

УДК 656

DOI [https://doi.org/10.15589/znp2022.2\(489\).7](https://doi.org/10.15589/znp2022.2(489).7)

METHODICAL PROVISION OF OPTIMIZATION OF THE THREAD CAPACITY OF THE STREET AND ROAD NETWORK AND ITS ELEMENTS (THE CASE OF THE CITY OF KHARKIV)

МЕТОДИЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ВУЛИЧНО-ШЛЯХОВОЇ МЕРЕЖІ ТА ЇЇ ЕЛЕМЕНТІВ (НА ПРИКЛАДІ МІСТА ХАРКІВ)

Dahmani Mohamed

aspirants3221@gmail.com

ORCID: 0000-0002-8854-01489

Дахмані Мохамед

аспірант

Kyiv National University of Construction and Architecture, Kyiv
Київський національний університет будівництва і архітектури, м. Київ

Abstract. The article is devoted to the creation of a method of monitoring and regulating traffic flows in the central part of Kharkiv based on an ontological approach. The purpose of the work is to evaluate the efficiency of the street and road network and its elements in the city of Kharkiv. The following methods were used to solve the research tasks: object-oriented analysis, design patterns, sequential analysis and selection of options; mathematical modeling. Kendall's method of mathematical modeling was used to estimate the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv. For this purpose, the factors affecting the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv were substantiated, and with the help of the Kendall correlation analysis method, the factors were separated by significance. With the help of the conducted analysis, it was determined that such a factor as the density of the parking network exerts the greatest influence. Therefore, we will pay special attention to this issue. It was determined that in order to establish the optimal route taking into account the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv, it is necessary to substantiate an optimization problem in which the variables are the number of optimal routes per week out of five possible ones. It was identified that in order to obtain regularities of the impact of the parking network on the functioning of the transport network of the district, it is necessary to determine how the indicators of time and speed of traffic flows will change depending on the location of parking lots along the street. The article proposes to use factors influencing the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv to justify the indicators of the assessment of the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv. Therefore, in the context of this work, based on the factors affecting the capacity of the street-road network and its elements in the city of Kharkiv, which were identified and evaluated at the beginning of this subsection, it is proposed to introduce into circulation indicators of the capacity of the street-road network and its elements. The recommendations proposed by the author regarding the assessment of the carrying capacity of the street-road network and its elements are able to ensure the improvement of the process of applying state mechanisms for managing traffic flows.

Key words: street and road network, model, method, Kharkiv, traffic flows, monitoring.

Анотація. Стаття присвячена створенню методу моніторингу та регулювання транспортних потоків у центральній частині Харкова на основі онтологічного підходу. Метою роботи є оцінка ефективності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові. Для розв'язання поставлених завдань дослідження було використано наступні методи: об'єктно-орієнтований аналіз, шаблони проектування, послідовний аналіз та відсів варіантів; математичне моделювання. Для оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові використано метод математичного моделювання Кендалла. З цією метою обґрунтовано чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові та за допомогою методу кореляційного аналізу Кендалла – розташовано відокремлені фактори за значимістю. За допомогою проведеного аналізу визначено, що найбільший вплив чинить такий чинник як щільність мережі паркування. Тому даному питанню приділимо окрему увагу. Визначено, що для встановлення оптимального маршруту з урахуванням пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові необхідно обґрунтувати оптимізаційну задачу, в якій змінними є кількість оптимальних маршрутів за тиждень

з п'яти можливих. Ідентифіковано, що для отримання закономірностей впливу мережі паркування на функціонування транспортної мережі району необхідно визначити, яким чином будуть змінюватись показники часу та швидкості руху транспортних потоків в залежності від розташування паркувань вздовж вулиці. У статті запропоновано використовувати чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові для обґрунтування показників оцінки пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові. Отже в контексті даної роботи запропоновано ґрунтуючись на чинниках впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, які виокремлені та оцінені на початку даного підрозділу, ввести до обігу показники оцінки пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів. Запропоновані автором рекомендації щодо оцінки пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів здатні забезпечити удосконалення процесу застосування державних механізмів управління транспортними потоками.

Ключові слова: вулична-шляхова мережа, модель, метод, Харків, транспортні потоки, моніторинг.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ

Останнім часом все більшого розповсюдження в економічній науці отримало застосування ризик-орієнтованого підходу до певних впроваджень, тобто підходу, в основі якого знаходиться саме оцінка можливих ризиків. На думку автора, при здійсненні моніторингу та регулювання транспортних потоків у центральній частині міста також необхідно здійснювати оцінку ризиків, а отже процедура здійснення моніторингу та регулювання транспортних потоків у центральній частині міста Харкова повинна базуватись саме на ризик-орієнтованому підході.

При цьому необхідно проаналізувати причини ризику безпеки дорожнього руху у відношенні [5]:

- відсутності проміжних етапів обробки даних, які не дозволяють своєчасно виявити помилки в організації транспортних потоків;
- відсутності розподілу функцій моніторингу та регулювання;
- вірогідність здійснення помилок під впливом людського чинника;
- можливості несанкціонованого доступу до інформації і її зміни без очевидних доказів;
- зниження вірогідності виявлення помилок із-за малої міри участі в процесі обробки інформації щодо організації дорожнього руху.

Саме перелічене може бути причинами небезпеки дорожнього руху і як наслідок, призведе до виникнення ризиків.

Окремої уваги потребує питання обчислення ризику. Так, основна концепція оцінок ризику полягає у тому, щоб ідентифікувати ризики кількісно або щонайменше в порівняльному вигляді (якісно) по відношенню до будь-яких інших ризиків. Вони можуть бути комплексними і можуть включати різні ризики, щоб визначити їх сумарне значення.

В умовах сьогодення важливого значення набувають проблеми оцінки пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові. Таке зауваження ґрунтується на тому, що без зваженого процесу такої оцінки та отримання її результатів не можна говорити про ефективність діючих

механізмів, а отже не доречно розробляти напрями удосконалення.

АНАЛІЗ ОСТАННІХ ДОСЛІДЖЕНЬ І ПУБЛІКАЦІЙ

Дослідженню питань методичного забезпечення оптимізації пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів присвячено роботи багатьох дослідників, серед яких: Yang H., Wang X., Yin Y.[10], Sun J., Shen J., Liu Y. [8], Madireddy M., De Coensel B., Can A., Degraeuwe B., Beusen B., De Vlioger I., Botteldooren D.[6], Cheng Q., Chen J., Zhang H., Liu Z.[3], Alkaa F., Diabat A., Elhedhli S. [1], Aya A., Baher A.[2], Wu Y., Yang H., Tang J., Yu Y.[9] та інші.

Мета дослідження – оцінка ефективності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові.

МЕТОДИ, ОБ'ЄКТ ТА ПРЕДМЕТ ДОСЛІДЖЕННЯ

Для розв'язання поставлених завдань дослідження було використано наступні методи: об'єктно-орієнтований аналіз, шаблони проектування, послідовний аналіз та відсів варіантів; математичне моделювання.

ОСНОВНИЙ МАТЕРІАЛ

Доцільно для оцінки пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові використовувати метод математичного моделювання Кендалла.

Коефіцієнт кореляції Кендалла (Kendall tau rank correlation coefficient) міра лінійного зв'язку між випадковими величинами [4].

Кореляція Кендалла є рангової, тобто для оцінки сили зв'язку використовуються не чисельні значення, а відповідні їм ранги.

Коефіцієнт інваріантний по відношенню до будь-якого монотонного перетворення шкали вимірювання.

Задля цього перш за все необхідно розподілити чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові.

Чинники були розподілені на декілька напрямів впливу – загальний, маршрутний, швидкісний, паркувальний, інформаційний – наступним чином (табл. 1).

Таблиця 1. Чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові

Напрямок впливу	Показник оцінки чинника	Позначення в таблиці 3.2
Загальний	Територіальний простір міста	x1
	Дорожня аварійність в місті	x2
	Частка автотранспортних засобів на кількість населення	x3
Маршрутний	Провізні можливості маршрутів	x4
	Організованість транспорту	x5
Швидкісний	Середня швидкість руху в місті	x6
	Щільність розміщення камер спостереження	x7
Паркувальний	Наявність централізованих паркінгів	x8
	Щільність мережі паркування	x9
Інформаційний	Система своєчасного сповіщення про ситуацію та затори в місті Харкові	x10

Джерело: складено автором

Таблиця 2. Матриця рангів

Фактори	Експерти					Сума рангів	D	d2
	1	2	3	4	5			
x1	1	1	1	3	1	7	-20.5	420.25
x2	2	3	3	2	3	13	-14.5	210.25
x3	3	7	7	5	3	25	-2.5	6.25
x4	7	7	6	5	5	30	2.5	6.25
x5	6	6	6	3	3	24	-3.5	12.25
x6	6	6	9	9	6	36	8.5	72.25
x7	8	4	8	8	8	36	8.5	72.25
x8	6	4	5	5	2	22	-5.5	30.25
x9	9	9	8	8	9	43	15.5	240.25
x10	8	7	8	7	9	39	11.5	132.25
Σ						275		1202.5

Джерело: розраховано автором особисто за оцінками експертів

При цьому для визначення безпосереднього впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові обрано експертів. Важливо зауважити, що мета та завдання даного дослідження не передбачають зазначення особистих даних відібраних експертів, а тому доцільно підкреслити, що в якості експертів обрано мешканців міста Харкова, що є активними водіями та загальний стаж водіння яких складає більше 20 років. Експертам запропоновано оцінити вплив відібраних факторів за десятибальною шкалою.

Для визначення достатності рівня узгодженості думок експертів було застосовано коефіцієнт конкордації Кендалла (табл. 2).

Коефіцієнт конкордації (W) Кендалла є показником множинної рангової кореляції. W може приймати значення в діапазоні від 0 до +1, де W=0 означає повну відсутність узгодженості в оцінках чи судженнях експертів, а W=1 – повну узгодженість.

За гранично допустиме значення коефіцієнту конкордації пропонуємо взяти W=0,5 (середня узгодженість думок експертів).

$$\text{де } d = \sum x_{ij} - \frac{\sum \sum x_{ij}}{n} = \sum x_{ij} - 27.5 \quad (1)$$

У даному прикладі фактори за значимістю розподілилися наступним чином (табл. 3).

Проведемо оцінку середнього ступеня узгодженості думок всіх експертів за допомогою коефіцієнту конкордації:

$$W = \frac{12S}{m2(n3 - n)} \quad (2)$$

де S = 1202.5, n = 10, m = 5

$$W = \frac{12 \cdot 1202.5}{52(103 - 10)} = 0.583$$

W = 0.583 говорить про наявність середнього ступеня узгодженості думок експертів.

Для оцінки значущості коефіцієнта конкордації скористаємося критерієм узгодження Пірсона:

$$\chi^2 = \frac{12S}{mn(n+1)} \quad (3)$$

Таблиця 3. Розташування факторів за значимістю

	Фактор	Сума рангів
x1	Територіальний простір міста	7
x2	Дорожня аварійність в місті	13
x8	Наявність централізованих паркінгів	22
x5	Організованість транспорту	24
x3	Частка автотранспортних засобів на кількість населення	25
x4	Провізні можливості маршрутів	30
x6	Середня швидкість руху в місті	36
x7	Щільність розміщення камер спостереження	36
x10	Система своєчасного сповіщення про ситуацію та затори в місті Харкові	39
x9	Щільність мережі паркування	43

Джерело: узагальнено особисто автором

Таблиця 4. Показники оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів

Чинник впливу	Показник
Територіальний простір міста	П 1 – показник територіального простору міста
Дорожня аварійність в місті	П 2 – показник загальної аварійності в місті
Частка автотранспортних засобів на кількість населення	П 3 – показник забезпеченості мешканців особистим транспортом
Провізні можливості маршрутів	П 4 – показник можливостей маршрутів міста
Організованість транспорту	П 5 – показник організованості транспорту
Середня швидкість руху в місті	П 6 – показник середньої швидкості руху в місті
Щільність розміщення камер спостереження	П 7 – показник щільності розміщення камер спостереження
Наявність централізованих паркінгів	П 8 – показник забезпеченості централізованими паркінгами
Щільність мережі паркування	П 9 – показник щільності мережі паркування
Система своєчасного сповіщення про ситуацію та затори в місті Харкові	П 10 – показник наявності програмних продуктів щодо сповіщення про затори в місті

Джерело: запропоновано особисто автором

$$\chi^2 = \frac{12 \cdot 1202.5}{5 \cdot 10(10+1)} = 26.24$$

χ^2 порівняємо з табличним значенням для числа ступенів свободи $K = n-1 = 10-1 = 9$ і при заданому рівні значущості $\alpha = 0.05$

Оскільки χ^2 розрахований $26.24 >$ табличного (16.9), то $W = 0.583$ величина не випадкова, а тому отримані результати мають сенс і можуть використовуватися в подальших дослідженнях.

Отже в контексті даного дослідження обґрунтовано чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові та за допомогою методу кореляційного аналізу Кендалла – розташовано відокремлені фактори за значимістю.

За допомогою проведеного аналізу визначено, що найбільший вплив чинить такий чинник як щільність мережі паркування. Тому даному питанню приділимо окрему увагу.

Для отримання закономірностей впливу мережі паркування на функціонування транспортної мережі району необхідно визначити, яким чином будуть змінюватись показники часу та швидкості руху транспортних потоків в залежності від розташування паркувань вздовж вулиці.

Першим етапом дослідження є збір вихідних даних за допомогою натурального обстеження.

Обстеження проводяться на кожній з дуг району та збираються наступні дані: швидкість потоку, інтенсивність руху, кількість смуг руху, ширина проїзної частини, довжина дуги, дані про паркування автомобілів вздовж вулиць.

Окрім того в роботі запропоновано використовувати виокремлені в таблиці 1. чинники впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові для обґрунтування показників оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові. Отже в контексті даної роботи запропоновано ґрунтуючись на чинниках впливу на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, які виокремлені та оцінені на початку даного підрозділу, ввести до обігу показники оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів (табл. 4).

При цьому з окреслених в табл. 1 чинників впливу обрано всі 10, незалежно від корелятивної залежності.

При цьому доцільно підкреслити, що оцінку даних показників доречно проводити за уніфікова-

ною шкалою через неможливість точного визначення окремих показників із запропонованого переліку.

Поряд із цим підґрунтям задля розрахунку окремих показників доцільно вважати рейтинг окремого міста, що досліджується в загальному переліку міст України за окремим показником.

З метою визначення інтервалів оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів та керуючись максимально можливим значенням інтегрального показника – 50, побудуємо шкалу оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів, яка має чотири інтервали (табл. 5).

Таблиця 5. Шкала оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів

Інтервал	Рівень якості
[0-9]	Дуже низький
[10-29]	Низький
[30-39]	Достатній
[40-50]	Високий

Джерело: виокремлено особисто автором

Як видно з таблиці 5, існує чотири інтервали для оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів та підрахувавши загальну кількість балів по запропонованим 10 показникам, існує можливість визначення загального рівня пропускної спроможності.

Кожен з таких показників може знаходитись у межах від 0 до 5. При цьому можна вважати, що якщо кожен показник знаходиться від інтервалу від 0 до 3, то показник знаходиться в критичному стані; якщо

дорівнює 4 – в середньому, якщо рівний 5 – в належному [7].

ОБГОВОРЕННЯ ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ВИСНОВКИ

Сутність розроблених рекомендацій полягає в наступному: в розрізі кожного виокремлено показника розподілено інтервал його значення.

Якщо показник має значення 5, показник має бажане значення та застосування рекомендацій не є необхідним.

Якщо показник знаходиться в значенні 4, має місце часткове тобто неповне виконання відповідної функції, а тому запропоновано рекомендацію, завдяки якій може бути скориговано якість виконання окремої функції з метою забезпечення пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів.

Якщо показник знаходиться в межах від 0 до 3, йдеться про повне невиконання певної функції, що спричиняє руйнівний вплив на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові.

В даному випадку рекомендації носять радикальний характер та їх застосування може в певній мірі підвищити пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, що в цілому сприятиме забезпеченню належного стану функціонування міста.

Окреслені рекомендації щодо оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів здатні забезпечити удосконалення процесу застосування державних механізмів управління транспортними потоками.

REFERENCES

- [1] Alkaa, F.; Diabat, A.; Elhedhli, S. (2019). A Lagrangian heuristic and GRASP for the hub-and-spoke network system with economies-of- scale and congestion. *Transp. Res.* 102, 249–273.
- [2] Aya, A.; Baher, A. (2017). A bi-level distributed approach for optimizing time-dependent congestion pricing in large networks: A simulation-based case study in the Greater Toronto Area. *Transp. Res. Part C*, 85, 684–710.
- [3] Cheng, Q.; Chen, J.; Zhang, H.; Liu, Z. (2021). Optimal Congestion Pricing with Day-to-Day Evolutionary Flow Dynamics: A Mean– Variance Optimization Approach. *Sustainability*, 13, 4931.
- [4] Farahani, R.; Miandoabchi, E.; Szeto, W.; Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European J. Oper. Res.* 229, 281–302.
- [5] Liu, W.; Yin, Y.; Yang, H. (2015). Effectiveness of variable speed limits considering commuters' long-term response. *Transp. Res. Part B Methodol.* 81, 498–519.
- [6] Madireddy, M.; De Coensel, B.; Can, A.; Degraeuwe, B.; Beusen, B.; De Vlieger, I.; Botteldooren, D. (2011). Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach. *Transp. Res. Part D*, 16, 504–508.
- [7] Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed and safety. *Bulletin* 221. Department of technology and society, Lund University, Lund, Sweden.
- [8] Sun, J.; Shen, J.; Liu, Y. (2012). Variable speed limits strategy of urban expressway. *J. Highw. Transp. Res. Dev.* 29, 98–103.
- [9] Wu, Y.; Yang, H.; Tang, J.; Yu, Y. (2016). Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution. *Transp. Res. Part C*, 67, 149–168.
- [10] Yang, H.; Wang, X.; Yin, Y. (2012). The impact of speed limits on traffic equilibrium and system performance in networks. *Transp. Res. Part B*, 46, 1295–1307.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] Alkaa, F.; Diabat, A.; Elhedhli, S. (2019). A Lagrangian heuristic and GRASP for the hub-and-spoke network system with

- economies-of- scale and congestion. *Transp. Res.* 102, 249–273.
- [2] Aya, A.; Baher, A. (2017). A bi-level distributed approach for optimizing time-dependent congestion pricing in large networks: A simulation-based case study in the Greater Toronto Area. *Transp. Res. Part C*, 85, 684–710.
- [3] Cheng, Q.; Chen, J.; Zhang, H.; Liu, Z. (2021). Optimal Congestion Pricing with Day-to-Day Evolutionary Flow Dynamics: A Mean– Variance Optimization Approach. *Sustainability*, 13, 4931.
- [4] Farahani, R.; Miandoabchi, E.; Szeto, W.; Rashidi, H. (2013). A review of urban transportation network design problems. *European J. Oper. Res.* 229, 281–302.
- [5] Liu, W.; Yin, Y.; Yang, H. (2015). Effectiveness of variable speed limits considering commuters' long-term response. *Transp. Res. Part B Methodol.* 81, 498–519.
- [6] Madireddy, M.; De Coensel, B.; Can, A.; Degraeuwe, B.; Beusen, B.; De Vlieger, I.; Botteldooren, D. (2011). Assessment of the impact of speed limit reduction and traffic signal coordination on vehicle emissions using an integrated approach. *Transp. Res. Part D*, 16, 504–508.
- [7] Nilsson, G. (2004). Traffic safety dimensions and the power model to describe the effect of speed and safety. Bulletin 221. Department of technology and society, Lund University, Lund, Sweden.
- [8] Sun, J.; Shen, J.; Liu, Y. (2012). Variable speed limits strategy of urban expressway. *J. Highw. Transp. Res. Dev.* 29, 98–103.
- [9] Wu, Y.; Yang, H.; Tang, J.; Yu, Y. (2016). Multi-objective re-synchronizing of bus timetable: Model, complexity and solution. *Transp. Res. Part C*, 67, 149–168.
- [10] Yang, H.; Wang, X.; Yin, Y. (2012). The impact of speed limits on traffic equilibrium and system performance in networks. *Transp. Res. Part B*. 46, 1295–1307.

© Дахмані Мохамед

Дата надходження статті до редакції: 15.07.2022

Дата затвердження статті до друку: 27.07.2022