

допомогою системи умовно-кільцевих зв'язків та запропоновано методику розрахунку потрібної пропускної спроможності кільцевих ділянок. Для визначення інтенсивностей потоків на дугах автором запропоновано розподіл транспортних кореспонденцій по найшвидшим маршрутам, використання гравітаційної моделі для розрахунку кореспонденцій та новий спосіб транспортного районування. Пропонований підхід до транспортного районування дозволить зменшити трудомісткість отримання вхідної інформації для створення моделі транспортної мережі при збереженні достатньої точності моделі.

1. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах / В. Т. Капитанов, Е.Б. Хилажев. – М.: Транспорт, 1985. – 94 с.
2. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения / В.В. Сильянов. – М.: Транспорт, 1977. – 303 с.
3. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
4. Ставничий Ю.А. Транспортные системы городов. – М.: Стройиздат, 1980. – 220 с.
5. Гецович Е.М. Определение интенсивностей и направлений транзитных транспортных потоков в центральной деловой части города / Е. М. Гецович, Д. В. Засядько // Коммунальное хозяйство городов: Науч.-техн. сб. Вып.86. – К.: Техніка, 2009. – С.350-357.
6. Sheffy Y. Urban Transportation Networks. Engelwood Cliffs. N.J.:Prentice-Hall, 1995.
7. Вол. М., Мартин Б. Анализ транспортных систем: Пер с англ. – М.: Транспорт, 1989. – 514 с.
8. Швецов В. И. Математическое моделирование транспортных потоков // АиТ. – 2003. – №11. – С.3-46.
9. Алиев А.С., Попков Ю.С., Швецов В.И. Моделирование транспорта в ИСА РАН // Компьютерные модели развития города. – СПб.: Наука, 2003. – С.78-89.
10. Алиев А.С., Стрельников А.И., Швецов В.И., Шершевский Ю.З. Моделирование транспортных потоков в крупном городе с применением к Московской агломерации // Автоматика и телемеханика. – 2005. – №11. – С.113-125.
11. Spiess H., Florian M. Optimal strategies: a new assignment model for transit networks // Transp. Res. B. 1989. V. 23. – P.83-102.
12. Dijkstra E.W. A note on two problems in connexion with graphs / E. W. Dijkstra // Numerische Mathematik. V. 1 1959. – P.269-271.

Отримано 04.03.2012

УДК 62-503.57 : 519.876.5 : 656.051

І.А.МОГИЛА

Національний університет «Львівська політехніка»

ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОТИ РЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ З ЧАСОВО- ТА ТРАНСПОРТНО-ЗАЛЕЖНИМ КЕРУВАННЯМ

Розглянуто часово-залежне та транспортно-залежне керування дорожнім рухом на регульованих перехрестях, проаналізовано їх переваги та недоліки. Наведено графік зміни інтенсивності прибуття транспортних засобів до перехрестя. З використанням імітаційного моделювання проведено дослідження функціонування перехрестя з різними системами керування та встановлено, що застосування транспортно-залежного керування з нечітким алгоритмом керування є більш ефективним, ніж часово-залежного.

Рассмотрены временно-зависимое и транспортно-зависимое управление дорожным движением на регулируемых перекрестках, проанализированы их преимущества и недостатки. Приведен график изменения интенсивности прибытия транспортных средств к перекрестку. С использованием имитационного моделирования проведены исследования функционирования перекрестка с разными системами управления и установлено, что использование транспортно-зависимого управления с нечетким алгоритмом управления является более эффективным, чем временно-зависимого.

In the article time-depended control and traffic responsive control are considered, they advantages and disadvantages are analyzed. The diagram of change of the arrival flow volume during day is given. There is carried out investigation of intersection functioning with different control systems using simulation and there is established that the usage of traffic responsive control with fuzzy control algorithm is more efficient, than time-depended control.

Ключові слова: регульоване перехрестя, адаптивне керування рухом, нечітка система керування рухом.

На регульованих перехрестях найчастіше застосовують однопроградне жорстке керування рухом. При цьому розрахунок тривалості світлофорного циклу та його елементів базується на значеннях інтенсивності транспортних потоків [1]. Проте відомо, що інтенсивність змінюється протягом дня, і її коливання можна врахувати, використовуючи багатопроградне жорстке або адаптивне керування. Багатопроградне жорстке керування є дешевшим в реалізації, але не враховує різких змін інтенсивності руху [1]. Адаптивне керування може врахувати такі зміни, проте воно вимагає точних систем детектування транспорту. Тому пошук найкращого режиму регулювання на перехрестях є однією з основних задач оптимального керування транспортними потоками.

В [2] описано спосіб керування дорожнім рухом на регульованому перехресті у випадку короткострокового різкого зростання інтенсивності руху. На рис.1 наведено дві залежності: зміни сумарної інтенсивності вхідних потоків і зміни тривалості циклу регулювання.

Інтервал $(t_1; t_2)$ характеризується плавною зміною тривалості світлофорного циклу. Протягом підготовчого інтервалу $(t_2; t_3)$ забезпечуються найкращі умови підготовки системи керування до зростання інтенсивності руху. Протягом інтервалу $(t_3; t_4)$ відбувається різке зростання довжини черги перед перехрестям, яка повністю роз'їжджається в цьому та наступному інтервалах. Зміна тривалості циклу відбувається на інтервалі $(t_5; t_6)$.

Тривалість світлофорного циклу на перед та під час інтервалу $(t_1; t_2)$ визначається за формулою Вебстера [2]. Максимальне значення

тривалості циклу T_{\max} протягом інтервалу $(t_2; t_5)$ є постійним і приймається в межах 80-100 с, виходячи з тривалості терплячого очікування пішоходів та водіїв.

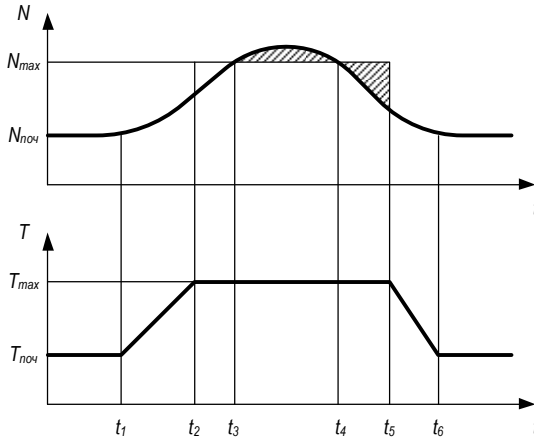


Рис.1 – Зміна тривалості світлофорного циклу залежно від зміни сумарної інтенсивності транспортних потоків, що прибувають до перехрестя

Одним із недоліків цієї методики є те, що в ній розглядається лише сумарна інтенсивність вхідних транспортних потоків і не розглядається випадок, коли різке зростання інтенсивності на конфліктних напрямках може відбуватись в різні моменти часу. У такому випадку буде відбуватись зміна структури світлофорного циклу, а не його тривалості.

Модель керування, описана в [2], належить до багатопрограмного або часово-залежного керування, коли в певний, наперед встановлений момент часу із множини заздалегідь підготованих програм керування вибирається оптимальна програма [3]. Основні параметри кожної програми керування розраховуються відповідно до накопиченої інформації про транспортні потоки. Перевагами часово-залежного керування є простота модифікації програм керування та відносно низькі витрати на встановлення обладнання, проте серед недоліків такого керування є неможливість підвищення ефективності використання тривалості дозвільних сигналів, неможливість врахування піків інтенсивності та неможливість усунення заторів [3]. Тому більш доцільним є використання транспортно-залежного керування, при якому параметри керування розраховуються в режимі реального часу.

У роботі [4] показано, що із збільшенням інтенсивності транспорт-

них потоків і, відповідно, коефіцієнта завантаження дороги рухом, вони стають більш стаціонарними. Це означає, що при застосуванні транспортно-залежного (адаптивного) керування рухом тривалість фаз для кожного напрямку руху буде змінюватись щоразу за невисоких значень коефіцієнта завантаження дороги рухом. При стабілізації процесу прибуття транспортних засобів до перехрестя імовірність повтору тривалості фаз зростатиме і буде близьким до значень, розрахованих для режиму жорсткого керування. З іншого боку, використання жорсткого керування за малої інтенсивності руху не є доцільним, оскільки зростає ймовірність того, що фази будуть ненасиченими. Тому у цій роботі встановлено межі ефективного застосування адаптивних систем керування рухом на регульованих перехрестях та розроблено методику прийняття рішення про впровадження проекту з використанням адаптивного керування.

В [5] наведено результати натурних досліджень інтенсивності дорожнього руху протягом тижня, з яких видно, що спостерігається ранковий та вечірній піки в робочі дні, різкий спад у нічний час, зростання інтенсивності до п'ятниці та її зниження у вихідні. Тобто, навіть на одному перегоні чи підході до перехрестя інтенсивність протягом доби змінюється в широких межах, і тому не зрозуміло, для якої інтенсивності потрібно проводити розрахунки і приймати відповідні рішення за методикою, наведеною в [4].

Для дослідження роботи регульованого перехрестя протягом доби доцільно використати імітаційне моделювання, яке є найбільш ефективним для задач такого типу [6-8].

Об'єктом нашого дослідження вибрано ізольоване регульоване Х-подібне перехрестя вул. Левицького – вул. Тершаковців – вул. Дороша (м. Львів). Рух по вул. Левицького та по вул. Дороша є одностороннім, по вул. Тершаковців – двосторонній. Кількість фаз регулювання – дві (рис.2).

В середовищі MATLAB створено імітаційну модель роботи цього перехрестя, детальну характеристику якої наведено у [8].

Початковими даними для моделювання є значення інтенсивності транспортних потоків, що прибувають до перехрестя. На рис. 3 наведено графіки її зміни протягом дня на перехресті вул. Левицького – вул. Тершаковців – вул. Дороша (м. Львів). Значення інтенсивності отримано з використанням результатів дослідження за транспортними потоками на цьому перехресті, а також з використанням результатів, отриманих в [5]. Ці графіки відображають типову зміну інтенсивності транспортних потоків протягом робочого дня: існує чітко виражений ранковий пік та розтягнутий у часі вечірній пік, у період з 09:00 до 16:00 ін-

тенсивність руху практично не змінюється.

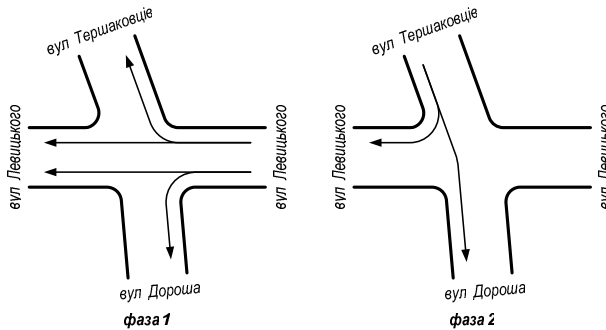


Рис.2 – Схема пофазного роз'їзду автомобілів на перехресті

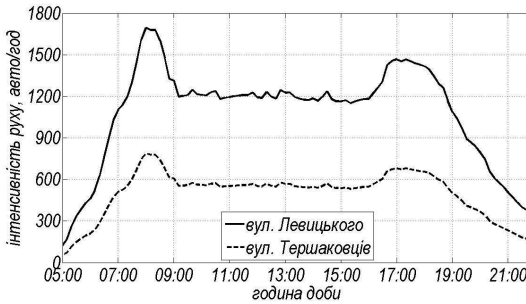


Рис.3 – Зміна інтенсивності транспортних потоків, що прибувають до перехрестя, протягом дня

Оскільки для розрахунку значень інтенсивності використано значення характерних для Києва сезонних складових, то графіки, наведені на рис.3, можуть не відображати типової для Львова її зміни. Проте це не має вирішального значення для дослідження роботи різних систем керування рухом на регульованому перехресті.

Оскільки інтенсивність транспортних потоків на підході до перехрестя не є постійною, то очевидно, що використання однопрограмного жорсткого керування не є ефективним. Доцільніше використати часово-залежне або транспортно-залежне керування.

З графіків зміни інтенсивності (рис.3) видно, що за часово-залежного керування протягом дня потрібно використати 5 програм роботи світлофорів:

- під час ранкового зростання інтенсивності(05:00-07:00);

- під час ранкового піку (07:00-09:00);
- під час усталеної інтенсивності протягом дня (09:00-16:00);
- під час вечірнього піку (16:00-19:00);
- під час вечірнього спадання інтенсивності (19:00-22:00).

Кожну з програм роботи світлофорів розраховано для усередненої інтенсивності протягом періоду її дії за методикою, наведеною в [9]. Значення тривалості світлофорного циклу та його елементів наведено в табл.1. Оскільки інтенсивність транспортних потоків у період з 22:00 до 05:00 є дуже малою, то в цей період доцільно переводити світлофори у режим жовтого миготливого сигналу.

Таблиця 1 – Параметри програм роботи світлофорів

| Параметр | | Характерні періоди доби | | | | |
|---|------------------|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| | | 05:00-07:00 | 07:00-09:00 | 09:00-16:00 | 16:00-19:00 | 19:00-22:00 |
| Усереднена інтенсивність руху, авто/год | вул. Левицького | 420 | 1360 | 1130 | 1280 | 615 |
| | вул. Тершаковців | 200 | 620 | 520 | 585 | 290 |
| Тривалість дозвільних сигналів, с | вул. Левицького | 10 | 34 | 19 | 27 | 10 |
| | вул. Тершаковців | 9 | 31 | 18 | 25 | 9 |
| Тривалість світлофорного циклу, с | | 25 | 71 | 43 | 58 | 25 |

Крім часово-залежного керування, на ізольованому перехресті можна використовувати також транспортно-залежне. Нами розроблено адаптивний алгоритм керування рухом, що використовує нечітку логіку. Керуючим рішення в цьому алгоритмі є встановлення тривалості дозвільного сигналу в момент його ввімкнення на основі значень інтенсивності транспортних потоків, що прибувають до перехрестя, та довжини черги на відповідному напрямі. Детальну характеристику розробленого алгоритму наведено у роботі [10]. Встановлено, що застосування цього алгоритму для керування рухом дає змогу підвищити ефективність функціонування перехрестя порівняно з жорсткою системою керування [10]. Проте оскільки дослідження проведено лише для 1 години роботи перехрестя, то доцільно дослідити роботу перехрестя впродовж довшого періоду.

В дослідженні виконано по 10 імітацій роботи перехрестя з 05:00 по 22:00 для різних типів керування рухом. Встановлювались зміни тривалості світлофорного циклу та довжини черги в момент ввімкнення дозвільного сигналу на кожному з підходів до перехрестя.

Кожна імітація є випадковим процесом [6, 8], тому результати моделювання за однакових початкових даних будуть відрізнятись між собою. Для часово-залежного керування тривалість світлофорних циклів

та їх кількість протягом доби, завжди є однаковою, а змінюється лише довжина черги. У зв'язку з цим потрібно провести декілька імітацій та усереднити значення довжин черг. Для транспортно-залежного керування тривалість та кількість світлофорних циклів щоразу є іншими. Тому в цьому випадку потрібно усереднювати не лише довжини черг для характерних періодів доби, але і кількість світлофорних циклів у кожному з таких періодів.

На рис.4 для однієї з імітацій наведено графік зміни тривалості світлофорного циклу протягом доби за часово-залежного та транспортно-залежного керування. Видно, що в другому випадку тривалість циклу не є постійною. Вона змінюється за зростання та спадання інтенсивності прибуття автомобілів, але є практично незмінною за усталеної інтенсивності протягом дня з 09:00 по 16:00. Видно, що тривалість циклу за транспортно-залежного керування, порівняно з часово-залежним, є більшою за малої інтенсивності руху та меншою – за великої. Це призводить до того, що кількість циклів за транспортно-залежного керування в першому випадку буде меншою, а в другому – більшою (табл.2).

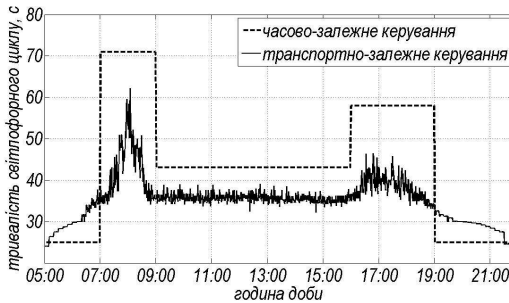


Рис.4 – Зміна тривалості світлофорного циклу протягом доби

Таблиця 2 – Зміна кількості світлофорних циклів

| Середня кількість циклів за різних систем керування | Характерні періоди доби | | | | | |
|---|-------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|----------------|
| | 05:00-07:00 | 07:00-09:00 | 09:00-16:00 | 16:00-19:00 | 19:00-22:00 | за весь період |
| часово-залежна | 336 | 101 | 586 | 186 | 408 | 1617 |
| транспортно-залежна | 294,7 | 170,6 | 706,4 | 283,8 | 349,8 | 1805,3 |

Визначальним параметром у цьому дослідженні, за яким оцінювалась ефективність роботи перехрестя, є довжини черг транспортних засобів на кожному підході до перехрестя. Графік зміни довжини черги в момент ввімкнення дозвільного сигналу на правій смузі вул. Левицького для однієї з імітацій наведено на рис.5. Видно, що протягом

добі за транспортно-залежного керування досягаються менші довжини черг.

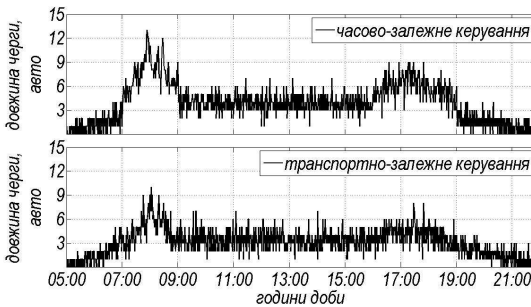


Рис.5 – Зміна довжини черги на правій смузі вул. Левицького в момент ввімкнення дозвільного сигналу

Середні та максимальні довжин черг за результатами 10-ти імітацій для різних систем керування наведено в табл.3. Під час ранкового зростання та вечірнього спадання інтенсивності руху середня та максимальна довжини черг за різних систем керування практично не відрізняються між собою (різниця між значеннями середньої довжини черги не перевищує 10%). Проте впродовж періоду від ранкового до вечірнього піку значення середньої та максимальної довжини черги за транспортно-залежного керування є меншими, ніж за часово-залежного (середня довжина черги зменшується на 0,5-2,5 автомобілі, або на 15-45%, максимальна – на 2-3 автомобілі). Переваги транспортно-залежного керування особливо помітні при різкому зростанні інтенсивності в період ранкового піку, коли максимальна довжина черги на вул. Левицького зменшується на 6-8 автомобілів.

Таким чином, для керування рухом на ізольованому перехресті в умовах змінної інтенсивності руху найкраще використовувати часово-залежне або транспортно-залежне керування. У першому випадку перевагою є низькі витрати на встановлення та обслуговування системи, у другому – краща ефективність роботи. Результати моделювання роботи перехрестя протягом доби з різними системами керування показали, що використання транспортно-залежного керування з нечітким алгоритмом керування є більш ефективним, оскільки в цьому випадку параметри системи керування адаптуються до параметрів транспортних потоків, що зумовлює зменшення середніх та максимальних довжин черг транспортних засобів перед перехрестям (на 0,5-2,5 і 2-8 автомобілів відповідно), затримок руху та негативного екологічного впливу на довкілля.

Таблиця 3 – Значення середньої та максимальної довжини черги

| Тип черги | | Довжина черги в момент ввімкнення дозвільного сигналу, авто | | | | | |
|-------------|-------------|---|---------------------|------------------------------|---------------------|------------------|---------------------|
| | | вул. Левицького (права смуга) | | вул. Левицького (ліва смуга) | | вул. Тершаковців | |
| | | часово-залежна | транспортно-залежна | часово-залежна | транспортно-залежна | часово-залежна | транспортно-залежна |
| середня | 05:00-07:00 | 0,934 | 1,052 | 1,024 | 1,109 | 0,932 | 1,005 |
| | 07:00-09:00 | 7,717 | 5,113 | 7,363 | 4,801 | 7,161 | 5,026 |
| | 09:00-16:00 | 3,771 | 3,297 | 3,604 | 3,137 | 3,502 | 2,995 |
| | 16:00-19:00 | 5,606 | 3,923 | 5,404 | 3,759 | 5,308 | 3,648 |
| | 19:00-22:00 | 1,210 | 1,390 | 1,262 | 1,427 | 1,178 | 1,329 |
| | за добу | 2,994 | 2,831 | 2,920 | 2,730 | 2,819 | 2,642 |
| максимальна | 05:00-07:00 | 6 | 6 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| | 07:00-09:00 | 26 | 18 | 25 | 19 | 8 | 9 |
| | 09:00-16:00 | 10 | 11 | 9 | 7 | 8 | 8 |
| | 16:00-19:00 | 12 | 10 | 12 | 9 | 12 | 10 |
| | 19:00-22:00 | 7 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6 |
| | за добу | 26 | 18 | 25 | 19 | 12 | 10 |

1.Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: Учебник для вузов / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 280 с.

2.Гаврилов А.А. Моделирование дорожного движения / А.А. Гаврилов. – М.: Транспорт, 1980. – 190 с.

3.Пржибыл П. Телематика на транспорте: Пер. с чеш. / П. Пржибыл, М. Свитек; под ред. проф. В.В. Сильянова. – М.: МАДИ (ГТУ), 2003. – 540 с.

4.Дідківська Л.С. Гнучкі методи світлофорного регулювання в умовах нестаціонарності параметрів транспортного потоку: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Людмила Сергіївна Дідківська. – К. НТУ, 2011. – 20 с.

5.Могила І.А. Прогнозування інтенсивності руху з використанням часових рядів / А.Б. Білоус, І.А. Могила, Я.Р. Крамажевський // Вісник Донецької академії автомобільного транспорту. – 2011. – №3. – С.15-25.

6.Дрю Д. Теория транспортных потоков и управление ими / Д. Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.

7.Иносэ Х. Управление дорожным движением: Пер. с англ. / Х. Иносэ, Т. Хамада; под ред. М.Я. Блинкина. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.

8.Могила І.А. Моделювання роботи регульованого перехрестя з використанням MATLAB та VISSIM / І.А. Могила, Є.Ю. Форнальчик // Вісник СЧУ ім. В. Даля. – 2011. – №5 (159). Ч.1. – С.232-242.

9. Tepley S. Canadian Capacity Guide for Signalized Intersections. Third Edition / S. Tepley, D.I. Allingham, D.B. Richardson, B.W. Stephenson. – Toronto: Institute of Transportation Engineers, District 7, 2008. – 230 p.

10. Могила І.А. Нечіткий алгоритм керування дорожнім рухом на регульованому перехресті / І.А. Могила // Адаптивні системи автоматичного управління. – 2011. – №19 (39). – С.12-27.

Отримано 05.03.2012

УДК 656.02.2

А.В.ЯКИМОВ

Запорізький національний технічний університет

ЗАКОНОМІРНОСТІ ФОРМУВАННЯ КІЛЬЦЕВИХ МАРШРУТІВ У МІСТАХ

Розглянуто закономірності формування кільцевих та півкільцевих маршрутів у містах України. Визначено закони розподілу площ міської території, охопленої трасами кільцевих маршрутів.

Рассмотрены закономерности формирования кольцевых и полукольцевых маршрутов в городах Украины. Определены законы распределения площадей городской территории, охваченной трассами кольцевых маршрутов.

The formation regularities of circular and semicircular routes in Ukrainian cities are considered. The distributions of the urban areas, covered by the circular routes are obtained.

Ключові слова: маршрутна мережа, форма траси, пасажиропотік, гістограма розподілу, формування маршрутів.

Побудова раціональної маршрутної мережі громадського транспорту в містах є важливою задачею, від якісного рішення якої залежить низка технічних і соціальних показників життєдіяльності сучасного міста. До таких показників, у першу чергу, можна віднести витрати часу та грошових коштів мешканцями міста на пересування, комфортабельність і безпечність перевезень, рівні завантаження маршрутним транспортом міських вулиць і доріг, екологічні фактори.

У випадку організації масових перевезень пасажирів у місті за маршрутною технологією рух маршрутних транспортних засобів (МТЗ) та пов'язані з ним пасажирські потоки переміщуються за заздалегідь визначеними маршрутами. За характером розташування на території міста розрізняють діаметральні, тангенціальні (хордові), радіальні, кільцеві маршрути, а за формою траси – маятникові, кільцеві та півкільцеві (рис.1) [1].

Найбільше поширення знайшли маятникові маршрути (рис.1, а). Їх основними перевагами є можливість забезпечення прямування пасажира за найкоротшими відстанями на транспортній мережі, можливість більш гнучкого регулювання руху МТЗ через наявність двох кінцевих зупинок.