

У разі невиконання даного нерівності процес обчислень закінчується. За його виконання модель переходить до розрахунку часу проходження перехресть. Першим етапом розрахунків часу проходження перехресть є визначення поточного номера перехрестя за залежністю

$$j = j_p + 1, \quad (12)$$

де j - поточний номер перехрестя; j_p - номер попереднього перехрестя.

На наступному кроці визначається тип перехрестя. Тип перехрестя визначається за кодом, наведеним у вихідних даних: 1 - регульовані перехрестя; 2 - нерегульовані перехрестя. Також за кодом визначається напрямок руху на перехресті: 1 - рух прямо; 2 - рух праворуч; 3 - рух ліворуч. Після цього визначається час затримки транспортних засобів на регульованих і нерегульованих перехрестях.

Далі визначалося середній час руху через перехрестя. Залежно від типу перехрестя і напрямків руху на ньому, використовуються відповідні моделі. Після визначення цієї величини з використанням методу Неймана визначається фактичний час руху через перехрестя.

Після цього модель переходить до визначення номера наступної ділянки маршруту за залежністю (3). Таким чином розрахунки повторюються до тих пір, доки не буде виконуватися

нерівність (11). Після цього визначається сумарний час руху і відбувається виведення результатів розрахунків.

ОБГОВОРЕННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕННЯ

Використання методів статистичних досліджень дозволило розробити моделі зміни параметрів руху автомобілів вулично-дорожньою мережею міста. Це дало змогу формалізувати вплив параметрів, автомобіля, дороги та середовища на швидкість руху автомобілів. На відміну від існуючого підходу прогнозування параметрів транспортних потоків, передбачається, що при розгляді руху автомобілів доцільно враховувати стохастичний характер цього процесу. При цьому при прогнозуванні параметрів транспортних потоків доцільно враховувати особливості ділянок та перехресть вулично-дорожньою мережі міста. Розроблені моделі дають змогу встановити значення швидкості з якою транспортний засіб буде рухатись по маршруту з відповідними параметрами. Їх використання дозволить прогнозувати навантаження вулично-дорожньої мережі. Внаслідок цього, виникає можливість оцінки впливу умов руху на стан системи дорожнього руху у місті.

Запропонований підхід до моделювання процесу формування транспортних потоків дозволяє врахувати вплив випадкових факторів на параметри руху автомобілів. Результати вимірювань дозволяють організаторам транспортного процесу визначати можливі траси маршрутів для водіїв, які забезпечують мінімальний час руху автомобілів. Зважаючи на зазначене представлена імітаційна модель може бути використана для прогнозування параметрів транспортних потоків.

Отримані моделі зміни швидкості руху автомобілів можуть бути використані при проектуванні навантаження вулично-дорожньої мережі, в якій параметри транспортного процесу узгоджуються з діапазоном змін факторів моделі. Різноманітність діапазону даних представлених факторів охоплює реальні дані руху автомобілів по містах України. Відповідно до проведеного аналізу, представлені результати можуть бути застосовані в будь-якому місті чи транспортній системі, якщо дані про варіації схожі або включені у запропоновані моделі. У цьому випадку моделі повинні враховувати конкретні міські обмеження. Представлений підхід розширює знання, отримані при вирішенні проблем транспортних систем та моніторингу формування транспортних потоків у містах.

ВИСНОВКИ

В роботі були виявлено закономірності зміни швидкості руху автомобілів на ділянках маршруту. Дослідження показало, що зміна швидкостей руху з достатньою точністю описується регресійними рівняннями, в яких як змінні виступають параметри маршруту, транспортного потоку та автомобіля. Практичне використання отриманих моделей знайшло місце в імітаційній моделі руху транспортних засобів вулично-дорожньою мережею міста. Отримані результати дають змогу прогнозувати час руху автомобілів та визначати розподіл транспортних потоків на вулично-дорожній мережі міста, що дозволяє вирішувати завдання з організації дорожнього руху, раціонального обслуговування мешканців міст та мінімізації витрат часу на пересування. Запропонований алгоритм прогнозування часу руху автомобілів окрім параметрів транспортних засобів та дороги дозволяє врахувати стохастичність процесу руху.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Ortuzar J. de D. Modelling transport. Third edition / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd. 2016. – 499 p.
2. Давідіч Н. В. Закономірності розселення працівників сфери виробництва / Ю. О. Давідіч, А. С. Галкін, Н. В. Давідіч, Є. І. Куш // Міжвузівський збірник "НАУКОВІ НОТАТКИ". Луцьк. – 2019. – Вип. №66. – С. 80–85.
3. Vidana-Bencomo J.O. Modeling route choice criteria from home to major streets: A discrete choice approach. / J.O. Vidana-Bencomo, E. Balal, J.C. Anderson, S. Hernandez // *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2018. Vol. 7. - P. 74-88.
4. Davidich Y. Modelling Truck's Transportation Speed on the Route Considering Driver's State / N. Davidich, T. Melenchuk, Y. Kush, Y. Davidich, O. Lobashov, A. Galkin // *Transportation Research Procedia*. - 2018. - Vol. 30, - P. 207–215.
5. Пальчик, А.М. Транспортні потоки: [монографія] / А.М. Пальчик. - К.: НТУ, 2010. - 171 с.
6. Осетрін, М. М. Основні принципи створення транспортної моделі міста / М. М. Осетрін, Д. О. Беспалов, М. І. Дорош // [Електрон. ресурс] – Режим доступу: <https://bespalov.me/>
7. Kane, L. Transport planning models – an historical and critical review / Kane L., R. Behrens // *Urban Transport Research Group, University of Cape Town [Електрон. ресурс]*. – Режим доступу: <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence=1>

8. Черненко А. О. Щодо моделювання транспортних потоків для аналізу завантаженості доріг в містах / А. О. Черненко, Н.В. Халіпова, І.Ю. Леснікова // Транспортні системи та технології перевезень. 2016. № 12 // [Електрон. ресурс]. – Режим доступу: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85890>
9. Семенова І.Ю. Математичні моделі МСС / І.Ю. Семенова. - Київ, 2014. // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/03/MatModelMSSlast.pdf>
10. Ємець О.О. Стохастичні й детерміновані задачі оптимізації на розміщеннях: моделі, методи, алгоритми / О.О. Ємець, Т.М. Барболіна. // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/5639>
11. Дьомін М.М. Гідродинамічна модель як макropідхід для управління транспортним потоком / М.М. Дьомін. // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://core.ac.uk/download/pdf/47143358.pdf>.
12. Форнальчик, Є. Ю. Моделювання транспортних потоків : навчальний посібник / Є. Ю. Форнальчик, В. В. Гілевич, І. А. Могила ; за заг. ред. Є. Ю. Форнальчика . – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2020 . – 216 с. // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4244>
13. Цимбал С.В. Аналіз теорії моделювання транспортних потоків / С.В. Цимбал, Р.В. Коваль // [Електронний ресурс] – Режим доступу: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/12/144.pdf>
14. Давідіч Ю.О. Теоретичні основи ергономічного забезпечення автотранспортних технологічних процесів: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук. Наук: спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / Ю.О. Давідіч; Харківська національна академія міського господарства. - Харків, 2007. - 39с.
15. С'янов О.М. Математичне моделювання систем і процесів / О.М. С'янов, С.В. Марченко. - Кам'янське; ДДТУ, 2018. – 50 с.

REFERENCES

1. Ortuzar J. de D. Modelling transport. Third edition / J. de D. Ortuzar, L. G. Willumsen. – John Wiley & Sons Ltd. 2016. – 499 p.
2. Davidich, N. V. Regularities of resettlement of workers in the sphere of production / N.V. Davidich, A.S. Galkin, Y. O. Davidich, E. I. Kush // Interuniversity collection "SCIENTIFIC NOTES". Lutsk. – 2019. – V. №66. – P. 80–85.
3. Vidana-Bencomo J.O. Modeling route choice criteria from home to major streets: A discrete choice approach. / J.O. Vidana-Bencomo, E. Balal, J.C. Anderson, S. Hernandez // *International Journal of Transportation Science and Technology*. 2018. Vol. 7. - P. 74-88.
4. Davidich Y. Modelling Truck's Transportation Speed on the Route Considering Driver's State / N. Davidich, T. Melenchuk, Y. Kush, Y. Davidich, O. Lobashov, A. Galkin // *Transportation Research Procedia*. - 2018. - Vol. 30, - P. 207–215.
5. Palchik, A.M. *Transport flows: [monograph]* / A.M. Palchik. - Kyiv: NTU, 2010. - 171 p.
6. Osetrin, M. M. *Basic principles of creating a transport model of the city* / M.M. Osetrin, D.O. Bepalov, M.I. Dorosh // [Electron. resource]. Access Mode: <https://bepalov.me/>
7. Kane, L. *Transport planning models – an historical and critical review* / Kane L., R. Behrens // *Urban Transport Research Group, University of Cape Town* // [Electron. resource]. – Access Mode: <http://repository.up.ac.za/bitstream/handle/2263/7834/037.pdf?sequence=1>
8. Chernenko A. O. On Traffic Flow Modeling for Traffic Congestion Analysis in Cities / A.O. Chernenko, N.V. Khalipova, I.Y. Lesnikova // *Transport Systems and Transportation Technologies*. 2016. № 12. [Electron. resource]. – Access Mode: <https://doi.org/10.15802/tstt2016/85890>
9. Semenova I.Y. *Matematic Models of MCC* / I.Y. Semenova. - Kyiv, 2014. // [Electronic resource] – Access Mode: <http://www.mechmat.univ.kiev.ua/wp-content/uploads/2018/03/MatModelMSSlast.pdf>
10. Yemets O.O. Stochastic and deterministic optimization problems on placements: models, methods, algorithms / O.O. Yemets, T.M. Barbolina // [Electronic resource] – Access Mode: <http://dspace.puet.edu.ua/handle/123456789/5639>
11. Dyomin M.M. Hydrodynamic Model as a Macro Approach to Traffic Flow Management / M.M. Dyomin // [Electronic resource] – Access Mode: <https://core.ac.uk/download/pdf/47143358.pdf>.
12. Fornalchik E. Y. Traffic Flow Modeling: Tutorial / E.Y. Fornalchik, V.V. Gilevich, I.A. Mohyla ; for the total. Ed. E. Y. Fornalchik. - Lviv : Publishing house Lviv. Polytechnics, 2020. - 216 c. // [Electronic resource]. - Access Mode: <http://elib.chdtu.edu.ua/e-books/4244>.

13. Tsymbal S.V. Analysis of the Theory of Traffic Flow Modeling / S.V. Tsymbal, R.V. Koval // [Electronic resource]. – Access Mode: <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2022/12/144.pdf>
14. Davidich Yu.O. Theoretical Foundations of Ergonomic Support of Motor Transport Technological Processes: Autoref. Dis. for the acquisition of sciences. Degree Doc. Tech. Sciences: Spec. 05.22.01 «Transport Systems» / Yu.O. Davidich; Kharkiv National Academy of Municipal Economy. - Kharkiv, 2007. – 39 p.
15. S'yanov O.M. Mathematical Modeling of Systems and Processes / O.M. S'yanov, S.V. Marchenko. - Kamianske; DDTU, 2018. – 50 p.

Y. Davidich, V. Dolya. On the issue of modeling the distribution of traffic flows in cities

The work is devoted to the development of effective methods for modeling the distribution of traffic flows in cities. Analysis of the results of previous studies has shown that it is expedient to forecast the parameters of traffic flows in cities using methods of modeling the patterns of movement of vehicles. A significant influence on the parameters of car traffic is exerted by the traffic conditions determined by the characteristics of the street and road network. In addition, the external environment affects the parameters of movement. This influence determines the stochastic nature of the movement. Taking into account stochastic phenomena in modeling the parameters of traffic flows will allow to obtain more adequate results of forecasting the parameters of traffic flows in cities. Conducting field surveys and processing their results made it possible to obtain the data necessary for the development of models of car movement parameters. The obtained models were used in a simulation model of vehicle movement. An algorithm of the simulation model of movement of vehicles on the street and road network is presented. The initial data in modeling the movement of vehicles are their parameters and traffic conditions. The route of movement is represented from the aggregates of sections between intersections and intersections of the street and road network. At the next stage of modeling the movement of vehicles, the type of section is determined - with two-way or one-way traffic. Depending on the type of site, the corresponding models and parameters of distribution laws. From the use of the developed models, the average speed of movement along the site is determined. In the next step, the actual velocity is simulated using the Neumann method as a random variable distributed according to the normal law. Given the value of the actual speed of movement, it is possible to determine the driving time on the site. Similarly, the time it takes for cars to pass through the intersections of the street and road network is simulated. After considering all sections and intersections of the route, the total time of movement is determined and the results of the calculations are displayed. The obtained results make it possible to determine the parameters of car traffic along the street and road network of the city, which allows solving the problem of distribution of traffic flows in cities.

Keywords: transport system, traffic route, section, intersection, speed, law of distribution, model.

ДАВІДІЧ Юрій Олександрович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри транспортних систем і логістики, Харківський національний університет міського господарства ім. О. М. Бекетова, e-mail: davidich_tsl@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-4136-4084>.

ДОЛЯ Віктор Костянтинович, доктор технічних наук, професор, професор кафедри автомобільного транспорту і логістики, [Національний університет «Одеська політехніка»](http://www.odessa-polytechnic.com), e-mail: viktordolya@icloud.com. <https://orcid.org/0000-0003-3496-0037>.

Yurii DAVIDICH, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Transport Systems and Logistics, O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkov, e-mail: davidich_tsl@ukr.net. <http://orcid.org/0000-0002-4136-4084>.

Victor DOLYA, Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Professor of the Department of Road Transport and Logistics, [Odesa Polytechnic National University](http://www.odessa-polytechnic.com), e-mail: viktordolya@icloud.com. <http://orcid.org/0000-0003-3496-0037>.

DOI 10.36910/automash.v2i21.1212