

ЩОДО УМОВ РУХУ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА МЕРЕЖІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ ЗАГАЛЬНОГО КОРИСТУВАННЯ

Виговська І.А., Національний транспортний університет, Київ, Україна,
i.vyhovska2609@gmail.com, orcid.org /0000-0003-1426-9863

CONCERNING THE CONDITIONS OF TRAFFIC FLOWS ON THE NETWORK OF PUBLIC ROADS

Vyhovska I.A., National Transport University, Kiev, Ukraine, i.vyhovska2609@gmail.com,
orcid.org/0000-0003-1426-9863

Постановка проблеми.

Автомобільні дороги загального користування є складовою Єдиної транспортної системи України і задовольняють потреби суспільства в автомобільних пасажирських і вантажних перевезеннях. [1]. З кожним роком змінюється: рівень автомобілізації, задачі що виконують транспортні засоби, методи управління, об'єми руху, що призводять до заторів.

Аналіз останніх публікацій.

Дослідженням транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, вивчення закономірностей руху займались багато вітчизняних та закордонних вчених: Хом'як А.Я., Поліщук В.П., Лановий О.Т., Янішевський С.В., Вознюк А.Б., Пальчик А.М.

Основні характеристики руху транспортних потоків та аналіз мережі доріг України розглянуто в роботах [2, 3];

У роботі [4] підвищення ефективності функціонування мережі автомобільних доріг на основі прогнозування попиту користувачів доріг на умови безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків, урахування вартості та термінів будівництва і витрат на утримання доріг, специфіки роботи дорожнього господарства, показників розвитку суспільства та економіки країни, а також розробка методу формування системи управління функціонуванням і розвитком мережі автомобільних доріг загального користування України.

У роботі [7] встановлено загальний вигляд рівнянь залежності середньої швидкості руху транспортного потоку від радіусів горизонтальних кривих та швидкості руху від поздовжнього похилу; проаналізований вплив дорожніх умов на швидкість руху, згідно дослідження графіків середніх швидкостей до та після покращення умов руху на ділянках дороги.

Мета: Удосконалення методів розподілу транспортних потоків при появі негативних впливів закриття ділянок мережі та необхідності виконання цільової функції транспорту.

Основна частина

Для вирішення завдання визначення та мінімізації сумарного впливу перешкод, що виникають на мережі автомобільних доріг загального користування, потрібно побудувати модель розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування через зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному або кількох перегонах мережі автомобільних доріг.

Математичну модель оптимального розподілу потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, як з точки зору довжини маршрутів, так і з точки зору часу проїзду, оскільки передбачається, що водії транспортних засобів, що здійснюють об'їзд місця виникнення перешкоди, вибирають маршрути об'їзду.

Побудову загальної моделі зручно розглядати, починаючи з формування вихідних даних. Як вихідні дані є необхідним розглянути три групи характеристик, що впливають на процес розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг:

- 1) характеристики мережі автомобільних доріг, до яких належать:
 - топологія мережі автомобільних доріг;
 - наявність магістральних доріг у заданій мережі автомобільних доріг;
 - геометричні елементи перегонів та перехресть;
 - величини пропускних здатностей перегонів та перехресть по напрямних руху;
 - тип та стан покриттів;

- дислокація на мережі точок входу та виходу транспортних потоків, що розподіляються.

Мережа автомобільних доріг має бути представлена певною кількістю перегонів та перехресть, перегони призначаються між перехрестями. У разі зміни геометричних характеристик, стану покриття або інших дорожніх умов протягом довжини перегону, вводяться додаткові умовні перегони.

2) характеристики транспортних потоків, що рухаються мережею автомобільних доріг, до яких належать [5]:

- величини інтенсивностей руху транспортних потоків на перегонах дорожньої мережі;
- величини середніх швидкостей руху транспортних потоків на перегонах дорожньої мережі залежно від інтенсивності руху та дорожніх умов;
- склад транспортних потоків на перегонах мережі автомобільних доріг.

3) характеристики перешкод руху транспорту, що виникають на мережі автомобільних доріг, до яких належать:

- топологія перешкод;
- ступінь впливу цієї перешкоди на величину пропускної здатності мережі автомобільних доріг;

Для побудови загальної моделі розподілу транспортних потоків мережі автомобільних доріг внаслідок зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному з перегонів мережі необхідні також дані про існуючу схему організації руху, величини затримок на перехрестях залежно від їх характеристик, інтенсивностей відповідних потоків та способів регулювання.

При цьому будь-який транспортний потік між точками входу і виходу може бути розглянутий як транзитний, тобто загальна модель розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг зводиться до розподілу транзитних транспортних потоків.

Транзитність транспортного потоку не слід розуміти як рух тільки між точками входу та виходу мережі, оскільки можливі випадки формування потоків усередині мережі, транзитних по відношенню до будь-якої сукупності перегонів у середині мережі.

Побудова математичної моделі зручно ілюструвати з прикладу формалізованої мережі автомобільних доріг (рис. 1).

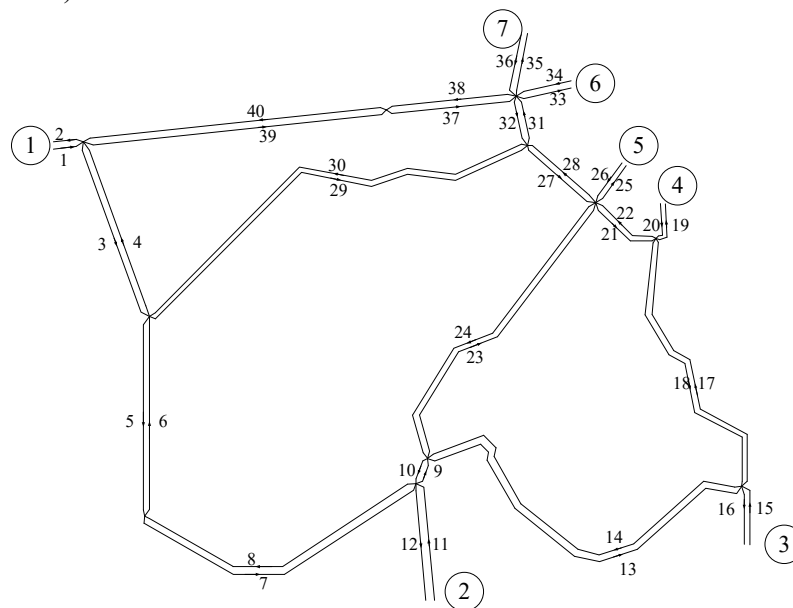


Рисунок 1 – Формалізована мережа автомобільних доріг загального користування.

Figure 1 – Formalized network of public roads.

①

- точки входу та виходу транспортних потоків;

1,2,3, ... - перегони між перехрестями мережі автомобільних доріг.

Причому якщо нумерація маршрутів може бути довільною, то нумерація перегонів встановлюється за наступною залежністю:

$$K = K(\xi, \eta, K_1) = \sum_{i=1}^{\xi-1} \left(\sum_{j=1}^{i-1} n_{i,j} + \sum_{j=i+1}^{\eta} n_{i,j} \right) + \sum_{i=1}^{\xi-1} n_{\xi,1} + \sum_{i=\xi+1}^{\eta-1} n_{\xi,i} + K_1 \quad (1)$$

де $K_1 = 1, 2, \dots, n_{\xi, \eta}$;

K – номер маршруту, що з'єднує ξ -й вихід з η -м входом;

ξ – номер точки входу;

η – номер точки виходу;

Відповідність між маршрутом і перегонем подається в матричній формі:

$$A = a_{k,z} \quad (2)$$

де $a_{k,z}$ елемент матриці, який рівний 1 за наявності відповідності та дорівнює 0 за відсутності відповідності;

z – номер перегону.

У зв'язку з тим, що кожному входу і ξ -ому виходу і η -ому виходу $\xi \neq \eta$ відповідає $n_{\xi, \eta}$ кількість маршрутів, то вхідний транспортний потік $N_{\xi, \eta}$, величина якого може змінюватися в часі, розподіляється тільки за $n_{\xi, \eta}$ кількістю маршрутів, причому має виконуватися така умова:

$$N_{\xi, \eta} = \sum_{K(\xi, \eta-1, 1)}^{K(\xi, \eta-1, n_{\xi, \eta})} N(k) \quad (3)$$

де $N(k)$ - інтенсивність руху розподілених транспортних потоків по k -м маршрутам руху.

Розподілені потоки на перегонах до k -го маршруту визначаються залежно:

$$N_z(k) = a_{k,z} N(k) \quad (4)$$

З урахуванням викладеного, цільова функція розподілу транспортних потоків мережею автомобільних доріг без урахування затримок на перехрестях та місцевій інтенсивності має вигляд:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \frac{l_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z (\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} \quad (5)$$

де T_n - сумарний час руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг;

l_z - довжина z -го перегону;

v_z - середня швидкість руху на z -ом перегоні, що залежить від інтенсивності руху на ньому.

Для визначення часу затримок на перехрестях необхідно врахувати розподіл транспортного потоку, що входить за напрямками, у зв'язку з чим будується матриця зв'язків перегонів.

$$B = b_{z,q} \quad (6)$$

де z - номер перегону, за яким транспортний потік входить на перехрестя;

q - номер перегону, за яким транспортний потік виходить із перехрестя;

$b_{z,q}$ - елемент матриці, що вказує на наявність зв'язку між перегонами, зв'язок існує при $b_{z,q} = 1$, відсутня зв'язок при $b_{z,q} = 0$, $z, q = 1, 2, \dots, m(n)$, $z \neq q$.

З урахуванням матриць (2) і (6) транспортний потік що розподіляється на перехресті розраховується за формулою:

$$N_{z,q} = b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N(k) \quad (7)$$

Величина сумарного часу затримок транспортних потоків, що розподіляються, на перехрестях визначається за залежністю:

$$T_y = \sum_{z=1}^{m_n} \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \quad (8)$$

де $t_{z,q}(N_{z,q})$ - величина затримок транспортних засобів у напрямку руху на перехресті.

Таким чином, цільова функція часу руху транспортних потоків, що розподіляються, мережею автомобільних доріг являє собою сумарний час руху транспортних потоків по перегонах і час їх затримки на перехрестях:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k)}{V_z (\sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} + \sum_{q=1}^{m_n} b_{z,q} t_{z,q} (N_{z,q}) \right) \quad (9)$$

Цільова функція розподілу транспортних потоків повинна враховувати місцеві інтенсивності руху на перегонах мережі. Тому функція (2.30) набуває вигляду:

$$T_n = \sum_{z=1}^{m_n} \left(\frac{l_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))}{V_z (N_{M,Z} + \sum_{k=1}^m a_{k,z} N(k))} + \sum_{q=1}^{m_n} t_{z,q} (N_{M,Z,q} + b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k)) \right) \quad (10)$$

де $N_T(k)$ - розподілений транспортний потік по k-му маршруту;

$N_{M,Z}$ - інтенсивність руху не розподіленого транспортного потоку по z-му перегону.

$N_{M,Z,q}$ - інтенсивність руху транспортного потоку, що не розподіляється, між z-м і q-м перегонами.

Оптимізація за критерієм (10) провадиться за умови виключення виникнення заторних ситуацій на перехрестях та перегонах мережі автомобільних доріг регіону:

$$0 \leq \sum_{k=1}^m a_{k,z} N_T(k) \leq N_{MAX,Z} - N_{M,Z} \quad (11)$$

$$0 \leq b_{z,q} \sum_{k=1}^m a_{k,z} a_{k,q} N_T(k) \leq N_{MAX,Z,q} - N_{M,Z,q}$$

для всіх $Z, q = 1, 2, \dots, m_n; z \neq q$ і умови збереження розподіленого потоку:

$$N_{\xi,\eta} = \sum_{K(\xi,\eta-1,1)}^{K(\xi,\eta-1, n_{\xi,\eta})} N_T(k) \quad (12)$$

де $N_{MAX,Z}$ - пропускна здатність z-го перегону;

$N_{MAX,Z,q}$ - пропускна здатність перехрестя при підході з z-го перегону до q-го перехрестя.

Мінімізація критеріальної функції (10) при виконанні граничних умов (11) та (12) дає оптимальний розподіл потоків мережею автомобільних доріг. Аналіз цієї функції при введенні перешкод руху на різних ділянках мережі автомобільних доріг дає можливість провести оцінку сумарного впливу цих перешкод на рух транспорту в цілому по мережі та визначити допустимий рівень цього впливу.

В результаті буде сформовано:

- напрями руху транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- пріоритети напрямів руху;
- маршрути для розподілу транзитних транспортних потоків у кожному напрямку руху;
- перегони, з яких складається кожен маршрут транзитних транспортних потоків, що розподіляються;
- перехрестя магістральної мережі автомобільних доріг, через які проходять маршрути транспортного потоку, що розподіляється;
- характеристики пропускної здатності перехресть, перегонів і напрямів руху розподіляються транспортних потоків;
- величини місцевих інтенсивностей руху на кожному з перегонів та його розподіл кожному перехресті;
- геометричні характеристики кожного перегону;
- величини інтенсивностей транспортних потоків, що підлягають розподілу;
- залежності зміни середньої швидкості руху від інтенсивності руху кожного перегону;
- залежності, що визначають величини затримок транспортних потоків від інтенсивностей руху на перехрестях магістральної мережі.

Висновки.

Розподіл транспортних потоків, отриманий у вигляді величин інтенсивності руху, що прямують паралельними маршрутами, є одночасно оптимізацією розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху, тобто ті маршрути, на які буде направлений транзитний для даної ділянки мережі автомобільних доріг транспортний потік, будуть оптимальними маршрутами об'їзду.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Закон України від 08.09.2005 р. №2862-IV «Про автомобільні дороги». – [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>
2. Хом'як А.Я. Вивчення характеристик руху транспортних потоків. / А.Я. Хом'як, Ю.А. Лісовол // Вісник НТУ. – 2012. – Вип. 20 Режим доступу: http://publications.ntu.edu.ua/visnyk/26_1_2013/104-108.pdf
3. Вознюк А.Б. Мережа автомобільних доріг України та сучасні транспортні потоки./ А.Б. Вознюк// Збірник «Дороги і мости». – 2014. – Вип. 14. С. 111-124 Режим доступу: http://dorogimosti.org.ua/files/upload/iR_18.pdf
4. Лановий, О.Т. Теоретичні основи та практичні методи забезпечення умов безперервного, безпечного та зручного руху транспортних потоків мережею автомобільних доріг: дис. доктора техн. наук: 05.22.01/ Лановий Олександр Тимофійович. – НТУ. – К. 2019 – 399с. – Бібліогр.: с. 289-305.
5. Поліщук В.П., О.П. Дзюба. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху : навч. посіб. Київ, 2008. С. 49 – 169.
6. Дрю Д.Р. Теорія транспортних потоків и управление ими: пер. с англ. Москва, 1972. С. 424
7. Пальчик А.М. Розроблення заходів з покращення дорожніх умов на ділянках автомобільних доріг на основі аналізу умов руху/Неісвестний С.В., Пальчик А.М., Неісвесна Н.В., Додух К.М., Збірник наукових праць «Дороги і мости» – 2021. Вип.24 – С159 – 168.
8. Луканин В.Н. Автотранспортные потоки и окружающая среда /В.Н. Луканин, А.П. Буслеаев, М.В. Яшина, – М.:ИНФА-М, 2001. –646с.

REFERENCES

- 1 -Zakon Ukrayiny «Pro avtomobilni dorohy» [Law of Ukraine «On Highways»]. (2005). zakon5.rada.gov.ua. Retrieved from <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/2862-15>. [in Ukrainian].

2 Khomiak A.I. Lisovol Y.A. Vychennia kharakterystyk rukhu transportnykh potokiv [Studying the characteristics of traffic flows] *Visnik Natsionalnoho transportnoho universitetu* [Bulletin of the National transport university], 2012, issue 20, pp104-108. (Ukr).

3 Vozniuk A.B. *Merezha avtomobilnykh dorih Ukrainy ta suchasni transportni potoky* [The highway network of Ukraine and modern traffic flows]. *Zbinyk «Dorohy i mosty»* [Zbinyk "Roads and Bridges"], 2012, issue 14, pp 111-124. (Ukr)

4 Lanovyi O.T. *Teoretychni osnovy ta praktychni metody zabezpechennia umov bezpererвноho, bezpechnoho ta zruchnoho rukhu transportnykh potokiv merezheiu avtomobilnykh dorih*. Dokt, Diss. [Theoretical foundations and practical methods of ensuring conditions for continuous, safe and convenient movement of traffic flows by road network. Dokt, Diss]. Kyiv, 2019. 399p [in Ukrainian].

5 Polishchuk V.P., O.P. Dzyuba. *Teoriya transportnogo potoku: metodi ta modeli organizacii dorozhn'ogo ruhu* [Theory of traffic flow: methods and models of traffic management]: navch. posib. Kiev, 2008. P. 49–169 [in Ukrainian].

6 Dryu D.R. *Teoriya transportnih potokov i upravlenie imi: per. s angl.* [Theory of traffic flows and their management] Moskva, 1972. 424 p. [in Russian].

7 Neisvestnyi S.V., Palchyk A.M., Neizvesna N.V., Dodukh K.M. *Rozroblennia zakhodiv z pokrashchennia dorozhnikh umov na diliankakh avtomobilnykh dorih na osnovi analizu umov rukhu* [Razroblennya zahodiv z poshchennja dorozhnikh minds dilyanki avtovilih dorig nasovini analysis razori ruhu] *Zbinyk «Dorohy i mosty»* [Zbinyk «Roads and Bridges»], 2021, issue 24, pp 159-168. (Ukr)

8 Lukanyan V.N., Buslaev A.P., Yashyna M.V. *Avtotransportnye potoky y okruzhaiushchaia sreda* [Traffic flows and the environment] Moskva, INFA, 2001. –646p.

РЕФЕРАТ

Виговська І.А. Щодо умов руху транспортних потоків на мережі автомобільних доріг загального користування / І.А. Виговська // Вісник Національного транспортного університету. Серія «Технічні науки». Науковий журнал. – К.: НТУ, 2022. – Вип. 3 (53)

З кожним роком змінюється: рівень автомобілізації, задачі що виконують транспортні засоби, методи управління, об'єми руху, що призводять до заторів.

Розроблена моделі розподілу транспортних потоків на мережі автомобільних доріг через зменшення пропускної здатності або закриття руху на одному або кількох перегонах мережі автомобільних доріг.

Математичну модель оптимального розподілу потоків на мережі автомобільних доріг загального користування, як з точки зору довжини маршрутів, так і з точки зору часу проїзду.

Мета: Удосконалення методів розподілу транспортних потоків при появі негативних впливів закриття ділянок мережі та необхідності виконання цільової функції транспорту.

Об'єкт дослідження: рух транспортних потоків

Розподіл транспортних потоків, отриманий у вигляді величин інтенсивності руху, що прямують паралельними маршрутами, є одночасно оптимізацією розподілу транспортного потоку, що здійснює об'їзд перешкоди руху, тобто ті маршрути, на які буде направлений транзитний для даної ділянки мережі автомобільних доріг транспортний потік, будуть оптимальними маршрутами об'їзду.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ТРАНСПОРТНИЙ ПОТІК, ІНТЕНСИВНІСТЬ РУХУ, МЕРЕЖА АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ

ABSTRACT

Vyhovska I.A. Regarding traffic flow conditions on the network of public highways. *Visnyk National Transport University. Series «Technical Sciences»*. Scientific journal. – Kyiv: National Transport University, 2022. – Issue 3 (53).

Every year changes: the level of motorization, tasks performed by vehicles, management methods, volumes of traffic that lead to traffic jams.

The model of the distribution of traffic flows on the highway network due to the reduction of capacity or the closure of traffic on one or more stretches of the highway network has been developed.

A mathematical model of the optimal distribution of flows on the network of public highways, both in terms of route length and travel time.

Purpose: Improvement of the methods of distribution of traffic flows in the event of negative effects of closing sections of the network and the need to fulfill the target function of transport.

Object of research: the movement of traffic flows.

The distribution of traffic flows, obtained in the form of traffic intensity values going along parallel routes, is at the same time the optimization of the distribution of the traffic flow bypassing the traffic obstacle, that is, those routes to which the transit traffic flow for this section of the highway network will be directed will be optimal detour routes.

KEYWORDS: TRAFFIC FLOW, TRAFFIC INTENSITY, MOTOR ROAD NETWORK

АВТОР:

Виговська Інна Анатоліївна, Національний транспортний університет, завідувач лабораторії кафедри транспортних систем та безпеки дорожнього руху, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, тел. +380442804885, Україна, 01010, м. Київ, вул. М. Омеляновича-Павленка 1, к.435. orcid.org/0000-0003-1426-9863.

AUTHOR:

Vyhovska I.A., National Transport University head of laboratory transport systems and traffic safety, e-mail: i.vyhovska2609@gmail.com, tel. +380442804885, Ukraine, 01010, Kyiv, M. Omelianovicha-Pavlenko str. 1, of. 435 orcid.org /0000-0003-1426-9863.

РЕЦЕНЗЕНТИ:

Поліщук Володимир Петрович, доктор технічних наук, професор, Національний транспортний університет, завідувач кафедри транспортні системи та безпеки дорожнього руху. Київ, Україна.

Кисельов Володимир Борисович, доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту муніципального управління та міського господарства Таврійського національного університету ім. В.І.Вернадського, Київ, Україна.

REVIEWERS:

Vladimir Petrovich Polishchuk, doctor of technical Sciences, Professor, national transport University, head of Department «Transportation systems and traffic safety» Kyiv, Ukraine.

Kiselev Vladimir Borisovich, doctor of technical Sciences, Director of the Educational and Scientific Institute of Municipal Management and Urban Economics of Tavrida National University V.I .Vernadsky, Kyiv, Ukraine.