

УДК 656.11

Ю.Я.Ройко, М.Ю.Євчук
Національний університет «Львівська політехніка»
ВИЗНАЧЕННЯ ОПТИМАЛЬНОЇ ДОВЖИНИ ДІЛЯНКИ МІСЬКОЇ
МАГІСТРАЛЬНОЇ ВУЛИЦІ

У роботі наведено існуючі підходи щодо визначення оптимальної довжини ділянки міської магістральної вулиці виходячи з умов руху пішохідних, пасажирських, вантажних та транспортних потоків, а також з погляду ефективного функціонування систем організації та управління дорожнім рухом.

Ключові слова: вулично-дорожня мережа, перехрестя, житловий квартал, пішохідний потік, транспортний потік, пасажирський потік, транспортна мережа.

Форм 8. Літ 13.

Ю.Я. Ройко, М.Ю. Евчук
ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ ДЛИНЫ УЧАСТКА ГОРОДСКОЙ
МАГИСТРАЛЬНОЙ УЛИЦЫ

В работе приведены существующие подходы к определению оптимальной длины участка городской магистральной улицы исходя из условий движения пешеходных, пассажирских, грузовых и транспортных потоков, а также с точки зрения эффективного функционирования систем организации и управления дорожным движением.

Ключевые слова: улично-дорожная сеть, перекресток, жилой квартал, пешеходный поток, транспортный поток, пассажирский поток, транспортная сеть.

Y.Royko, M.Yevchuk
THE OPTIMAL LENGTH DETERMINATION OF THE SECTION OF THE URBAN
ARTERIAL STREET

Existing approaches for determination the optimal length determination of the section of the urban arterial street based on conditions of pedestrian, passenger, freight and transport flows and efficiency of traffic management and control systems are given. It was estimated the main factors that have determining influence on formation of these flows depending on street network geometry and road conditions changes.

Key words: street network, intersection, residential area, pedestrian flow, traffic flow, passenger flow, transport network.

Постановка проблеми

Проблемою більшості сучасних міст є підвищення ефективності функціонування міської транспортної мережі. Це зумовлено постійним ростом інтенсивності руху та відсутністю резервів для зміни параметрів вулично-дорожньої мережі (ВДМ) з метою збільшення її пропускної здатності. Постійно виникають завдання створення оптимальної системи шляхів сполучення, яка б відповідала вимогам організації міського руху, природнім потребам міста тощо. За таких умов досягти ефекту намагаються організаційними методами. До таких відносять: спеціалізацію смуг руху, впровадження систем адаптивного та координованого регулювання, облаштування місць тимчасової та постійної стоянки транспортних засобів тощо, але такі заходи не завжди мають значний ефект на різних елементах ВДМ. Такими елементами є перехрестя та ділянки вулиць і доріг, які їх з'єднують. Ті заходи, які є успішними для перехрестя, не завжди є оптимальними для ділянок вулиць між ними, і навпаки. На сьогодні існують різновиди понять ділянок ВДМ з погляду транспортних, пішохідних та пасажирських потоків. Відповідно й вимоги до цих ділянок різні. Основним завданням перехрестя є реалізація намірів учасників дорожнього руху змінити його напрямок і забезпечити якісні показники безпеки, тобто здійснити перерозподіл транспортного потоку. Таким завданням ділянок між перехрестями є забезпечення швидкого та якісного зв'язку між вузловими пунктами ВДМ, якими є перехрестя, з дотриманням умов безпеки руху та забезпечення існуючих і перспективних тенденцій розвитку транспортної системи урбанізованого простору, який розглядається.

Аналіз останніх досліджень та публікацій

©Ю.Я.Ройко, М.Ю.Євчук

Розглядаючи пішохідні потоки, слід звернути увагу на два аспекти – принципи їх формування в межах житлових кварталів та закономірності переміщень пішоходів в межах пішохідних переходів на перехрестях та ділянках вулиць між ними [3,8]. За будь-яких обставин переміщення пішохідних потоків відбувається між пунктами тяжіння, якщо вони розміщені на відстані пішохідної досяжності (за іншого випадку пішохідний потік трансформується у пасажирський), від місця проживання до зупинного пункту і навпаки [3,6-8]. Абсолютна більшість пішохідних кореспонденцій здійснюється в межах житлових кварталів та житлових районів [8].

З точки зору пасажирських та вантажних перевезень існують математичні моделі для визначення оптимальних довжин ділянок ВДМ або довжин перегонів, які ґрунтуються на критерії мінімуму витрат [6-8].

Розглянуті підходи стосуються пішохідних та пасажирських потоків і недостатньо враховують параметри транспортних потоків та мають ряд недоліків, зокрема не враховані витрати на переміщення транспортних засобів ділянкою мережі; витрати на будівництво, ремонт та експлуатацію дороги; режими роботи місць зупинки транспортного потоку тощо [4-6].

За таких умов доцільно оцінити поведінку транспортного потоку та формування закономірностей між його основними первинними характеристиками.

Невирішені раніше частини загальної проблеми

У розглянутих роботах наведено наукові підходи щодо розв'язання певного кола питань з оптимізації всіх видів переміщень, які відбуваються на вулично-дорожній мережі з огляду лише або одного учасника руху, або одного виду перевезень. За такого випадку, є можливим знаходження певної оптимальної відстані планувальної ділянки ВДМ, але залишається, у повній мірі, нерозв'язаним питання такої оптимізації, коли розглядається система переміщень всіх учасників руху та видів перевезень, оскільки оптимальні показники, з точки зору однієї ланки транспортної системи, можуть не відповідати таким же критеріям іншої. Тоді виникає питання не оптимізації, а раціоналізації, яке б дозволило створити такі умови у транспортній системі, які б задовольняли всіх учасників руху та підвищували б ефективність всіх видів переміщень.

Мета дослідження

У процесі теоретичних та практичних досліджень авторами поставлена наукова гіпотеза, яка ґрунтується на твердженні, що для всіх урбанізованих просторів існує раціональна геометрія шляхів сполучення, яка забезпечує найефективніші показники для всіх видів переміщень пішоходів, пасажирів, вантажів та транзитних потоків за будь-якого стану системи «транспортні потоки – дорожні умови».

Основні результати досліджень

Важливим показником, який характеризує ступінь компактності міської території загалом і транспортних районів зокрема, а також раціональність мережі міських шляхів сполучення, є віддаленість населення – середньозважена відстань, на яку розселяється населення міста від того або іншого пункту тяжіння [13]. Одним з основних критеріїв у межах житлових кварталів є величина затрати часу на пішохідний підхід до зупинних пунктів магістральних ліній громадського транспорту, яка залежить від довжини цього підходу. Довжину пішохідного підходу від місця відправлення до зупинного пункту можна розділити на дві ділянки – поперечну (l_{non}) та поздовжню (l_{nos}). Вона становитиме [14]:

$$l_{niss} = l_{non} + l_{nos} \quad (1)$$

Якщо міжмагістральний простір (територія житлового кварталу, району) розділити на чотири зони з ознакою тяжіння до зупинних пунктів громадського транспорту, то середні величини поперечних та поздовжніх складових пішохідного підходу становитимуть: $\overline{l_{non}} = L_m / 4$ та $\overline{l_{nos}} = l_0 / 4$, де L_m - відстань між магістральними лініями, км; l_0 - довжина прогону (відстань між зупинними пунктами громадського транспорту), км.

Таким чином, $\overline{l_{niu}} = 0,25(L_m + l_0)$, а затрати часу на середній пішохідний підхід складатиме [14]:

$$\overline{t_{niu}} = 0,15(L_m + l_0) / v_{niu} , \quad (2)$$

де v_{niu} - швидкість руху пішохода, км/год.

Звідси, відстань між магістральними вулицями [14]:

$$L_m = (v_{niu} \cdot \overline{t_{niu}} - 15l_0) \cdot 15 \quad (3)$$

Отже, виходячи з умов пішохідного руху, оптимальна довжина ділянки між магістралями залежить від швидкості пішоходів та довжини прогону. Використовуючи умови, що $v_{niu} = const$ та $l_0 = const$, за витрат часу на піший підхід 4 – 6 хвилин та оптимальної щільності транспортної мережі 2 – 3,5 км/км², робимо висновок, що оптимальна довжина між магістралями має дорівнювати 600 – 1000 м.

Пішохідні потоки прямують не лише до зупинних пунктів, але й до переходів через проїзну частину, які можуть розміщуватись як у межах перехресть, так і на ділянках вулиць між ними. Такі переходи бувають наземними, надземними та підземними [4,11]. Переважна кількість пішохідних переходів – наземні. Їх облаштовують на всіх перехрестях вулиць, ділянках між ними, біля будинків та споруд, які генерують пішохідні потоки [11]. Загальними завданнями проектування пішохідних переходів є розрахунок їх пропускної здатності та вибору місця по довжині вулиці для їх розміщення.

Розглянемо закономірності формування пішохідних потоків в межах пішохідних переходів та розміщення цих переходів з погляду визначення раціональної відстані між ними. Нормативами встановлено, що пішохідні переходи з проїзною частиною облаштовуються через вулиці (дороги) на відстані один від одного в межах 150 – 300 м залежно категорії цих проїзних частин [11]. Проте, іноді їх розміщення обґрунтовується наявністю об'єктів, які генерують або притягують великі за обсягом пішохідні потоки. Проблемою нерегульованих пішохідних переходів є те, що пішохід у будь-який момент має можливість скористатися своїм правом на пріоритетний перетин проїзної частини і зупинити транспортний потік, спричинивши виникнення затримок у ньому і, тим самим, змінити оптимальні характеристики в умовах його руху, які вдалось досягти на певній ділянці ВДМ. Тому вибір місця облаштування такого переходу має бути обґрунтованим і, за можливості, не створювати додаткових проблем для інших учасників руху. На магістральній ВДМ, виходячи з таких умов, облаштовувати нерегульовані пішохідні переходи недоцільно, тому в таких випадках проектують регульовані пішохідні переходи.

За результатами такого аналізу та, виходячи з умов нормативних документів, можна стверджувати, що мінімальна відстань між регульованими пішохідними переходами має становити 250 – 300 м.

У роботах [6,7] зроблено акцент на визначенні оптимальної довжини перегону, використовуючи критерій мінімуму витрат часу на переміщення населення. Результатом є математична модель такого вигляду [7]:

$$l_{n.onm} = \sqrt{\frac{2V_{niu} \cdot t_{zn} \cdot l_{cep} \cdot \varepsilon_{mp}}{\varepsilon_{niu} \cdot k_{nn} \cdot k_{\varepsilon z}}} , \quad (4)$$

де t_{zn} – час стоянки транспортного засобу на зупинному пункті, год;

l_{cep} – середня довжина поїздки, км;

$\varepsilon_{niu}, \varepsilon_{mp}$ – вагові коефіцієнти психологічної оцінки пасажирями витрат часу на пересування ($\varepsilon_{niu} = 2; \varepsilon_{mp} = 1$);

$k_{nn}, k_{\varepsilon z}$ – коефіцієнти непрямолінійності підходу та вибору зупинного пункту відповідно.

Використовуючи критерій мінімуму витрат [3], отримуємо таку залежність:

$$l_n^{onm} = \sqrt{\frac{(t_{cn-np} + t_{oc}) \cdot l_{cep} \cdot V_{niu}}{2 \cdot a}} , \quad (5)$$

©Ю.Я.Ройко, М.Ю.Євчук

де t_{cn-np} – середній час сповільнення та прискорення транспортного засобу, год;

t_{oc} – час очікування, год;

a – константа зведення.

Обидва підходи за основну змінну використовують середню довжину поїздки, яка є функцією транспортної роботи. Але відомо, що транспортна робота може змінюватися залежно величини пасажиропотоків на перегонах [1,2,8]. Отже, неможливо використовувати усереднені показники для визначення довжини перегонів на всьому маршруті.

Більш досконалий метод визначення оптимальної довжини перегону запропонований у роботі [8]. Він ґрунтується на критерії мінімуму витрат суспільства й дозволяє визначати оптимальну довжину перегону на поточній довжині маршруту:

$$l_n^{opt} = \sqrt{\frac{2 \cdot V_{niu} (t_{zn} \cdot C_{nz} \cdot F(x)_{cl} + C_{zn} + t'_{zn} \cdot N_z \cdot C_z)}{F(x)_{ex} \cdot k_{nn} \cdot k_{vz} \cdot k_{pm} \cdot C_n}}, \quad (6)$$

де C_{nz} – вартість часу перебування пасажирів в салоні транспортного засобу, грн./год.;

$F(x)_{cl}$ – пасажиропотік слідування, пас./добу;

C_{zn} – витрати на утримання зупинного пункту, грн./добу;

t'_{zn} – загальний час простою транспортних засобів на зупинному пункті за добу, год./добу;

N_z – кількість шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів, кг/год.;

C_z – вартість впливу шкідливих речовин у відпрацьованих газах автомобілів, грн./кг;

$F(x)_{ex}$ – вхідні пасажиропотоки, пас./добу·км;

k_{pm} – коефіцієнт рельєфу місцевості;

C_n – вартість пішого руху, грн./год.

Оптимізаційні залежності довжини перегону (4) – (6) отримані за умови, що технічна швидкість $V_T = const$, інтервал руху $I = const$ та $t_{zn} = const$. У роботі [9] отримано таку залежність середньої довжини перегону

$$l_{n.cer} = 0,26\gamma + 0,07l_{cp} - 0,003V_{II} - 0,04 \frac{U}{q_n} + 0,03K_{zm}, \quad (7)$$

де γ – коефіцієнт використання місткості транспортного засобу;

V_{II} – швидкість транспортного потоку, км/год;

U – питома потужність двигуна, кВт;

q_n – номінальна місткість транспортного засобу, пас.;

K_{zm} – коефіцієнт змінності пасажирів.

У роботі [5] досліджено процес руху вантажного транспорту на дорогах й отримано математичну модель оптимальної довжини перегону:

$$l_n^{opt} = \frac{\bar{V}_a}{a_N - \epsilon_N \cdot N - \bar{V}_a} \times \sqrt{\frac{a_N - \epsilon_N \cdot N \cdot (1000 \cdot (a_N - \epsilon_N) \cdot N - (\bar{l}_a + \bar{l}_b) \cdot N) \cdot T_{zyn} \cdot C_{zyn}}{500 \cdot N \cdot C_{pyx}}}, \quad (8)$$

де \bar{V}_a – середня швидкість автомобіля, км/год;

a_N, ϵ_N – коефіцієнти моделі, що залежать від інтенсивності руху;

\bar{l}_a – середня габаритна довжина автомобіля, м;

\bar{l}_b – середня безпечна довжина шляху, м;

©Ю.Я.Ройко, М.Ю.Євчук

$T_{зуп}$ – тривалість зупинки автомобіля, год;

$C_{зуп}$ – витрати на одну годину зупинки автомобіля, руб;

$\overline{C_{рух}}$ – середня вартість однієї години простою автомобіля транспортного потоку, руб;

Моделі (4) – (8) дають оптимальну довжину ділянки ВДМ у межах 300 – 1500 м. Режим руху транспортних засобів на міських магістралях залежить від ряду чинників: рядність руху, наявність пішохідних доріжок і тротуарів, склад потоку, частота розміщення світлофорів та тривалість їх циклів тощо. Щільність транспортного потоку починає змінюватися за 250 – 300 м до межі зміни режиму регулювання (зона обмеження швидкості, наявності перехрестя, наявності кривої в плані та профілі тощо) і досягає найбільшого значення через 150 – 200 м після цієї межі. Після досягання максимальної величини щільність потоку залишається постійною, якщо довжина ділянки магістральної вулиці (дороги) складає 150 – 200 м. За такої умови зберігається групоподібний характер транспортного потоку, що надає йому стабільності. На ділянках довжиною 200 – 700 м у транспортному потоці починають утворюватись «пачки» автомобілів, які утворюють ті транспортні засоби, що мають близькі за величиною динамічні показники. Цей момент перерозподілу автомобілів у межах транспортного потоку є найбільш нестабільним. Через 700 – 800 м від межі зміни режиму регулювання характер розподілу інтервалів потоку стабілізується. Величина цих відстаней суттєво залежить від складу транспортного потоку [13].

Практично група автомобілів розпадається на окремі підгрупи чи поодинокі автомобілів вже після 70 – 100 с від початку руху, тобто на відстані 1000 – 1200 м від перехрестя.

На більш коротких відстанях (100-150 м) різких проявів дифузії транспортного потоку ще не спостерігається. За проміжок часу, який менший циклу світлофора, потік ще не встигає порушити свою макроскопічну структуру, він ще асимптотично стабільний [12].

Висновки

У результаті теоретичних досліджень, проведених на даний час, встановлено найменші та найбільші параметри довжини ділянки міської магістральної вулиці, які дозволяють забезпечити ефективніші умови функціонування транспортної системи з точки зору пішохідних, пасажирських та транспортних потоків, а також визначено основні чинники, які мають найбільший вплив на стійкість цієї системи і дають можливість сформулювати основні методики подальших практичних досліджень, з метою встановлення величини такого впливу.

1. Hall P. Urban and regional planning / P. Hall. – London and New York : Routledge, 2002. – 237 p.
2. Marshall S. Streets and patterns: The structure of urban geometry / S. Marshall. – New York : Spon Press, 2005. – 318 p.
3. Ziari H. Locating stations of public transportation vehicles for improving transit accessibility / H. Ziari, M. R. Keumaneh, M. M. Khabiri // Transport. – 2007. – № 2. – P. 99–104.
4. Безлюбченко О. С. Планування і благоустрій міст / О. С. Безлюбченко, О. В. Завальний, Т. О. Черноусова: Харк. нац. акад. міськ. госп-ва. – Х. : ХНАМГ, 2011. – 191 с.
5. Воркут А. И. Грузовые автомобильные перевозки / А. И. Воркут. – М. : Транспорт, 1986. – 447 с.
6. Гудков В. А. Технология, организация и управление пассажирскими автомобильными перевозками / В. А. Гудков, Л. Б. Миротин. – М. : Транспорт, 1997. – 254 с.
7. Ефремов И. С. Теория городских пассажирских перевозок / Ефремов И. С., Кобозев В. М., Юдин В. А. – М. : Высшая шк., 1980. – 535 с.
8. Єрмак О. М. Розташування зупиночних пунктів міського пасажирського транспорту : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.22.01 «Транспортні системи» / О. М. Єрмак. – Х., 2010. – 22 с.
9. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения : [ученик для вузов] / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М. : Изд-ий центр «Академия», 2005. – 279 с.
10. Містобудування. Планування і забудова міських і сільських поселень: ДБН 360-92**. – [Чинний від 2002-04-19]. – К. : ДП «Укрархбудінформ», 2002. – 92 с. – (Національний стандарт України).
11. Рушевский П. В. Организация и регулирование движения с применением автоматических средств управления : [учебное пособие] / П. В. Рушевский. – М. : «Высшая школа», 1974. – 238 с.
12. Сильянов В. В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В. В. Сильянов. – М. : Транспорт, 1977. – 303 с.
13. Фишельсон М. С. Транспортная планировка городов / М. С. Фишельсон. – М. : Высшая школа, 1985. – 239 с.

Стаття надійшла до редакції 25.04.2014.

©Ю.Я.Ройко, М.Ю.Євчук