

БУДІВНИЦТВО ТА БУДІНДУСТРІЯ

УДК 656.11

Степанчук О.В., к.т.н., доц.

ВПЛИВ УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА ЕФЕКТИВНІСТЬ
ФУНКЦІОНУВАННЯ ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ МІСТ

Національний авіаційний університет, olst.ph@mail.ru

У статті розглянуті підходи, які дозволяють підвищити ефективність функціонування вулично-дорожньої мережі міст шляхом розподілу транспортних потоків на основі принципів системно-оптимального управління ними.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, ефективність функціонування, пропускна спроможність, транспортний потік, транспортний засіб, управління, розподіл.

Вступ.

Основною проблемою впровадження заходів з управління транспортними потоками на вулично-дорожній мережі значних і найзначніших міст є розміри його території, значна довжина магістральних вулиць, велика кількість перехресть на них, а також різноманітний склад транспортних засобів, які рухаються за індивідуальними маршрутами. Значною проблемою для забезпечення ефективного функціонування вулично-дорожньої мережі міста (ВДМ) є те, що транспортні потоки (з своїми кількісними та динамічними характеристиками для однієї і тієї ж ділянки вуличної мережі) суттєво різняться між собою (в залежності від часу доби), що, у багатьох випадках, ускладнює підходи щодо прогнозування стану й прийняття ефективного рішення управління ними.

Основою ефективності управління транспортними потоками у місті є забезпечення оперативності моніторингу завантаження вуличної мережі транспортними засобами (ТЗ), що дозволяє миттєво отримувати інформацію про зміни на ВДМ. Відомо, що рівень оперативності й ефективності управлінських рішень залежить від мінімізації часу між початком ускладнення ситуації й прийняття відповідного управлінського рішення. Тому система управління транспортними потоками на ВДМ міста повинна бути гнучкою, що полягає у миттєвому реагуванні на локальні ситуації, і тим самим підтримувати ефективні показники роботи для всієї вуличної мережі.

Мета роботи.

Провести аналіз основних підходів та методів управління транспортними потоками, які направлені на підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст.

Аналіз досліджень і публікацій

Відповідні дослідження проводилися і були описані в роботах [1, 2, 3, 4], в яких розглянуті основні принципи управління транспортними потоками. У даній роботі розглянуті підходи до підвищення ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі міст на основі раціонального управління транспортними потоками.

Постановка завдання

Головним завданням управління транспортними потоками є мінімізація ймовірності виникнення черг та заторів у проблемних місцях ВДМ міста. Метою системи управління транспортними потоками є недопущення ситуації утворення заторів і, при умові виникнення затору, передбачення можливих альтернативних маршрутів, які дозволять розподілити потоки, тим самим мінімізувати часові втрати, що обумовлено підходом до визначення ефективного маршруту руху ТЗ.

Викладення основного матеріалу дослідження

В умовах забезпечення ефективного функціонування ВДМ міста об'єктом управління є транспортний потік, який рухається по вулично-дорожній мережі. Задача управління транспортними потоками полягає в необхідності організувати рух транспортного потоку таким чином, щоб були забезпечені умови максимальної безпеки руху та максимальної пропускної спроможності перехресть та перехресть.

Звідси, функція управління F транспортними потоками має наступний вигляд [1]:

$$F(N_i, S_i, U) \rightarrow (N_j, S_{i+1}) \quad (1)$$

Тобто, транспортний потік N_i на ділянці дороги S_i , при впливі на нього управлінських параметрів U дасть можливість отримати інший транспортний потік N_j на ділянці S_{i+1} .

Звідси, необхідно розглянути методи управління транспортними потоками. Взявши за основу модель управління описану у роботі [2], можна розглянути стан системи управління у конкретних

випадку, що характеризує: $q(t, x, u)$ – щільність транспортного потоку на певній ділянці ВДМ у момент часу t при $u \in U$.

Але, як відомо, щільність транспортного потоку залежить від його інтенсивності N та швидкості V . Тоді, відповідно:

$$q(t, x, u) = \frac{N(t, x, u)}{V(t, x, u)}, \quad (2)$$

Звідси, інтенсивність потоку в точці $x \in G$:

$$N(t, x, u) = q(t, x, u) \times V(t, x, u), \quad (3)$$

А потужність потоку на вуличній мережі може бути записана:

$$\int_G N(t, x, u) dx, \quad (4)$$

Тоді середня за проміжком часу T потужність транспортного потоку визначається за формулою[2]:

$$W(u) = \frac{1}{|T|} \int_G \int_T N(t, x, u) dt dx, \quad (5)$$

$$\text{Звідси, } W(u) = \int_{t_1}^{t_2} \int_G N(t, x, u) dt dx \rightarrow \max = M, \quad u \in U, \quad (6)$$

$$M \leq (t_2 + t_1) \int_G N^*(x) dx, \quad (7)$$

Де $N^*(x)$ -пропускна спроможність ВДМ в точці $x \in G$.

Звідси, ефективність функціонування міської вулично-дорожньої мережі дорівнює потужності, яка приведена до одиниці витрат:

$$E(u) = \frac{W(u)}{B_{TP}}, \quad (8)$$

де B_{TP} - загальні транспортні витрати за певний час.

Виходячи із загальних транспортних витрат B_{TP} за певний час t , можна виділити у них змінну частину B_{TP}^3 , яка залежить від динамічних характеристик транспортного потоку та постійну $B_{TP}^П$, яка залежить від зовнішніх факторів.

$$B_{TP} = B_{TP}^3 + B_{TP}^П, \quad (9)$$

Якщо розглянути більш детально характеристики, від яких залежать змінні витрати B_{TP}^3 , враховуючи відповідні результати, які були отримані нами при виконанні дослідження (див. розділ чотири), можна записати:

$$B_{TP}^3 = F(C, N, Q, MU, TP), \quad (10)$$

де зазначені показники характеризують: C -пропускну спроможність мережі; N -інтенсивність ТП; Q -об'єм завантаження; MU -зручність руху (стан проїзної частини); TP - час руху. Але, маючи значну кількість показників, все-таки інтегральним показником, як відомо, є час руху $TP(Q)$.

Звідси, як бачимо, на мінімізацію витрат, в першу чергу, впливає об'єм завантаження конкретної ділянки ВДМ, що характеризується інтенсивністю та щільністю руху. Проводячи аналіз оцінки максимального об'єму завантаження певної ділянки ВДМ, необхідно встановити правила, за якими водій вибрав саме даний маршрут, і наскільки він є доцільним в порівнянні з іншими маршрутами в даній ситуації. Розглянемо відомі принципи користування транспортною мережею, принципи Вардропа, які полягають втому, що:

- користувачі мережі, незалежно один від одного, вибирають маршрути руху, які відповідають мінімальним транспортним витратам;

- користувачі мережі вибирають маршрут руху, виходячи з мінімальних загальних транспортних витрат у мережі.

Тобто, перший принцип полягає в тому, що кожний водій прагне досягнути кінцевого пункту своєї поїздки якнайшвидше, і з можливої кількості варіантів вибрати той, який має самі менші витрати. Тому даний принцип називають оптимізацією користувача. Такий підхід до визначення маршруту руху вибирають водії саме індивідуального легкового транспорту. На відміну від першого другий принцип Вардропа передбачає централізоване управління рухом на мережі. Відповідне розподілення транспортних потоків називається системним оптимумом. Такий розподіл на даний час більше відноситься до громадського пасажирського транспорту. Впровадження підходу системного оптимуму для всього транспортного потоку при складних умовах руху на певних ділянках вуличної мережі дозволить забезпечити рівномірне завантаження можливих маршрутів, тим самим мінімізувати середню вартість витрат для усіх ТЗ, які переміщуються між відповідними пунктами.

Як уже і було зазначено у даній роботі, індивідуальний легковий автомобіль складає більшу частину транспортних засобів у потоці та, в більшості випадків, він рухається за маршрутом, який вибирає водій. Тому вплив на вибір маршруту його руху шляхом впровадження управлінських методів на сьогоднішній день має певні складності та проблеми. Саме індивідуальний легковий транспорт створює пікове завантаження ВДМ, що викликає значні втрати часу усіх пасажирів, ТЗ, ресурсів та ускладнюють соціально-економічну ситуацію в місті. Виходячи з суто індивідуального підходу вибору маршруту руху, який базується на виборі пріоритетної вулиці за власними інтересами (у багатьох випадках це найкоротший шлях), навіть при умові, що відповідна ділянка мережі працює на межі своїх можливостей, такий вибір маршруту руху даною категорією водіїв і є однією з основних причин виникнення заторів. Як уже було зазначено, водій, вибираючи маршрут, виходить із принципу найменших витрат. Але чим більше водіїв вибирають один і той самий маршрут, тим самим вони збільшуються витрати на відповідному маршруті. Перерозподіл ТЗ на об'їзний альтернативний маршрут самим водієм відбудеться тільки в той момент, коли йому буде відомо, який із маршрутів є більш економічним за часовими та фінансовими витратами.

Тому розглянемо саме ті транспортні потоки, які створюються легковим індивідуальним транспортом. Для цього міську вуличну мережу розглянемо у вигляді орієнтованого графу $G = G(V, E)$, де V -множина вершин, E -множина дуг мережі, кожна дуга відповідає реальній ділянці вулиці без перехрестя, а кожна вершина являє собою вузол, який розподіляє ділянки вулиць. Напрямок дуги визначає напрямок слідування ТЗ. Інформація про дозволені напрямки руху задається як функція на безлічі дуг графа. Кожній дузі графу G можуть бути задані числові характеристики, які характеризують ВДМ: число смуг, профіль дороги, якість покриття, освітленість проїзної частини, дані по структурі та динаміці транспортного потоку, метеорологічні умови і т. п.

Сформульовані умови дуже важливі для вирішення завдань управління, а саме: дві точки на площині можуть бути фізично досягнуті в будь-якому напрямку руху. Також для кожної дуги та вершини можна встановити показник транспортної залежності, який характеризує кількість ТЗ, що протягом певного періоду проїжджають через відповідний елемент. Відомо, що чим більше ТЗ використовують даний елемент ВДМ тим більше часу необхідно для проїзду по ньому.

Аналізуючи відтворений граф ВДМ мережі лівобережної частини міста Києва (рис. 1) та разом з тим порівнюючи реальну ситуацію за станом завантаження елементів ВДМ міста, можна виділити три типи вершин, які відтворюють його транспортні вузли:

- потокоутворюючі, у яких концентрується значна кількість ТЗ і відбувається спрямування їхнього руху у певному напрямку;
- потокопоглинаючі, де відбувається розподілення ТЗ за декількома напрямками або точка кінцевої мети його переміщення;
- потокорівномірні - особливістю таких транспортних вузлів є забезпечення руху однакової кількості ТЗ по одному з напрямків.

Тому, при розгляді підходів щодо формування транспортних потоків на ВДМ міста, необхідно приділити увагу саме потокоутворюючим та потокопоглинаючим транспортним вузлам (вершини графа).

При дослідженні потокоутворюючих факторів [3] пропонується вершини поділити на дві множини: перша $S \subseteq V$, що включає транспортні вузли, які породжують транспортні потоки, елементи множини S ; друга множина $D \subseteq V$ - це транспортні вузли, в яких поглинаються потоки, елементи множини D .

Тоді, множину усіх потокоутворюючих пар подано у вигляді [4]:

$$W = \{w = (i, j) : i \in S, j \in D\}, \quad (11)$$

Звідси, кожній парі $w = (i, j) \in W$ відповідає свій попит на переміщення ρ_w об'єм переміщень, що повинна з вершини i прибути у вершину j . Тоді, $\{\rho_w : w \in W\}$ матриця переміщень. Об'єм переміщень може виражатися у кількості ТЗ або пасажирів, а також як функція від витрат на переміщення по даній ділянці мережі, а саме $\rho_w = \rho(u_w)$, де u_w -транспортні затрати на проїзд для пари w , що суттєво залежить від завантаження мережі.

Шляхом маршруту в мережі G , який з'єднає вершини i та j , є послідовність дуг, наприклад, $e_1 = (i \rightarrow k_1), e_2 = (k_1 \rightarrow k_2), e_l = (k_{l-1} \rightarrow k_l), e_{l+1} = (k_l \rightarrow j)$, де $e_t \in E$ при усіх $t = 1 \dots \dots l + 1$. Прийmemo, що P_w - кількість альтернативних маршрутів, для кожної пари $w = (i, j) \in W$, рухаючись якими можна із вершини i прибути у вершину j . Сукупність усіх шляхів у мережі G можна записати $P = \cup_{w \in W} P_w$.

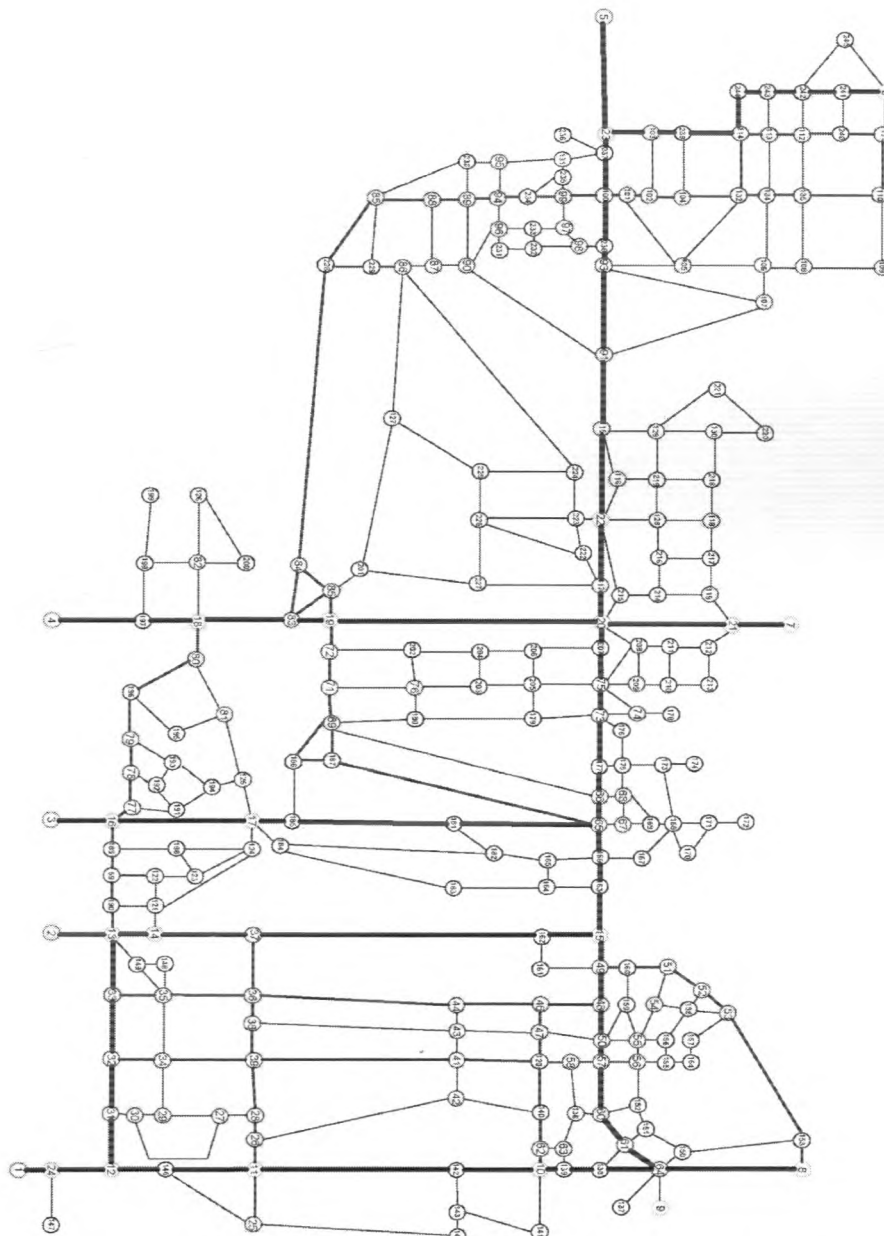


Рис. 1. Граф ВДМ мережі лівобережної частини міста Києва

Якщо x_p величина потоку, який рухається по шляху $p \in P$, тоді для кожної пари w потоки x_p , $p \in P$ повинні належати множині [4]:

$$X_w = \{x_p \geq 0: p \in P_w, \sum_{p \in P_w} x_p = p_w\}, \quad (12)$$

Рух транспортного засобу кожним із шляхів $p \in P$ супроводжується певними витратами (часу, пального, зношення ТЗ, зношення дорожнього покриття і т.п.). Кількісна характеристика даних витрат залежить від інтенсивності й щільності руху в мережі. Зазвичай, у відповідних моделях розглядаються часові та фінансові витрати. Звідси, якщо позначити, що G_p -питомі витрати користувачів на проїзд по шляху p , враховуючи те, що на витрати по одному маршруту може впливати транспортне завантаження інших шляхів на ВДМ, то у загальному випадку G_p являє собою функцію від завантаження усієї мережі $G_p = G_p(x)$ [3].

Водії вибирають шлях з найменшими транспортним витратами, тому для кожної пари w , якщо на шляху $p \in P_w$ спостерігається вільний режим руху транспортних потоків, то витрати на відповідному шляху мінімальні.

Тоді, якщо

$$x'_p > 0, \text{ то } G_p(x') = \min_{q \in P_w} G_q(x') = u_w(x'), \quad (13)$$

де $u_w(x')$ -мінімальні транспортні витрати на маршруті, що поєднує пару $w \in W$.

Тоді, зрозуміло, що для забезпечення ефективного функціонування ВДМ міста необхідно в процесі її експлуатації створити умови руху заданим маршрутом для ТЗ, дотримуючись принципу транспортної рівноваги. Зрозуміло, що на транспортні витрати при проїзді між вершинами i та j впливають витрати на дугах, які складають маршрут слідування.

На даний час існує два основних підходи вирішення задачі транспортної рівноваги. У першому випадку задачу транспортної рівноваги моделюють тільки через потокові змінні по дугах i , відповідно, пошук рівноваги здійснюється по дугах мережі (дуговий алгоритм). У другому випадку-основною змінною задачі є потік по шляху, тоді, відповідно, пошук рівноваги здійснюється за допустимими маршрутами (маршрутний алгоритм). Основна задача алгоритмів полягає у послідовному балансуванні потоків між альтернативними маршрутами, тому що перерозподіл одного потоку між маршрутами змінює транспортні витрати по усій мережі і тим самим впливає на розподіл інших кореспонденцій. Встановлення можливих напрямків руху транспортних засобів при розподіленні транспортних потоків по ВДМ міст є визначальним при виборі оптимального маршруту руху, саме для транспорту, який здійснює транзитний рух відповідною вулицею.

Висновок

На основі проведеного аналізу зрозуміло, що для забезпечення ефективності функціонування ВДМ міста при умовах максимального завантаження деяких її ділянок необхідно визначити для розподілу транспортного потоку альтернативний маршрут руху, який буде найбільш доцільним (оптимальним) у даній ситуації.

Саме централізоване управління, навіть незначною частиною транспортного потоку на магістральних вулицях міста, може дати значний ефект тому, що у даному випадку виключається рух транспортних засобів, який базується на особистих перевагах вибору маршруту водієм.

Список літературних джерел

1. Наумова Н.А. Теоретические основы и методы управления транспортными потоками средствами мезоскопического моделирования: Дис. докт. техн. наук: 05.22.10 / Наумова Наталья Александровна: - Волгоград, 2015.- 331 с.
2. Луканин В.Н. и др. Автотранспортные потоки и окружающая среда: Учебное пособие для вузов /В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, Ю.В. Трофименко, М.В. Яшина. – М.: ИНФРА-М, 1998. – 408 с.
3. Введение в математическое моделирование транспортных потоков: учеб. пособие / [Гасников А.В., Кленов С.Л., Нурминский Е.А. и др.]; под ред. А.В. Гасникова.-М.: МФТИ, 2010.-362 с.
4. Нурминский Е.А., Шамрай Н.Б. Моделирование транспортных потоков г. Владивостока на основе теории равновесия // Транспортная система и логистика: III Международная научная конференция, 22-23 октября 2009 г.- Кишинев: Изд-во "Эврика": 2009. С. 334-348.