

## **РОЗПОДІЛЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ ПО ВУЛИЧНО-ДОРОЖНІЙ МЕРЕЖІ МІСТА**

*Проведений аналіз основних методів розподілення транспортних потоків по вулично-дорожній мережі міст. Визначені пріоритетні напрямки щодо вибору оптимального методу розподілення і вибору маршруту руху.*

*Ключові слова: вулично-дорожня мережа, транспортний потік, інтенсивність руху, пропускна спроможність, оптимальне розподілення, принципи Вардрона.*

**Актуальність проблеми.** Основною метою управління дорожнім рухом є можливість оперативного вирішення проблем зниження числа транспортних заторів та ймовірності їхнього утворення, отримання динамічної інформації про найбільш ефективні маршрути, отримання можливості розраховувати оптимальні режими світлофорного регулювання в режимах реального часу та прийняття оптимального рішення щодо розподілення транспортних потоків по вулично-дорожній мережі міста (ВДМ) міста.

Сам по собі розподіл руху по мережі можливий тільки при наявності відповідних дорожніх умов окремих ділянок, зокрема, наявності резервів у вигляді окремих недовантажених альтернативних ділянок перегонів та перехресть. Таким чином, покращення умов руху транспортних засобів на магістральних вулицях значних і найзначніших міст досягається шляхом оптимального розподілу транспортних потоків по них, що призводить до зниження інтенсивності руху на перевантажених ділянках та збільшення її на недовантажених. Це у визначених межах сприяє підвищенню ефективності функціонування ВДМ міста.

---

<sup>15</sup> © Степанчук О.В., Степанчук С.О.

## Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1(17) 2017

**Мета роботи.** Розглянути та проаналізувати методи розподілення транспортних потоків, які дозволяють ефективно перерозподілити транспортні потоки по ВДМ, тим самим зменшити інтенсивність руху транспортних засобів на перевантажених ділянках мережі та мінімізувати часові витрати.

**Основна частина.** При вирішенні задачі розподілення транспортних потоків по вулично-дорожній мережі значних і найзначніших міст треба приділити увагу тому, що в місті існують потужні пасажиро вантажоутворюючі та пасажиро вантажопоглинаючі вузли, перевезення між якими є не тільки основними в загальному перевезенні, але й дуже часто стійкими по напрямку. Тому треба відмітити, що знаходження оптимального розподілення транспортних потоків по заданій вулично-дорожній мережі все-таки базується на розподілі транспортних потоків по пріоритетному напрямку.

Пріоритет того чи іншого напрямку залежить від наступних показників:

- кількість можливих маршрутів руху;
- сумарна довжина маршрутів руху;
- запас пропускної спроможності напрямку руху для транзитного транспорту.

Чим менша кількість можливих маршрутів по напрямку руху тим вище пріоритет напрямку.

Серед сукупності напрямків руху, що мають однакову кількість маршрутів руху, більш високий пріоритет має той напрямок руху, який характеризується меншим запасом пропускної спроможності для транзитного транспорту. Серед вибраної сукупності напрямків руху, які мають однакову кількість маршрутів і запас по пропускній спроможності, більш високий пріоритет буде мати напрямок руху, який характеризується найменшою сумарною довжиною маршруту.

Необґрунтована організація руху транспортних потоків на вулично-дорожній мережі, в тому числі і транзитних, призводить до перевантаження окремих магістральних вулиць або їхніх окремих

ділянок, з одночасним недовантаженням паралельних їм вулиць. Вирішення цієї проблеми вимагає вирішити задачу оптимального завантаження магістральних вулиць у залежності від характеристик дорожніх умов і характеристик транспортних потоків, які рухаються по ній.

Якщо ВДМ міста представлена деякою кількістю паралельних магістральних вулиць, які нерівномірно завантажені, то може виникнути задача оптимізації завантаження магістральних вулиць шляхом перерозподілу транспортних потоків по цих паралельних вулицях. Під паралельними мають на увазі маршрути, які не пересікаються між собою в одному рівні і мають загальну точку входу та виходу на вулично-дорожній мережі (рис. 1).

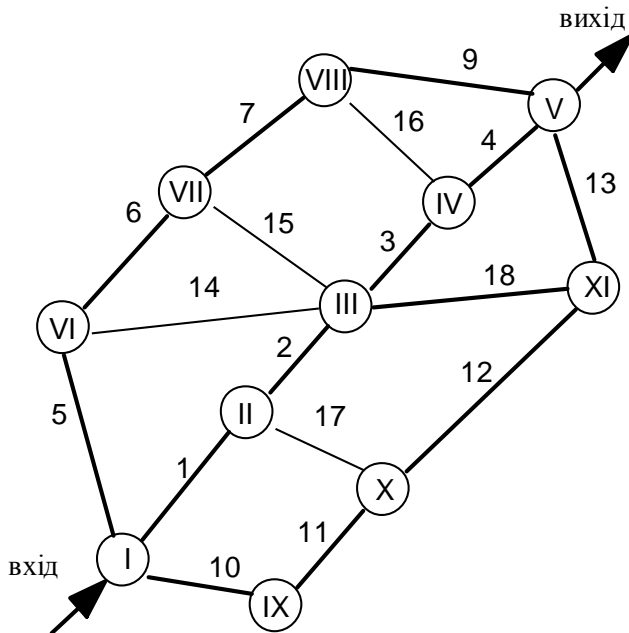


Рис.1. Схема паралельних маршрутів

**Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1(17) 2017**

У роботі [1] запропоновано метод розподілення транспортних потоків по паралельних магістральних вулицях. Дана задача зводиться до розподілу транспортного потоку на місцевий і транзитний, із подальшим розподілом останнього. Як уже відмічалось, оптимізація завантаження магістралей руху здійснюється з урахуванням наявності місцевого руху.

З урахуванням того, що паралельні маршрути не пересікаються між собою, цільова функція розподілення транспортного потоку має вигляд [1]:

$$T = \sum_{k=1}^M \left( \sum_{z=z(k)}^{m_n(k)} \frac{l_z(N_{mz} + N_T(k))}{V_z(N_{mz} + N_T(k))} + t_{sx,k} + \sum_{g=z(k)+1}^{m_n(k)} t_{g-1,g} + t_{sux,k} \right) \quad (1)$$

$$z(k) = \sum_{i=1}^{k-1} m_i + 1$$

$$m_n(k) = \sum_{i=1}^k m_i$$

$$t_{sx,k} = t_{sx,z(k)} \left( N_{m,z(k)}^{sx} + N_T(k) \right)$$

$$t_{g-1,g} = t_{g(k)-1,g(k)} \left( N_{m,g(k)-1,g(k)} + N_T(k) \right)$$

$$t_{sux,k} = t_{sux,m_n(k)-1} \left( N_{m,m_n(k)-1}^{sux} + N_T(k) \right)$$

де  $m_i$  – кількість перегонів на  $i$  – му маршруті руху;

$z(k)$  – початкові номери перегонів на  $k$ -ом маршруті руху;

$m_n(k)$  – сумарна кількість перегонів по маршруту руху до  $k$ -го

включно;

$t_{sx,k}$  – величина затримки транспорту на вході  $k$ -го маршруту руху;

## Проблеми розвитку міського середовища. Вип.1(17) 2017

$t_{sx,z(k)}$ -величина затримки транспорту при вході на початковий перегін к-го маршруту, що залежить від інтенсивності руху;

$N_{m,z(k)}^{sx}$ -загальна інтенсивність руху місцевого транспортного потоку при вході на початковий перегін к-го маршруту руху;

$t_{g(k)-1,g(k)}$ -величина затримки транспорту на перехресті між перегонами к-го маршруту;

$N_{m,g(k)-1,g(k)}$ -величина інтенсивності руху місцевого транспортного потоку на перехрестях між перегонами к-го маршруту;

$t_{sux,k}$ -величина затримки транспорту при виході із к-го маршруту;

$t_{sux,m_n(k)-1}$  величина затримки транспорту при виході із кінцевого перегону к-го маршруту, що залежить від інтенсивності руху;

$N_{m,m_n(k)-1}^{sux}$ -величина інтенсивності руху місцевого транспортного потоку при виході із кінцевого перегону к-го маршруту.

Тоді функція Лагранжа для даного випадку має вигляд [26]:

$$L_n = \sum_{k=1}^m \left( \sum_{z=z(k)}^{m_n(k)} \frac{l_z(N_{mz} + N_T(k))}{V_k(N_{mz} + N_T(k))} + t_{sx,k} + \sum_{g=z(k)+1}^{m_n(k)} t_{g-1,g} + t_{sux,k} \right) + \lambda_n \left( \sum_{k=1}^m N_{T(k)} - N_{pos} \right) \quad (2)$$

де  $N_{pos}$ -величина розподіленого потоку по паралельних маршрутах;

$\lambda_n$ -множник Лагранжа.

Як зазначено у роботі [1], виконавши диференціювання функції Лагранжа по  $N_T(k)$  і  $\lambda_n$  отримано систему рівнянь:

$$\sum_{k=1}^m \left( \sum_{z=z(k)}^{m_n(k)} l_z \frac{V_z + \frac{\partial V_z}{\partial N_T(k)} (N_{mz} + N_T(k))}{V_z^2} + \frac{\partial t_{sz,k}}{\partial N_T(k)} + \sum_{g=z(k)+1}^{m_n(k)} \left( \frac{\partial t_{g-1,g}}{\partial N_T(k)} + \frac{\partial t_{sz,k}}{\partial N_T(k)} \right) \right) + \lambda_n = 0 \quad (3)$$

$$\sum_{k=1}^m N_T(k) - N_{poz} = 0$$

де  $\frac{\partial t_{sz,k}}{\partial N_T(k)} = \frac{\partial t_{sz,z(k)}}{\partial N_T(k)}$

$$\frac{\partial t_{g-1,g}}{\partial N_T(k)} = \frac{\partial t_{g(k)-1,g(k)}}{\partial N_T(k)}$$

$$\frac{\partial t_{sz,k}}{\partial N_T(k)} = \frac{\partial t_{sz,m_n(k)-1}}{\partial N_T(k)}$$

Розв'язання системи рівнянь (3) дає можливість визначити величини потрібного розподілення транспортного потоку, у результаті чого оптимізується завантаження паралельних маршрутів.

Розподілення транспортних потоків, направлених по паралельних маршрутах, отримане у вигляді величини інтенсивності руху, дає можливість одночасно провести оптимізацію маршрутів руху, звідси, оптимальними маршрутами для транзитного руху будуть ті, на які будуть направлені транзитні транспортні потоки.

Також треба відмітити, що при впровадженні заходів по розподіленню транспортних потоків стає актуальним питання перепробігу транспортних засобів по мережі. Тому, визначаючи маршрут руху ТЗ після їхнього перерозподілу, ставиться головна умова, щоб витрати при перепробігу не перевищували витрат руху по основному напрямку із можливими затримками та вимушеними зупинками.

З використанням модифікованого визначення Вардропа [2], рівномірного розподілу транспортних потоків по ВДМ, який

базується на припущенні, що зміна маршруту руху водієм здійснюється тільки в тому випадку, якщо новий маршрут характеризується меншими матеріальними витратами і втратами часу, сформульовані умови рівноваги і стаціонарності розподілу та визначені умови, які гарантують існування стійкої рівноваги стану розподілення транспортних потоків по вулично-дорожній мережі.

Розподілення транспортних потоків на вулично-дорожній мережі по критерію оптимізації вимагає застосування моделі розподілення транспортних потоків на основі принципу транспортної рівноваги. Існує два способи розподілення транспортних потоків по ВДМ. Перший спосіб - це розподілення потоків, які формуються при самостійному виборі маршруту водієм на відповідності мінімальних витрат. Другий спосіб розподілу полягає в тому, що сумарні затримки у мережі повинні бути мінімальними.

Розподілення, яке забезпечує найменші сумарні затримки на ВДМ, базується на системно-оптимальному управлінні, згідно другого принципу Вардропа. Дослідженням щодо впровадження системно-оптимального управління транспортними потоками присвячено багато робіт. Основними перешкодами для впровадження цього принципу управління є те, що оптимальний маршрут, який пропонується системою управління, може не співпадати з уявою водія про найкоротший маршрут. Відповідно, деякі із них не будуть їхати по рекомендованому маршруту руху і це знижує ефект такого розподілення.

Конкурентна транспортна рівновага відповідає першому принципу Вардропа, а системний оптимум відповідає другому принципу. У роботі [3] зазначено, що загальні витрати при системній оптимізації не перевищують користувальницької оптимізації. У даний час виділяють два основних підходи до побудови алгоритмічних схем пошуку рівноваги потоку. В першому випадку - пошук рівноваги ведеться по дугах (дуговий алгоритм), у другому випадку - основною змінною задачі є потік на шляху, де інтернування ведеться припустимими маршрутами (маршрутні

алгоритми). Але треба відмітити, що і в першому і в другому випадках основна складність при чисельних розрахунках полягає у великому різновиді задач, що вирішуються на реальних транспортних мережах.

Аналіз існуючих методів моделювання розподілення транспортних потоків по мережі показує, що, з точки зору транспортного процесу, найбільш важливими параметрами є час або вартість руху, які відтворюють недосконалість організації руху транспортного потоку. Модель вибору маршруту базується на визначенні ймовірного вибору альтернативного шляху на основі вартості руху.

Проблема пошуку таких потоків є задачею транспортної (потокової) рівноваги. Вирішення задач транспортної рівноваги зводиться до умов варіаційної нерівності, а в конкретному випадку – до оптимальної задачі.

Вирішення задач оптимального розподілення транспортних потоків, визначення маршрутів руху по вулично-дорожній мережі здійснюється в залежності від кількісного навантаження транспортними засобами перегонів та перехресть. Враховуючи закономірності формування транспортних потоків на конкретній вуличній мережі, можна провести не стихійну, а примусову організацію руху, що, в свою чергу, потребує реалізації питання практичної реалізації розподілення транспортних потоків. У зв'язку з тим, що транспортний потік на ВДМ ділиться на транзитний і місцевий, де розподілу підлягає тільки транзитний транспорт, практична реалізація цього розподілу може існувати тільки на рівні рекомендацій.

**Висновок.** Розподілення транспортних потоків по вулично-дорожній мережі здійснює істотний вплив на характеристики транспортних потоків на перегонах і перехрестях і становить собою ефективний спосіб організації дорожнього руху. Оптимальне розподілення транспортних потоків складає мінімум сумарного часу проїзду транспортними засобами по вулично-дорожній мережі з урахуванням пропускнуєї спроможності її перегонів і перехресть.



**Список використаних джерел:**

1. Цибенко Ю.А. Оптимальное распределение транспортных потоков по улично-дорожной сети. Дис. канд. техн. наук: 05.22.10/ Ю.А. Цибенко.-К., 1984.-181с.
2. John G. Wardrop. Some Theoretical Aspects of Road Traffic Research. / Wardrop J. G. Proceedings of the Institution of Civil Engineers, 1952. – Part II, Volume I, p. 325-362.
3. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / А.В. Гасников, С.Л. Кленов, Е.А. Нурминский, Я. А. Холодов, Н.Б. Шамрай.-М.: МФТИ, 2010.-362 с.

**Аннотация**

*Проведен анализ основных методов распределения транспортных потоков по улично-дорожной сети городов. Определены приоритетные направления по выбору оптимального метода распределения и выбора маршрута движения.*

*Ключевые слова: улично-дорожная сеть, транспортный поток, интенсивность движения, пропускная способность, оптимальное распределение, принципы Вардрона.*

**Abstract**

*The main methods of traffic flows distribution along the urban road network are analyzed. Priority approaches regarding selection of optimal method of distribution and choice of traffic route are determined.*

*Key words: road network, traffic flow, traffic intensity, traffic capacity, optimal distribution, Wardrop principles.*

*Стаття надійшла до редакції у березні 2017р.*