

DOI: 10.32347/2786-7269.2023.4.95-102

УДК 656.001.5; 625.712

д.т.н., професор **Гук В.І.**,
vguk@ukr.net, ORCID: 0000-0003-4198-7027,
Одеська державна академія будівництва та архітектури,
к.т.н., доцент **Запорожцева О.В.**,
zhelen77@ukr.net, ORCID: 0000-0002-4975-8643,
Харківський національний автомобільно-дорожній університет

ТОТОЖНІСТЬ ТРАНПОРТНОГО ПОТОКУ В УМОВАХ МІСТА

Для якісної відбудови міст України розкривається ідентичність транспортних та пішохідних потоків у порівнянні з різними потоковими системами. Розкривається фізична суть транспортних потоків, їх характеристики та взаємозв'язок у часі та просторі. Моделювання виконано на фундаменті теорії графів станів, що дозволило встановити нові характеристики міських потоків, такі як напруженість руху, питома інтенсивність, проїжджаність, інерційність руху, швидкоплинність, дорожній та транспортний потенціали, ексергія та потужність потоку. Визначено пропускну спроможність смуги магістралі, шляхи її підвищення та зменшення конгестії.

Ключові слова: шлях, кількість потоку, швидкість, інтенсивність, ексергія, дорожній потенціал, транспортний потенціал, напруженість руху, інерційність руху, конгестія, потужність.

Постановка проблеми. Мета роботи.

Знищення міст України Російською Федерацією під час війни із 24 лютого 2022 р. ставить вимоги їх відбудови, але з урахуванням майбутнього рівня автомобілізації населення, його мобільності та дальності пересування, як головних критеріїв розробки нових генеральних планів. Враховуючи досвід міст Європи, США, Японії та Китаю, це 500-700 і більше автомобілів на тисячу мешканців, але в Україні зараз планується лише 300-350. В той же час, наприкінці 2020 р. вже мали місце на магістралях великих міст, як то Дніпро, Київ, Львів, Одеса, Харків, затори та конгестія (рис. 1, 2) [1, 3].

Щоранку на шляхах прямування (тротуарах) виникають потоки людей (пішоходопотоки), що йдуть пішки, на вулицях і дорогах потоки автомобілів (автопотоки), в громадському транспорті пасажири об'єднуються в пасажиропотоки. Це потокові системи, які чудово моделюються тетраедром станів, але вони мають свою ідентичність: свої одиниці потоку (розміри автомобіля або кроку особи), свою дальність поїздки, свій термін руху [2, 6].



Рис. 1. Конгестія у Харкові



Рис. 2. Затор у Києві

Мета даної роботи спрямована на вирішення завдань, що дозволять визначати та пропонувати для реалізації ефективні заходи відродження та подальшого розвитку м. Харкова у післявоєнний період.

Основна частина дослідження

Для визначення тотожності (ідентичності) транспортного потоку (це можливо і для пішохідного потоку) використовуємо тетраedr станів (рис. 3), тобто залежність вимірників один від одного та теорію розмірностей.

Функціонування міської транспортної системи – це зовнішня працездатність системи «вулиця (дорога, транспортний коридор) – транспортний потік», яку у фізиці визначають як ексергія [1, 5].

Головний елемент транспортного коридору – проїжджа частина є складною інженерною спорудою, призначеною для безпечного пересування різних учасників руху, а саме: вантажного автомобільного транспорту, пасажирського індивідуального та масового автотранспорту, двоколісного (мотоцикли, моторолери, велосипеди), гужового транспорту та пішоходів. Для кожного виду транспорту та пересування необхідно передбачати свою смугу та захист від інших учасників руху [4].

Смуги руху в коридорі мають свій виділений простір. Коридор дуже дорога споруда і в будівництві, і в експлуатації, Але автомагістраль має величезний народногосподарський потенціал, оскільки здатна забезпечити швидке пересування вантажів та пасажирів. Геометричні розміри поперечного та поздовжнього профілів, план траси визначаються перспективними розмірами транспортного потоку, в який, у процесі руху поєднуються всі учасники дорожнього руху, а також розрахунковою швидкістю найбільш швидкохідного індивідуального автомобільного транспорту.

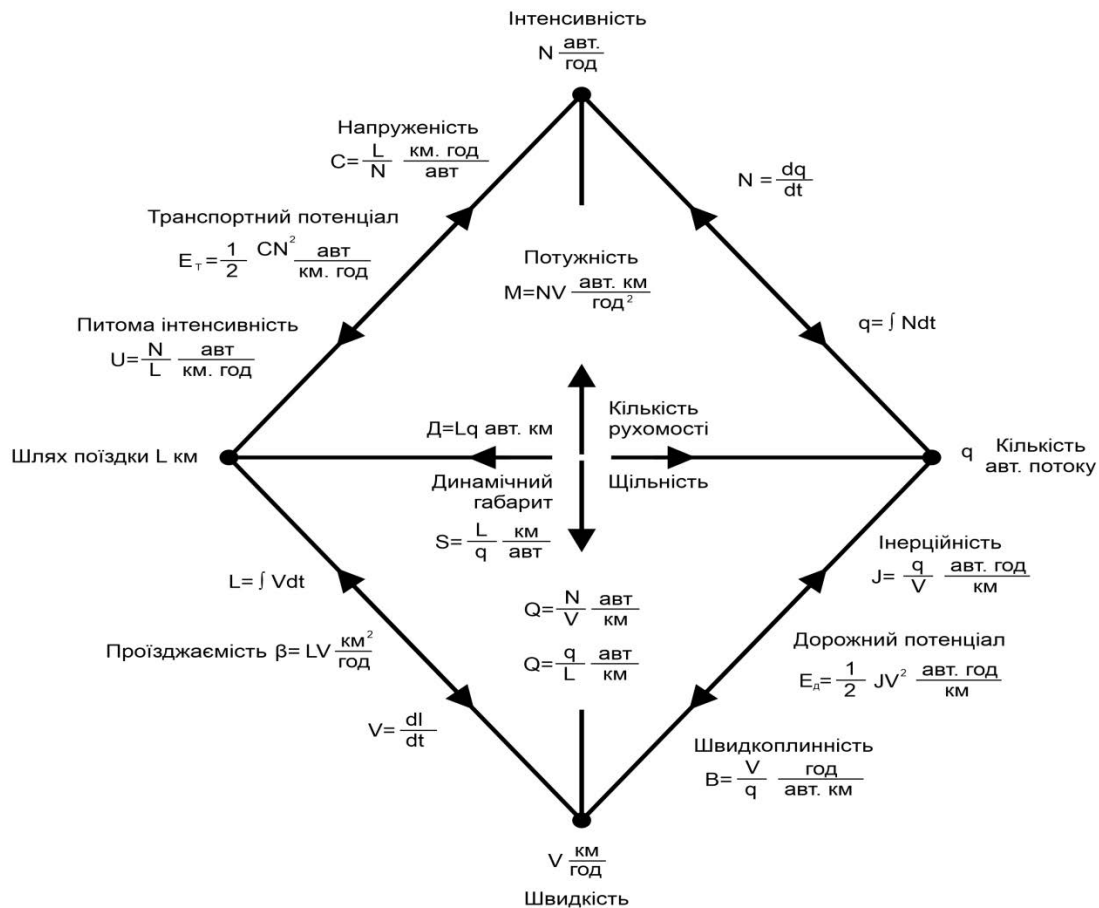


Рис. 3. Граф зв'язків характеристик транспортного потоку

Потенціал або можливість автомагістралі забезпечити безпечний рух автотранспорту максимальний, коли дорога ще порожня, але дорівнює нулю при заторі. Автомобілі стоять.

Основними параметрами системи «магістраль – транспортний потік» є: одиниця потоку q (автомобіль), транспортний час t (с, хв., год. доба. рік), транспортний шлях L (м, км.), або дальність поїздки [1-2]. Похідні від них за часом t : інтенсивність N (авт./год.) – кількість автомобілів, що проходять через переріз дороги повз спостерігача за одиницю часу (година); швидкість потоку, V (км/год.); шляхом L : щільність Q (авт./км) – кількість автомобілів на кілометрі дороги – відношення між швидкістю та інтенсивністю.

Враховуючи, що інтенсивність потоку – це характеристика перерізу магістралі, а швидкість – характеристика смуги руху, потенціал магістралі описується взаємозв'язком між інтенсивністю, N (авт./год.) та його швидкістю, V (км/год.). Причому це на ділянках магістралі, де швидкість руху в основному змінюється лише під впливом щільності Q (авт./км) [3, 5]

$$N = Q \cdot V. \tag{1}$$

На ділянках магістралі, де швидкість змінюється у часі, тобто. dV / dt (гальмування, розгін), мають місце перехідні режими руху транспортних потоків під впливом інерційності потоку J (авт. год./км), яка підкреслює, що швидкість змінюється не миттєво, а поступово.

$$N = JdV / dt. \quad (2)$$

На ділянках доріг, з різними умовами руху, інтенсивність транспортного потоку залежить від кількості пройдених потоком кілометрів при постійних значеннях швидкості, тобто

$$N = U \int V dt, \quad (3)$$

де U – питома інтенсивність або інтенсивність віднесена до довжини ділянки дороги (авт./год. км) [1-2];

$\int V dt$ – пройдений шлях, L (км, м) за час dt .

Виконуючи необхідні перетворення залежності (2), згідно [1-2], отримаємо математичний опис дорожнього потенціалу, E_∂ , для однієї смуги руху

$$E_\partial = 0,5LV_oQ_m \left(1 - \frac{V}{V_o}\right) \left(1 - \frac{Q}{Q_m}\right), \quad (4)$$

де L – одинична довжина смуги руху, км;

V_o – швидкість вільного руху, км/год.;

Q_m – щільність при заторі, авт./км.

Оскільки добуток V_oQ_m є інтенсивністю транспортного потоку на рівні пропускної спроможності, необхідно врахувати два види інтенсивності: інтенсивність, як потік транспорту за час (авт./час) та інтенсивність як «кількість потоку» (автомобілі) всередині відрізка часу (хв., 5 хв., 10 хв., 15 хв., год.). Відношення швидкостей V / V_o характеризує прискорення у потоці, а відношення Q / Q_m – уповільнення руху. Дані відносини входять до оцінки рівнів зручності руху [1]. У той же час, пропускна спроможність смуги руху довжиною в 1 кілометр (4) дорівнює

$$E_T = N_m = 0,125V_oQ_m. \quad (5)$$

З рівняння (5) бачимо, що збільшити пропускну спроможність однієї смуги магістралі можливо при збільшенні швидкості вільного руху, коли

автомобілі не заважають один одному, але впливає дизайн магістралі та запасні відстані між ними.

Зі збільшенням кількості транспортного потоку q (авт.) на проїжджій частині починає зростати потенціал транспортного потоку з перевезення пасажирів та вантажів, який залежить від координатного розташування автомобілів, і легко визначається із значень динамічного габариту [1]

$$E_T = 0,5U \cdot (x_n - 3x_{n-1})^2, \quad (6)$$

де U – питома інтенсивність (авт./год. км);

x – координати n -го та $n+1$ автомобілів;

$x_{n+1} = l_a$ чи довжині автомобіля;

Простір, який займає один автомобіль у русі лише на рівні пропускної спроможності дорівнює $3l_a$, тобто трьом його довжинам. Перетворюючи, відповідно [1, 3], залежність швидкості V від зміни інтенсивності в часі dN / dt знайдемо

$$E_T = 0,5V(L)^2 \frac{(x_n - 3x_{n+1})}{x_n^2}. \quad (7)$$

При знаходженні транспортного потенціалу, E_T , необхідно враховувати залежність швидкості автомобілів від їхньої кількості на дорозі

$$V = SN, \quad (8)$$

де S – динамічний габарит, $S=1/Q$ (км/авт.).

Особливий вплив на швидкість автомобілів надає зміна інтенсивності в часі, що найбільше відчувається на в'їздах у години «пік» і викликають хвилі падіння швидкості і, відповідно, зростання аварійності

$$V = C \frac{dN}{dt}, \quad (9)$$

де C – напруженість у транспортному потоці $C=1/U$ (км год./авт.).

Об'єднання автомобілів у групи, де швидкість руху групи, або кількості потоку, описуються залежністю швидкості від їхньої суми

$$V = \frac{1}{J} \int N dt, \quad (10)$$

де J – визначено нами як інерційність руху (авт. год./км);

$$\frac{1}{J} = B \quad \text{– швидкоплинність руху на кілометрі шляху групи автомобілів}$$

(км/авт. год.);

Ndt (авт.) – кількість потоку за час dt (с, хв., год.) [1].

Об'єднання автомобілів потоку у швидкохідні групи дозволяє різко підвищити пропускну спроможність дороги чи загальну зовнішню працездатність транспортного коридору як системи, що включає «магістраль – потік автомобілів – навколишнє середовище».

Зовнішня працездатність системи – це ексергія [1], чи організований рух, тобто. – потенціал організації дорожнього руху (дизайн та правила руху)

$$E = E_o + E_T. \quad (11)$$

Висновки. Саме дизайн в організації дорожнього руху дозволяє вдосконалювати автомагістралі, підвищувати їхню пропускну спроможність та керувати рухом автомобілів, виходячи з вимог безпеки та ефективності.

Підсумовуючи дорожній та транспортний потенціали, знаходимо ексергію вказаної вище системи, але вже у вигляді «магістраль – потік – дизайн»

$$E = LV_o Q_m \left(1 - \frac{V}{V_o}\right) \left(1 - \frac{Q}{Q_m}\right). \quad (12)$$

За рахунок дизайну дорожнього руху пропускну спроможність однієї смуги може досягти високого рівня і дорівнює

$$E = N_m = 0,25 \cdot Q_m \cdot V_o. \quad (13)$$

Особливе значення у створенні безпечного руху за високої пропускну спроможності вулиць та доріг має каналізація перетинів, примикань, з'їздів та в'їздів з улаштуванням додаткових смуг для розподілу автомобілів потоку за напрямками руху.

Для аналізу стану міського руху доцільно використовувати такі його характеристики як потужність $M = VN$ (авт. км/год.²) та проїжджаність $\beta = LV$ (км²/год.), де L (км) – дальність поїздки. Так, наприклад, у Києві середня розрахункова дальність подорожі 23 км, у Харкові – 13,6 км, в Одесі – 12 км.

Список використаних джерел

1. Гук В.І. Транспортні потоки: теорія та їх застосування в урбаністиці: монографія / В.І. Гук, Ю.М. Шкодовський. – Х.: Золоті сторінки, 2009. – 232 с.
2. Ян Гейл. Города для людей. Концерн «Крост». Москва. 2012. – 276 с. ISBN 978-5-9614-1933-7.
3. Гук В.И. Основы теории функциональных параметров и критериев транспортных потоков. Global Journals Inc. General Engineering (USA). 2013. Online ISSN: 2249-4596 Print ISSN: 0975-5861.
4. *Managin Urban Trffic Congestion. –ECMT, 2007.* ISBN 978-92-821-0128-5[Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789282101506-sum-en.pdf?expires=1684020369&id=id&accname=guest&checksum=0781E3BE759329E37FC74A8A3B8B79AA>
5. Valeryy Hook, Xavier Brunetaud. Integration of regional and interregional transport systems: Textbook. Kharkiv: Operativnaya poligrafiya, 2016. – 120 p.
6. Вол, М. Анализ транспортных систем [Текст] / М. Вол, Б. Мартин //; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 514 с.

Doctor of Technical Sciences, Professor **Huk Valeryy**,
Odesa State Academy of Civil Engineering and Architecture,
Ph.D., Associate Professor **Zaporozhtseva Olena**,
Kharkov National Automobile and Highway University

TRAFFIC FLOW IDENTITY IN THE CONDITIONS OF THE CITY

The movement of a traffic flow along city highways is described by the movement of waves of speed, intensity and density, the equations and characteristics of which allow solving applied problems of traffic control, designing city highways and street-road networks and assessing the quality of existing traffic in cities.

On the routes (sidewalks) there are flows of people (pedestrian flows) walking, on the streets and roads there are flows of cars (car flows), in public transport passengers are combined into passenger flows. These are flow systems that are modeled by a tetrahedron of states, but have their own identity: their flow units (car or step sizes), their travel distance, their travel time.

For the qualitative restoration of Ukrainian cities, the identity of transport and pedestrian flows is revealed in comparison with different flow systems. The physical essence of traffic flows, their characteristics and interrelations in time and space are revealed. The simulation was based on the theory of state graphs, which made it possible to establish new characteristics of urban flows, such as traffic intensity,

specific intensity, passability, traffic inertia, transience, road and transport potentials, exergy and flow power. The throughput capacity of the highway lane, ways to increase it and reduce congestion are determined.

Keywords: path; amount of flow; speed; intensity; exergy; road potential; transport potential; traffic intensity; traffic inertia; congestion; power.

REFERENCES

1. Guk, V.I. Transportnye potoki: teoriya ta yikh zastosuvannya v urbanistytsi. monografiya / V.I. Guk, Yu.M. Shkodovskiy. – Kharkiv.: Zoloti storinky, 2009. – 232 s. {in Ukrainian}.
2. Yan Geyl Goroda dlya lyudey. Kontsern «Krost». Moskva. 2012. – 276 c. ISBN 978-5-9614-1933-7. {in Russian}.
3. Huk V.Y. Osnovy teoryy funktsyonalnikh parametrov y kryteryev transportnikh potokov. Global Journals Inc. General Engineering (USA). 2013. Online ISSN: 2249-4596 Print ISSN: 0975-5861. {in Russian}.
4. Managin Urban Trffic Congestion. –ECMT, 2007. ISBN 978-92-821-0128-5 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.oecd-ilibrary.org/docserver/9789282101506-sum-en.pdf?expires=1684020369&id=id&accname=guest&checksum=0781E3BE759329E37FC74A8A3B8B79AA>
5. Valeryy Hook, Xavier Brunetaud. Integration of regional and interregional transport systems: Textbook. Kharkiv: Operativnaya poligrafiya, 2016. – 120 p. {in English}.
6. Vol, M., Martin, B. (1981) Analysis of transport systems. Transport, 514. {in Russian}