

УДК 656.11

Ю.Я.Ройко, О.М.Грицунь
Національний університет «Львівська політехніка»
ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДІЛЯНОК
ВУЛИЧНО-ДОРОЖНЬОЇ МЕРЕЖІ В УМОВАХ КООРДИНОВАНОГО
РЕГУЛЮВАННЯ

У роботі досліджено вплив планувальних характеристик магістральних вулиць на показник миттєвої швидкості руху у групах автомобілів, як чинника ефективності функціонування вулично-дорожньої мережі у системах координованого регулювання. Наведено результати дослідження стійкості груп транспортних засобів у потоці на основі аналізу швидкості руху, складу потоку та довжини ділянки вулиці між перехрестями в умовах світлофорного регулювання.

Ключові слова: миттєва швидкість руху, склад транспортного потоку, інтенсивність руху, вулично-дорожня мережа, координоване регулювання.

Рис 3. Літ 10.

Ю.Я.Ройко, О.М.Грицунь
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ
УЛИЧНО-ДОРОЖНОЙ СЕТИ В УСЛОВИЯХ КООРДИНИРОВАННОГО
РЕГУЛИРОВАНИЯ

В работе исследовано влияние планировочных характеристик магистральных улиц на показатель мгновенной скорости движения в группах автомобилей, как фактора эффективности функционирования улично-дорожной сети в системах координированного регулирования. Приведены результаты исследования устойчивости групп транспортных средств в потоке на основе анализа скорости движения, состава потока и длины участка улицы между перекрестками в условиях светофорного регулирования.

Ключевые слова: мгновенная скорость движения, состав транспортного потока, интенсивность движения, улично-дорожная сеть, координированное регулирование.

Y. Royko, O. Grytsun
INCREASING EFFICIENCY OF ROAD NETWORK LINKS OPERATING IN
COORDINATE CONTROLLING CONDITIONS

Work is dedicated to investigating the impact of magisterial roads planning features on momentary traffic speed, which is the efficiency factor for road network operating in coordinate controlling systems. In paper is shown the research results of car groups in the traffic flow stability on the basis of motion speed, traffic flow composition and street link length between intersections with lights

Key words: momentary motion speed, traffic flow composition, traffic intensity, road network, coordinate controlling

Постановка проблеми

Одним із шляхів розв'язання проблеми перевантаження вулично-дорожньої мережі (ВДМ) міста в умовах зростання автомобільного парку та об'єму перевезень, є підвищення ефективності її використання за рахунок впровадження сучасних технологій, засобів і систем управління дорожнім рухом, зокрема – удосконалення технології управління світлофорною сигналізацією на перехрестях.

Пропускна здатність регульованих перехресть залежить від їх геометрії, режиму роботи засобів регулювання і характеристик транспортного потоку. Найбільш важливими серед них є: ширина ділянки перед перехрестям, її поздовжній профіль, наявність (або відсутність) зон стоянки на цій ділянці, ширина проїжджої частини перехрестя, ширина проїзної частини на виході із зони перехрестя, радіуси поворотів, поздовжня розмітка в зоні перехрестя і тривалість фази зеленого сигналу світлофора [6,8,10]. Проте, якщо геометрія є практично незмінною в часі, режими світлофорного регулювання можуть мати від однієї до безлічі програм, то характеристики транспортного потоку змінюються постійно, залежно зміни первинних показників (інтенсивності, швидкості, складу руху, тощо).

Підвищити пропускну здатність магістральної ВДМ в умовах світлофорного регулювання можливо за рахунок впровадження систем координованого управління. Саме магістральні вулиці та дороги відповідають критеріям для впровадження таких систем, а також вулиці з однобічним рухом.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Для організації координованого управління необхідне виконання таких умов: наявність не менше двох смуг руху для кожного напрямку; однаковий або кратний цикл регулювання на всіх перехрестях, які входять в систему координації; транзитність потоку має становити не менше 70%; відстань між сусідніми перехрестями не має перевищувати 800 м [4,7,9]. Ці умови ґрунтуються на таких припущеннях: наявності хвильових процесів у транспортному потоці, які спричинені світлофорним регулюванням та мають визначені параметри – щільність, швидкість та інтервал в русі транспортних засобів; оптимальний режим для руху транспорту досягається в тому випадку, коли автомобілі рухаються від одного світлофорного об'єкту до іншого групами і прибувають на початок появи дозволяючого сигналу [3,4,7,9].

Одними з основних показників і явищ, які впливають на значення тривалості циклу світлофорної сигналізації, є швидкості та утворення і прискорення груп автомобілів під час проїзду регульованих перехресть [3,7]. Неправильно визначені параметри керування роботою світлофорів призводять до накопичення черг автомобілів перед перехрестями.

На швидкість руху автомобіля впливають багато чинників: тип автомобілів (легковий, вантажний автомобіль без причепа, комбінація вантажного автомобіля з причепом або автобус), а також його технічний стан; чинники, пов'язані з типом і станом дороги (кривизна в плані, величина і довжина ухилів, кількість смуг руху та тип дорожнього покриття, відстань видимості, ширина вулиці і частота розташування перехресть) [1,2,5]. Швидкість руху на вулицях міста залежить в основному від повторюваних «піків» інтенсивності руху, методів і засобів регулювання вуличного руху, ситуацій на перехрестях, а також інших фізичних і фізіологічних перешкод руху, властивих міському середовищу [8,10].

Швидкість руху – одна з двох основних цільових функцій [9]. У дорожньому русі розрізняють кілька видів швидкостей, основними з яких є: швидкість сполучення, середня технічна, миттєва, крейсерська, максимальна, дозволена, рекомендована, економічна, безпечна та оптимальна швидкості. З переліченого ряду швидкостей руху три швидкості: миттєва, середня технічна та сполучення, мають чіткі межі і фізичний зміст [3,9]. В умовах координованого управління необхідно визначити середні швидкості для транспортних засобів та груп автомобілів у потоці для того, щоб знати своєчасне їх прибуття до наступного перехрестя.

Розглянемо процес утворення груп автомобілів у транспортному потоці. За світлофорного регулювання транспортні засоби формуються в окремі групи (пачки). Вони утворюються в результаті накопичення транспортних засобів перед «стоп-лінією» в період ввімкненого заборонного сигналу. Після ввімкнення дозволяючого сигналу транспортні засоби залишають перехрестя і продовжують рухатися у вигляді групи. Швидкість під час роз'їзду транспортного потоку на перехресті є різною, особливо для перших 4-6-ти автомобілів в черзі [3]. Щодо складу транспортного потоку, то проблема полягає в тому, що кожен транспортний засіб має свої динамічні характеристики, які відрізняються від інших. Це, у свою чергу, впливає на величину черги транспортних засобів під час роз'їзду на зелений сигнал світлофора. Під час роз'їзду черги, обмеженням у русі для першого автомобіля є його тягово-швидкісні характеристики. Для другого і наступних автомобілів обмеженнями є інтервали безпеки до транспортного засобу, що їде попереду, і його швидкість, оскільки максимальною для кожного наступного автомобіля буде швидкість автомобіля, що їде попереду [4,9].

На початку перегону, безпосередньо за перехрестям, інтенсивність груп автомобілів близька до потоку насичення. У процесі подальшого руху групи починається її розпад, зумовлений різницею швидкостей транспортних засобів, які її утворюють. Розкид швидкостей обумовлений різномірністю складу транспортного потоку, а також впливом індивідуальних особливостей водія. Цей процес прогресує з відстанню віддалення групи від попереднього перехрестя. Прибуття автомобілів до наступного перехрестя має випадковий характер. Однозначно, на динаміку цього процесу, крім складу потоку та індивідуальних якостей водія, має вплив кількість смуг в даному напрямку руху, інтенсивність руху, наявність на перегоні зупинних пунктів громадського транспорту, пунктів притягання пішоходів, тощо.

Групоподібний характер потоків має велику роль за організації координованого управління. Зі зменшенням відстані між перехрестями зменшується ймовірність розпаду групи і, таким чином, необхідно менше часу для її пропуску на наступному перехресті [7].

Різними авторами встановлюються такі межі відстаней між перехрестями, коли ефективність роботи системи координованого управління є найбільшою. Так, за Ю. А. Кременцем така відстань становить 100 – 800 м [4], за П. В. Русевським – 150 – 600 м [7], за В. П. Поліщуком – 100 – 300 м [9], за Ю. А. Врубелем – група розпадається за довжини перегону 600 – 800 м [3].

Правильний вибір розрахункової швидкості, а відповідно, зсуву ввімкнення дозвільних сигналів на сусідніх перехрестях, здійснюють великий вплив на ефективність координованого управління. Під час вибору розрахункової швидкості доцільно орієнтуватися на середню швидкість групи, однак, це викликає затримку автомобілів-лідерів, які, у свою чергу, зроблять перешкоду для безупинного проїзду через перехрестя основної частини групи.

Невирішені раніше частини загальної проблеми

Поряд із тим, що у науковій теорії запропонована велика кількість методів та методик підвищення ефективності роботи систем координованого регулювання, на практиці досягти таких результатів надзвичайно складно. Існують дві групи проблем, які при цьому виникають. Перша пов'язана із планувальними особливостями проїзних частин, а друга – із стохастичним характером основних показників транспортного потоку. Складністю є те, що підвищити ефективність функціонування транспортної системи в умовах координованого управління можна досягти лише за умови комплексного підходу у розв'язанні цих проблем, зокрема шляхом визначення раціональних геометричних параметрів ділянок вулично-дорожньої мережі та детального вивчення первинних показників і залежностей між ними.

Мета дослідження

Визначити закономірності утворення та розпаду груп автомобілів у різних за складом транспортних потоках на ділянках вулиць між перехрестями, які мають відмінні геометричні параметри, що дасть можливість оцінити адекватність застосування існуючих моделей опису стану транспортного потоку в просторах, обмежених різними геометричними параметрами (перехрестями та ділянками вулиць і доріг між ними).

Основні результати дослідження

Середні швидкості визначаються шляхом дослідження їх миттєвих значень на основі двох методів. Один з них полягає у вимірюванні часу, який затрачається автомобілем на проходження заданого короткого відрізка дороги (вулиці), а інші - у визначенні швидкості рухомого автомобіля за допомогою відповідних приладів.

Для досліджень на ділянках магістральної ВДМ міста Львова обрано метод вимірювання миттєвих швидкостей у транспортних потоках з допомогою приладу «Радис», який ґрунтується на визначенні їх значень в межах перегонів різної довжини та однакової кількості смуг руху на них.

Результати цих досліджень наведено на рис. 1.

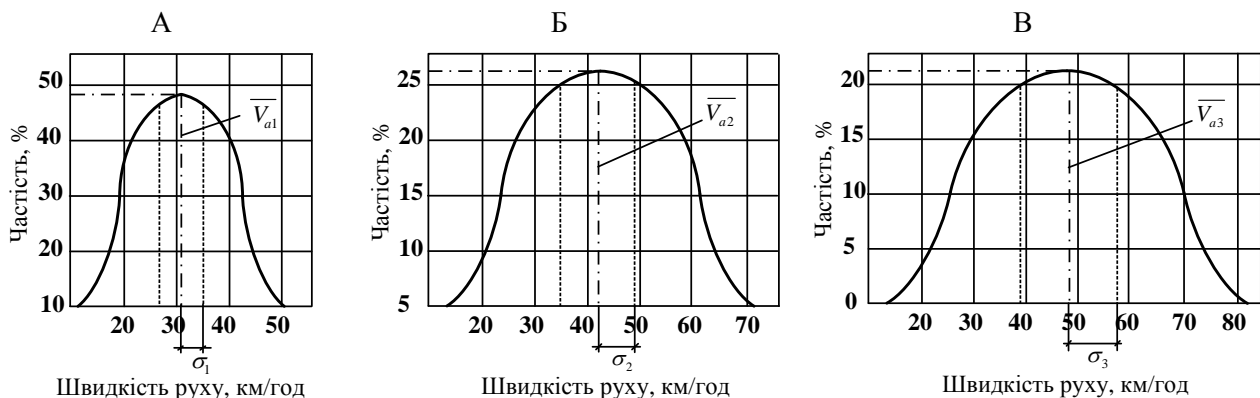


Рис. 1. Дослідження миттєвих швидкостей руху на середині ділянки вулиці між перехрестями різної довжини за однакового складу потоку:

$$А - l_{\text{дв}1} = 75\text{м}; \quad Б - l_{\text{дв}2} = 220\text{м}; \quad В - l_{\text{дв}3} = 350\text{м}$$

Аналізуючи результати досліджень (рис. 1), можна помітити тенденцію зміни миттєвих швидкостей легкових автомобілів на ділянках вулиць між перехрестями в умовах світлофорного регулювання залежно їх довжини. Виходячи з умови $l_{\text{дв}1} < l_{\text{дв}2} < l_{\text{дв}3}$, отримуємо зв'язок між величиною середніх миттєвих швидкостей у транспортному потоці $\overline{V_{a1}} < \overline{V_{a2}} < \overline{V_{a3}}$, отже, існує пряма залежність у потоках, де переважають легкові автомобілі (або інші за типом транспортні засоби) між довжиною ділянки вулиці між перехрестями та середніми швидкостями руху. Проте, зі збільшенням миттєвих швидкостей руху відбувається також розпад груп транспортних засобів у

потоці, що пояснюється такою нерівністю $\sigma_1 < \sigma_2 < \sigma_3$, коли середнє квадратичне відхилення також прямо зростає, а частість зменшується, відповідно, все менше автомобілів цього транспортного потоку їдуть з близькими між собою швидкостями. Очевидно, такі результати вказують на розпад групи, і цей розпад буде збільшуватися зі збільшенням неоднорідності потоку. На рисунку 1 зображені одномодальні розподіли, які притаманні потокам високої однорідності, але, якщо у них в умовах багатосмуговості зростатиме частка громадського транспорту та вантажного руху, то розподіли набуватимуть двомодального вигляду, оскільки транспортні засоби структуруватиметься не лише за типом, а й за окремими смугами руху, за умови, якщо розглядається багатосмугова проїзна частина, як у даному випадку. Ця структуризація набуватиме все чіткіших форм зі збільшенням довжини ділянки між перехрестями (в умовах світлофорного координованого регулювання – між стоп-лініями) і, у результаті, зменшуватиме ефективність координації.

Провівши аналогічні дослідження для транспортних потоків, у яких 70-75% складають легкові автомобілі, отримано залежність, зображену на рисунку 2.

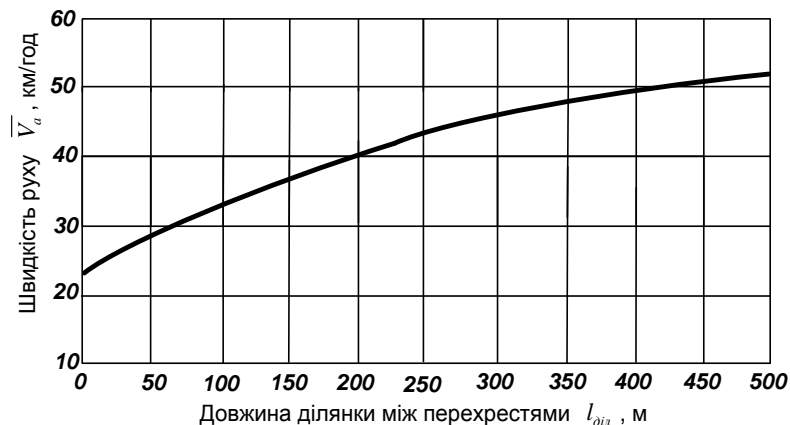


Рис. 2. Залежність зміни середньої миттєвої швидкості руху від довжини ділянки між перехрестями в умовах координованого регулювання

Для того, щоб у повній мірі оцінити період настання розпаду групи автомобілів на різних за довжиною ділянках вулиць між перехрестями на основі аналізу миттєвих швидкостей руху та складу транспортного потоку, зроблено такі обмеження:

- транспортні засоби зупинені перед початком руху на стоп-лінії;
- останнім автомобілем у групі вважався той транспортний засіб, який останнім перетинав стоп-лінію на дозволяючий сигнал світлофора;
- враховувалися групи, які складалася з 50%, 85% та 100% легкових автомобілів;
- вимірювання проводилися на середній смузі трисмугової магістральної вулиці.

Розпад групи транспортних засобів за цієї системи обмежень аналізувався на основі зміни відстані між першим та останнім автомобілями групи у момент, коли автомобіль-лідер під'їжджав до наступної стоп-лінії. Результати досліджень зображено на рисунку 3.

Важливим чинником, який може впливати на результат таких досліджень є тип транспортного засобу, який знаходився першим у групі. За малої відстані між стоп-лініями такий вплив був визначальним, проте, зі збільшенням цієї відстані він зменшувався за рахунок здійснення маневрів випередження. Деякий вплив на характер руху групи автомобілів у середній смузі здійснювала інтенсивність у сусідніх смугах.

Постійні локальні дослідження миттєвих швидкостей руху у транспортних потоках дали можливість стверджувати, що середні швидкості руху двома крайніми смугами лінійно зменшується за зростання інтенсивності руху, у той час як середня швидкість руху крайніми лівими смугами не залежить від зміни цього показника.

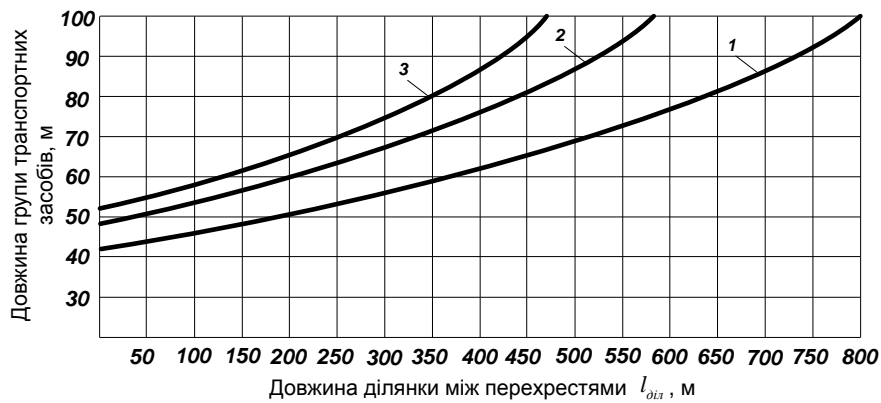


Рис. 3. Дослідження зміни довжини групи транспортних засобів за різної відстані між регульованими перехрестями середньої смуги руху магістральної вулиці:
1 – 100%; 2 – 85%; 3 – 50% легкових автомобілів у групі

Відчутна зміна швидкості руху крайніми правими смугами пов'язана з наявністю там вантажних автомобілів та громадського транспорту, а також транспортних засобів, які здійснюють маневр правого повороту під час з'їзду та виїзду на цю вулицю. Особливо ці чинники є відчутними за наявності ухилів у поздовжньому профілі. Усі ці особливості мають великий вплив на структурування транспортного потоку за критерієм швидкості i , в результаті, на ефективність роботи системи координованого управління.

Висновки

З розглянутого вище можна стверджувати, що найважливішим чинником під час оцінки ефективності роботи системи координованого управління будь-якого типу є швидкість руху. Правильний вибір її проектної величини у цій системі дозволяє з великою точністю розрахувати величину періоду часу, за який групі транспортних засобів гарантується безупинний проїзд через усі перехрестя вулиці, де застосовується координоване управління. Для найкращої роботи такого управління бажано досягати постійного кута нахилу ліній швидкості руху у системі координат «відстань-час». Щоб досягти такого результату, необхідне регулювання швидкісного режиму шляхом введення рекомендованого або примусового його обмеження з допомогою дорожніх знаків. В іншому випадку, у міру зміни величини та складу транспортного потоку за різних довжин ділянок вулиць між перехрестями, досягти постійності цього кута нахилу неможливо і програма координації працюватиме неефективно.

Проведення постійних досліджень за швидкістю руху на магістральних вулицях, де впроваджено системи координованого управління, дає можливість розробляти чіткі та точні алгоритми для програм координації, що робить транспортну систему ефективнішою, підвищуючи продуктивність роботи рухомого складу, умови безпеки руху та екологічні параметри урбанізованих просторів.

1. Marshall S. Streets and patterns: The structure of urban geometry / S. Marshall. – New York : Spon Press, 2005. – 318 p.
2. Taylor N. Urban planning theory since 1945 / N. Taylor. – Gateshead : SAGE Publications, 1998. – 184 p.
3. Врубель Ю. А. Потери в дорожньому русі / Ю. А. Врубель. – Минск : БНТУ, 2003. – 380 с.
4. 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.
5. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов / Е. М. Лобанов. – М. : Транспорт, 1990. – 240 с.
6. 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).
7. Рушевский П.В. Организация и регулирование движения с применением автоматических средств управления : [учебное пособие] / П.В. Рушевский. – М. : «Высшая школа», 1974. – 238 с.
8. Споруди транспорту. Вулиці та дороги населених пунктів : ДБН В.2.3-5-2001. – [Чинний від 2001-10-01]. – К. : Укрархбудінформ, 2001. – 50 с. – (Національний стандарт України).
9. Системологія на транспорті. Організація дорожнього руху [Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.]; за ред. М. Ф. Дмитриченка. – К. : Знання України, 2007. – 452 с. – (5 кн./ Гаврилов Е. В., Дмитриченко М. Ф., Доля В. К. та ін.; кн. 4).
10. Фишельсон М. С. Транспортная планировка городов / М. С. Фишельсон. – М. : Высшая школа, 1985. – 239 с.

Стаття надійшла до редакції 07.04.2014

