

## МАТЕМАТИЧНИЙ ІНСТРУМЕНТАРІЙ ОЦІНЮВАННЯ ПРОПУСКНОЇ СПРОМОЖНОСТІ ВУЛИЧНО-ШЛЯХОВОЇ МЕРЕЖІ

**Дахмані Мохамед**

аспірант кафедри міського господарства факультету урбаністики та просторового планування

Київського національного університету будівництва і архітектури просп. Повітрофлотський, 31, Київ, Україна, 03680, aspirants3221@gmail.com

**ORCID: 0000-0002-8854-01489**

У статті досліджено особливості розробки підвищення ефективності організації вулично-шляхової мережі та її елементів та враховано практичну спрямованість через застосування об'єкта дослідження – міста Харків. Автором визначено, що ключовою проблемою забезпечення ефективності організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові є відсутність раціонального підходу до оцінювання пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів. Мета роботи – розробити та обґрунтувати математичну модель для оцінювання пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харків. Автором визначено, що економіко-математичну модель мережі автомобільних доріг слід розглядати як окремий випадок моделі оптимізації єдиної транспортної мережі. На основі наведених міркувань автором складено систему рівнянь, що характеризують основні закономірні співвідношення між сформульованими вимогами автомобільного транспорту та розгортанням мережі автомобільних доріг. У статті визначено, що оптимізаційні моделі становлять систему математичних рівнянь, лінійних або нелінійних, підпорядкованих визначеній цільовій функції, і служать для відшукування найкращих (оптимальних) розв'язків конкретної економічної задачі. У багатofакторній моделі автором запропоновано включити такі фактори: витрати на удосконалення вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_1$ ); середній обсяг заохочувальної заробітної плати працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_2$ ); обсяг фінансування будівництва спеціалізованих паркувальних майданчиків, тис. грн. ( $x_3$ ); середня заробітна плата працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_4$ ); темпи росту населення, що мають власний транспорт, % ( $x_5$ ); питома вага водіїв, що мають стаж водіння більше 10 років, % ( $x_6$ ). Успішне застосування статистичних методів прогнозування на практиці можливе лише в поєднанні знання в області самих методів з глибокими знаннями об'єкта дослідження, зі змістовним аналізом явища, яке вивчається.

**Ключові слова:** математичний інструментарій, математична модель, регресійна модель, пропускна спроможність, вулично-шляхова мережа.

Постановка проблеми. Розробка методів підвищення ефективності організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові повинна будуватись на обґрунтуванні ключових проблем, які заважають забезпеченню такої ефективності. Так, основною проблемою, яка постає на шляху забезпечення ефективності організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові, є відсутність раціонального підходу до оцінювання пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, що й в остаточному спричиняє неефективність та ірраціональність організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові.

Аналіз останніх досліджень. Дослідженню питань оцінки та обрання ефективного математичного інструментарію оцінювання пропускної спроможності вулично-шляхової мережі присвячено роботи багатьох дослідників, серед яких: В.А. Андріанов, Я.В. Беззуб, Т.А. Гаври-

люк, К.В. Гончаров, І.А. Євстигнєєв, І.В. Жуковецький, О.Ю. Криволапова, В.М. Маркелов, І.Н. Розенберг, О.В. Рудзінська, А.М. Семенов, В.В. Скалозуб, В.П. Соловійов, І.В. Соловійов, В.Ф. Хорошевський, В.Я. Цветков, В.П. Шумляківський, J. S. Albus, P. J. Antsaklis, Nazmul H Siddique та інші.

Мета роботи – розробити та обґрунтувати математичну модель для оцінювання пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харків.

Результати досліджень. Економіко-математичну модель мережі автомобільних доріг слід розглядати як окремий випадок моделі оптимізації єдиної транспортної мережі.

На основі наведених міркувань представляється можливим скласти систему рівнянь, що характеризують основні закономірні співвідношення між сформульованими вимогами автомобільного транспорту та розгортанням мережі автомобільних доріг (формула 1):



визначивши при цьому вплив кожного з них зокрема, а також сукупний вплив на результативну ознаку, то для визначення впливу факторів на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові ( $y$ ) доцільно обчислити таку економетричну модель.

В якості факторів в цій моделі будуть:

– витрати на удосконалення вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_1$ );

– середній обсяг заохочувальної заробітної плати працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_2$ );

– обсяг фінансування будівництва спеціалізованих паркувальних майданчиків, тис. грн. ( $x_3$ );

– середня заробітна плата працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_4$ );

– темпи росту населення, що мають власний транспорт, % ( $x_5$ );

– питома вага водіїв, що мають стаж водіння більше 10 років, % ( $x_6$ ).

Не всі замінені в моделі фактори значимі, але для детального розгляду впливу факторів на результативну ознаку були замінені всі фактори.

Оскільки коефіцієнт детермінації високий ( $R^2 = 0,819475$ ), значення статистики Фішера  $F = 5,30$ , значення статистики Дарбіна-Уотсона  $DW = 0,705$ , можна зробити висновок, що обчислена модель залежності пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові від факторів є статистично якісною й придатною для визначення впливу факторів на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові.

За моделлю на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові впливає обсяг фінансування будівництва спеціалізованих паркувальних майданчиків, тис. грн. ( $x_3$ ); середня заробітна плата працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_4$ ); темпи росту населення, що мають власний транспорт, % ( $x_5$ ), питома вага водіїв, що мають стаж водіння більше 10 років, % ( $x_6$ ) і не впливають фактори: витрати на удосконалення вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_1$ ) тис. грн. та середній обсяг заохочувальної заробітної плати працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_2$ ).

Для управління пропускну спроможністю вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові доцільно врахувати прогнозні значення

факторів впливу на них. Для моделювання тенденції розвитку пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові були використані моделі кривих росту.

Для короткострокового прогнозування (на три наступних періоди) значень пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові ( $y$ ), обсягу фінансування будівництва спеціалізованих паркувальних майданчиків, тис. грн. ( $x_1$ ), середньої заробітної плати працівників вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, тис. грн. ( $x_2$ ), темпів росту населення, що мають власний транспорт, % ( $x_3$ ), питомої ваги водіїв, що мають стаж водіння більше 10 років, % ( $x_4$ ) за допомогою використання статистичного пакета Statgraphics Centurion були обчислені моделі кривих росту.

Слід підкреслити, що в даному випадку відібрано тільки ті фактори, які за побудованою моделлю виявились значимими і в даному випадку для зручності вони були пронумеровані спочатку.

У таблиці 1 наведені обчислені альтернативні моделі за основними кривими росту за рейтингом значень коефіцієнтів детермінації для моделювання тенденцій змінення пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові ( $y$ ).

Таким чином, вибираючи за значенням коефіцієнта детермінації найкращу модель для прогнозування значень показників, за якими буде здійснюватись розробка методів підвищення ефективності організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові, отримали моделі короткострокового прогнозу (табл. 1).

Відповідно до розглянутого вище також можна узагальнити й процедуру з оцінювання пропускну спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів.

Ключові етапи запропонованої процедури включають такі.

1. Обирається система показників транспортної мережі, за якою буде здійснена оцінка пропускну спроможності.

2. За допомогою регресійного аналізу визначається функціональна залежність між обраною системою показників, що відбиває рухомість його транспортних потоків.

3. Відповідно до обраної системи показників будується оптимізаційна модель з урахуванням наявних обмежень щодо змінності руху транспортних потоків міста.

Таблиця 1

Альтернативні моделі за основними кривими росту за рейтингом значень коефіцієнтів детермінації для моделювання тенденцій змінення пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові (  $y$  )

Альтернативні моделі	Відкоректований коефіцієнт детермінації
$y = \frac{1}{\left(0,205 + \frac{0,1697}{t}\right)}$	$R^2 = 0,921$
$y = e^{1,564 - \frac{0,603}{t}}$	$R^2 = 0,899$
$y = 4,714 - \frac{2,192}{t}$	$R^2 = 0,870$
$y = \sqrt{8,753 + 5,016 \ln(t)}$	$R^2 = 0,852$
$y = 2,989 + 0,658 \ln(t)$	$R^2 = 0,842$
$y = \sqrt{21,808 - \frac{16,278}{t}}$	$R^2 = 0,836$
$y = (1,731 + 0,170 \ln(t))^2$	$R^2 = 0,834$
$y = e^{1,099 + 0,176 \ln(t)}$	$R^2 = 0,824$
$y = \sqrt{6,959 + 4,105 \sqrt{t}}$	$R^2 = 0,758$
$y = 2,772 + 0,532 \sqrt{t}$	$R^2 = 0,731$
$y = (1,678 + 0,136 \sqrt{t})^2$	$R^2 = 0,715$
$y = e^{1,046 + 0,141 \sqrt{t}}$	$R^2 = 0,697$
$y = \sqrt{12,219 + 0,723t}$	$R^2 = 0,646$
$y = 3,462 + 0,093t$	$R^2 = 0,609$
$y = (1,856 + 0,024t)^2$	$R^2 = 0,589$
$y = e^{1,231 + 0,024t}$	$R^2 = 0,568$
$y = \frac{1}{0,296 - 0,006t}$	$R^2 = 0,524$

Джерело: розраховано автором.

4. На основі методів математичного програмування обчислюється обрана оптимізаційна модель аналізу руху транспортних потоків міста.

5. На основі порівняння розрахованих та реальних даних визначається оцінка пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів. Зокрема, у разі співставлення

порівняних даних у часі робиться висновок щодо узгодженості досліджуваних потоків, а при співставленні значень порівняних даних робиться висновок щодо збалансованості досліджуваних транспортних потоків (рис. 1).

Відмінністю запропонованої процедури з оцінювання пропускної спроможності вулично-

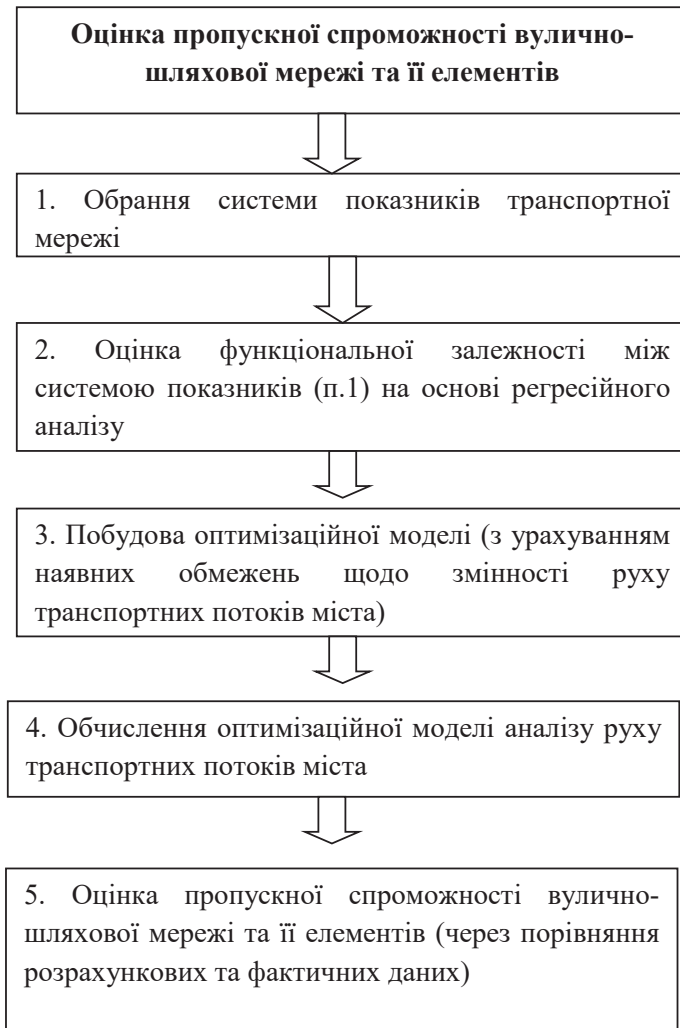


Рис. 1. Алгоритм проведення оцінки пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів.

*Джерело: розробка автора.*

шляхової мережі та її елементів є можливість її застосування при обмеженій інформації щодо транспортної мережі та визначенні різних оцінок щодо співставлення порівняних даних щодо узгодженості та збалансованості досліджуваних транспортних потоків як критеріїв оптимальності. Це надає змогу проводити оцінку оптимальності руху транспортних потоків як між різними елементами вулично-шляхової мережі, так й з погляду одного елемента за різними часовими інтервалами його функціонування та корегувати у разі потреби рухомість транспортних потоків з погляду обраних для аналізу їх характеристик.

Фахівці зі статистичних методів прогнозування вважають, що не може бути чисто формальних підходів до вибору методів і моделей прогнозування. Успішне застосування статистич-

них методів прогнозування на практиці можливе лише в поєднанні знання в області самих методів з глибокими знаннями об'єкту дослідження, зі змістовним аналізом явища, яке вивчається.

**Висновки.** Розроблені економетричні моделі прогнозу та впливу факторів на пропускну спроможність вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові дозволили не тільки визначити вагомість кожного окремого фактору, а й зробити прогноз їх впливу в майбутніх періодах. Таким чином, відібрано фактори, в межах яких доцільно навести напрями зниження ризику організації вулично-шляхової мережі та її елементів у м. Харкові: потрібно чітко керувати впливом окреслених факторів з метою утримання їх на бажаному рівні.

Проте наразі залишається відкритим питання із більш детального опису методу оптиміза-

ції пропускної спроможності вулично-шляхової мережі та її елементів у місті Харкові, що і є одним із предметів розгляду у наступних дослідженнях.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Baskan O. Determining Optimal Link Capacity Expansion sin Road Networks Using Cuckoo Search Algorithm with Lévy Flights. *J. Appl. Math.* 2013, 2013, p. 1–11.
2. Du B., Wang D. Solving continuous network design problem with generalized geometric programming approach. *Transp. Res. Record.* 2016, 2567, p. 38–46.
3. Elvik R. To what extent can the ory account for the findings of road safety evaluation studies. *Accident Analysis and Prevention.* 36(5), 2004, p. 841–849. URL: <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.08.003>.

4. Gao Z., Sun H., Zhang H. A global lyconvergental gorithm for transportation continuous network design problem. *Optim. Eng.* 2007, 8, p. 241–257.

5. Lave C., Elias P. Resource allocation in public policy: The effects of the 65-mphspeedlimit. *Econ. Inq.* 1997, 35, p. 614–620.

6. Li C., Yang H., Zhu D., Meng Q. A global optimization method for continuous network design problems. *Transp. Res. Part B.* 2012, 46, p. 1144–1158.

7. Monahan, T. “Warrooms” of the street: surveillancepracticesin transportation control centers. *The Communication Review.* 10(4), 2007, p. 367– 389. URL: <https://doi.org/10.1080/10714420701715456>.

8. Nilsson, G. Traffic safety dimension sand the power model to describe the effect of speed and safety. *Bulletin 221. Department of technology and society*, 2004, Lund University, Lund, Sweden.

## MATHEMATICAL TOOLS FOR ASSESSMENT OF STREET AND ROAD NETWORK CAPACITY

### Dahmani Mohamed

Postgraduate student of the Department of Urban Management, Faculty of Urbanism and Spatial Planning Kyiv National University of Construction and Architecture ave. 31 Povitroflotskyi St., Kyiv, Ukraine, 03680, [aspirants3221@gmail.com](mailto:aspirants3221@gmail.com)

**ORCID: 0000-0002-8854-01489**

The article examines the features of the development of improving the efficiency of the organization of the road network and its elements and takes into account the practical orientation through the use of the object of study - the city of Kharkiv. The author determined that the key problem of ensuring the efficiency of the organization of the road network and its elements in Kharkiv is the lack of a rational approach to estimating the capacity of the road network and its elements. The aim of the work is to develop and substantiate a mathematical model for estimating the capacity of the road network and its elements in the city of Kharkiv. The author determined that the economic and mathematical model of the road network should be considered as a special case of the model of optimization of a single transport network. Based on the above considerations, the author has compiled a system of equations that characterize the basic regular relationships between the formulated requirements of road transport and the deployment of the road network. The article defines that optimization models are a system of mathematical equations, linear or nonlinear, subject to a certain objective function, and serve to find the best (optimal) solutions to a particular economic problem. In the multifactor model, the author proposes to include the following factors: the cost of improving the road network and its elements in the city of Kharkiv, thousand UAH. (); the average amount of incentive salaries of employees of the road network and its elements in the city of Kharkiv, thousand UAH (); amount of financing for the construction of specialized parking lots, thousand UAH (); average salary of employees of the road network and its elements in the city of Kharkiv, thousand UAH (); population growth rates with own transport,% (); specific weight of drivers with more than 10 years of driving experience,% (). Successful application of statistical forecasting methods in practice is possible only in the combination of knowledge in the field of the methods themselves with in-depth knowledge of the object of study, with a meaningful analysis of the phenomenon being studied.

**Key words:** mathematical tools, mathematical model, regression model, bandwidth, road network.

#### REFERENCES

1. Baskan O. Determining Optimal Link Capacity Expansion sin Road Networks Using Cuckoo Search Algorithm with Lévy Flights. *J. Appl. Math.* 2013, 2013, p. 1–11.
2. Du B., Wang D. Solving continuous network design problem with generalized geometric programming approach. *Transp. Res. Record.* 2016, 2567, p. 38–46.

3. Elvik R. To what extent can the ory account for the findings of road safety evaluation studies. *Accident Analysis and Prevention* 36(5), 2004, p. 841–849. <https://doi.org/10.1016/j.aap.2003.08.003>.

4. Gao Z., Sun H., Zhang H. A global lyconvergental gorithm for transportation continuous network design problem. *Optim. Eng.* 2007, 8, p. 241–257.

5. Lave C., Elias P. Resource allocation in public policy: The effects of the 65-mph speed limit. *Econ. Inq.* 1997, 35, p. 614–620.

6. Li C., Yang H., Zhu D., Meng Q. A global optimization method for continuous network design problems. *Transp. Res. Part B*, 2012, 46, p. 1144–1158.

7. Monahan, T. “Warrooms” of the street: surveillance practices in transportation control

centers. *The Communication Review* 10 (4), 2007, p. 367–389. <https://doi.org/10.1080/1071-4420701715456>.

8. Nilsson, G. Traffic safety dimension and the power model to describe the effect of speed and safety. *Bulletin* 221. Department of technology and society, 2004, Lund University, Lund, Sweden.

*Стаття надійшла 21.05.2022*