УДК 656.051

Ю.Ю. Євчук, Ю.Я. Ройко, Ю.М. Лубенець
Національний університет «Львівська політехніка», Львів, Україна

АНАЛІЗ ОСНОВНИХ ЧИННИКІВ, ЯКІ ОБУМОВЛЮЮТЬ РЕЖИМИ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З УРАХУВАННЯМ ПРІОРИТЕТУ ДЛЯ ГРОМАДСЬКОГО ТРАНСПОРТУ

Актуальною проблемою на сьогодні залишається забезпечення пріоритетного проїзду громадським транспортом найбільш завантажених ділянок вулично-дорожньої мережі. Поряд з цим існує велике різноманіття науково-прикладних підходів та методів щодо забезпечення такої пріоритизації. Загалом їх розділяють на дві основні групи – часова пріоритизація, яка забезпечується застосуванням адаптивних алгоритмів управління світлофорною сигналізацією, та просторова пріоритизація, яка забезпечується виділенням спеціальних смуг для руху або поширень перед стоп-лініями виключно для руху громадського транспорту. Застосування того або іншого способу або його різновиду залежить від планувальних особливостей ділянок вулично-дорожньої мережі та показників руху транспортного потоку.

Ключові слова: *громадський транспорт, світлофорне регулювання, світлофорний об'єкт, вулично-дорожня мережа, затримка руху, інтенсивність руху, транспортний потік.*

Ensuring priority passage for public transportation on the busiest sections of the street and road network remains a pressing issue today. At the same time, there is a wide variety of scientific and practical approaches and methods for implementing such prioritization. Generally, these are divided into two main groups: temporal prioritization, achieved through adaptive traffic signal control algorithms; and spatial prioritization, achieved by designating special lanes or extensions beyond stop lines specifically for public transit. The application of one method or another or a variation thereof, depends on the planning characteristics of street network sections and traffic flow indicators.

Keywords: *public transport, traffic light regulation, traffic light object, street and road network, traffic delay, traffic volume, traffic flow.*

Збільшення рівня автомобілізації, недостатній розвиток транспортної інфраструктури, різноманіття конфігурацій вулично-дорожньої мережі, утворення черг на перехрестях та пішохідних переходах, постійна зміна показників транспортної рухливості населення – всі ці чинники обумовлюють необхідність розосередження транспортного потоку у часі та просторі. Це обґрунтовує висновок, що під час управління рухом у сучасному місті неможливо обійтись без використання світлофорних об'єктів, що дозволить підвищити рівень безпеки для усіх учасників дорожнього руху, а також структурувати групи транспортних засобів та пішоходів задля більш впорядкованого пропуску через ділянки вулично-дорожньої мережі.

Облаштування світлофорного об'єкта на локальному перехресті є індивідуальним завданням. Рішення щодо режиму роботи світлофорних груп приймаються на основі врахування низки чинників: конкретних геометричних параметрів проїзної частини (кількості смуг руху, радіусів заокруглення, наявності поздовжнього ухилу тощо), інтенсивності руху транспортних та пішохідних потоків, частки вантажного руху та громадського транспорту, швидкісного режиму на підходах до перехрестя або пішохідного переходу тощо. Окрім цього, значний вплив на режим роботи світлофорного об'єкта має щільність вулично-дорожньої мережі, яка обумовлює відстань між суміжними світлофорними об'єктами. Складним завданням є забезпечення ефективного керування дорожнім рухом, приймаючи окремі локальні рішення. У зв'язку з цим постає необхідність створення системи координації, які складаються із мережі послідовних світлофорних об'єктів, особливо на магістральних вулицях. У вітчизняній інженерній практиці є ряд нормативних документів, якими регламентовано критерії введення світлофорного регулювання та принципи пофазного роз'їзду транспортних засобів, вимоги до вулично-дорожньої мережі залежно від показників транспортного потоку. Так, нормативами регламентується впровадження світлофорного регулювання, виходячи з показників інтенсивності руху транспортних і пішохідних потоків, кількості смуг руху та показників аварійності.

Регламентовані умови введення світлофорного регулювання та облаштування світлофорних об'єктів є досить загальними. Ключовим питанням залишається врахування інтенсивності руху

громадського транспорту, надання йому пріоритетів, нерівномірності руху його учасників, особливо в умовах перевантаженості вулично-дорожньої мережі приватними транспортними засобами.

Принципи сталої міської мобільності передбачають комфортне пересування мешканців територією міста на значні відстані у великих обсягах, які може забезпечити виключно громадський транспорт.

Незважаючи на те, що регламенти з уведення світлофорного регулювання не передбачають окремих алгоритмів врахування специфічних особливостей руху громадського транспорту, нормативами визначено певні особливості щодо облаштування зупинок маршрутного транспорту, виділення спеціальних смуг для його руху за різного дорожньо-транспортного планування. Все це впливає на режим руху транспортного потоку, закономірності зміни його показників, утворення черг, а відтак і на часові параметри світлофорного регулювання. До прикладу, щодо зупинок громадського транспорту, то їх розміщення може бути таким: після проїзду перехрестя (маршрутний транспорт за виключенням трамвая); до перехрестя (для трамваїв); з облаштуванням заїзної «кишені», так і без неї. Поряд з цим спосіб облаштування зупинок громадського транспорту має вплив на рух інших учасників дорожнього руху залежно від планувальних особливостей перехрестя, інтенсивності руху самого громадського транспорту та способу його пропуску ділянками вулично-дорожньої мережі. Під способом пропуску громадського транспорту ділянками вулично-дорожньої мережі розуміється облаштування спеціальних виділених смуг на всій протяжності маршруту або окремих вулицях, або перед перехрестями. Так, нормативами передбачено, що виділена смуга для громадського транспорту обов'язково облаштовується за кількості смуг не менше ніж три в одному напрямку. Також відзначається, що на житлових вулицях за відповідного обґрунтування дозволяється впроваджувати виділені смуги. Проте не наведено жодних умов, за яких таке рішення буде обґрунтованим. Відповідно до цього, за будь-яких умов руху на міських магістралях при певній кількості смуг завжди необхідно передбачати просторовий пріоритет для руху громадського транспорту, незважаючи на жодні показники учасників дорожнього руху, наявність або відсутність світлофорних об'єктів та відстані між ними, швидкість руху тощо. Такі рішення часто можуть лише нашкодити та створити значні транспортні затримки.

Як відзначалось раніше, перехрестя є важливим елементом будь-якої виділеної смуги для громадського транспорту. Невдало сплановане перехрестя або неефективно (з погляду рівня завантаження) розраховані фази на світлофорному об'єкті можуть значно знизити пропускну здатність маршрутної мережі. Рішення щодо оптимізації роботи системи регульованих перехресть може значно підвищити її ефективність. Мета проектування мережі регульованих перехресть з урахуванням виділених смуг для громадського транспорту полягає в тому, щоб:

– мінімізувати затримки на виділених смугах для громадського транспорту;
– підвищити безпеку руху і покращити доступність пішоходів до зупинок;
– мінімізувати затримки для загального транспортного потоку.

На виділених смугах з невеликою кількістю рухомого складу громадського транспорту, відносно невеликою кількістю пасажирів і великою кількістю перехресть, світлофорне регулювання може бути однією з основних причин виникнення затримок у маршрутній мережі. Під час проектування виділених смуг для громадського транспорту часто значна увага приділяється зменшенню тривалості затримки сигналу і ґрунтується на різноманітності способів пріоритизації.

З метою уникнення цих загальних проблем мережі різні методики використовують такі підходи для розв'язання локальних проблем на перехрестях:

1. Визначення існуючих місць накопичення транспортних засобів і пошук вирішення з використанням стандартних практик проектування.
2. Спрощення маршрутної мережі та структури виділених смуг для громадського транспорту.
3. Управління світлофорними сигналами на основі розрахунку прогнозованої затримки в новій маршрутній мережі.
4. Застосування максимальних обмежень кількості поворотів транспортних засобів загального транспортного потоку на виділених смугах для громадського транспорту.
5. Обґрунтування рішень щодо організації поворотного руху на виділених смугах для громадського транспорту за умови, коли обмеження поворотів є нераціональним або їх неможливо уникнути, виходячи з планувальних особливостей вулично-дорожньої мережі.
6. Оптимізація розташування зупинок громадського транспорту.

7. Оптимізація проектування перехресть та пішохідних переходів і розрахунок фаз світлофорного регулювання.

8. Визначення способу пріоритизації громадського транспорту за критеріями мінімізації витрат часу на переміщення вулично-дорожньою мережею всіма її користувачами.

Після визначення базової структури маршрутної мережі необхідне бачення ймовірної зміни транспортної рухливості на ній. Для цього слід провести ґрунтовний аналіз, щоб визначити, чи або як утворюватимуться затримки на виділеній смузі для громадського транспорту за умови збереження існуючих фаз регулювання на перехресті та розподілу транспортних засобів загального транспортного потоку вздовж цієї виділеної смуги. Також необхідно проаналізувати кожне перехрестя з виділеними смугами для громадського транспорту.

Загальна затримка на всіх світлофорних об'єктах мережі, де є виділені смуги для громадського транспорту, пов'язана з двома окремими явищами. Перше, затримка, спричинена сигналами світлофора, – це проста затримка, яка виникає через значну кількість транспортних засобів, які використовують виділену смугу для громадського транспорту (рухомий склад громадського транспорту та транспортні засоби загального транспортного потоку, які здійснюють повороти), що пов'язано з пропускною здатністю перехрестя. Друге, затримки можуть виникати у зв'язку з тимчасовим скупченням громадського транспорту.

Якщо у системі вже враховано право пріоритетного проїзду громадського транспорту уздовж певного коридору, а під час проектування фаз обмежено повороти, тоді громадський транспорт на виділеній смузі отримає перевагу від більшої (лише для нього) тривалості дозвільного сигналу. Після цього пропускна здатність регульованого перехрестя для громадського транспорту стане дуже високою (часто понад 200 од/год), що перевищує необхідний рівень для більшості виділених смуг.

На рисунках 1–3 наведено результати моделювання залежно від тривалості заборонного сигналу на світлофорному об'єкті для виділеної смуги таких показників: середньої затримки одного транспортного засобу громадського транспорту (ТЗ ГТ) у виділеній смузі перед стоп-лінією (рис. 1); тривалості очікування, пов'язаної з величиною черги на виділеній смузі (рис. 2); загальної затримки на виділеній смузі (рис. 3). Моделювання проводилося за таких початкових параметрів: однорядна виділена смуга для громадського транспорту на напрямку; тривалість світлофорного циклу 80 с; інтенсивність руху громадського транспорту на виділеній смузі – 200 фактичних од/год. До того ж, під час процесу моделювання виставлялись такі обмеження:

– з виділеної смуги руху не здійснювався проїзд правоповоротних потоків, суміщених з пішохідними потоками попутного напрямку;

– тривалість фаз регулювання на всіх регульованих перехрестях, якими прокладена виділена смуга, була різною;

– моделювання проводилось для всієї протяжності вулиці.

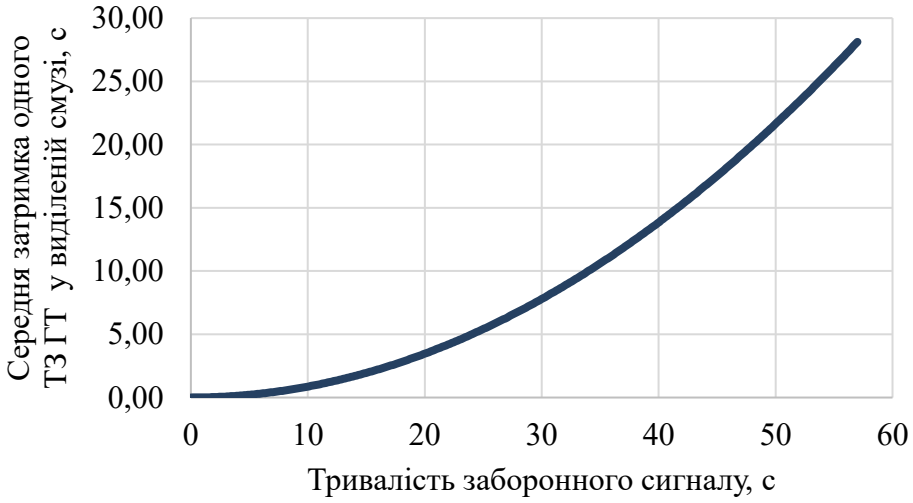

Рис. 1. Результати моделювання середньої затримки одного ТЗ ГТ у виділеній смузі перед стоп-лінією



Рис. 2. Результати моделювання тривалості очікування, пов’язаної з величиною черги на виділеній смузі

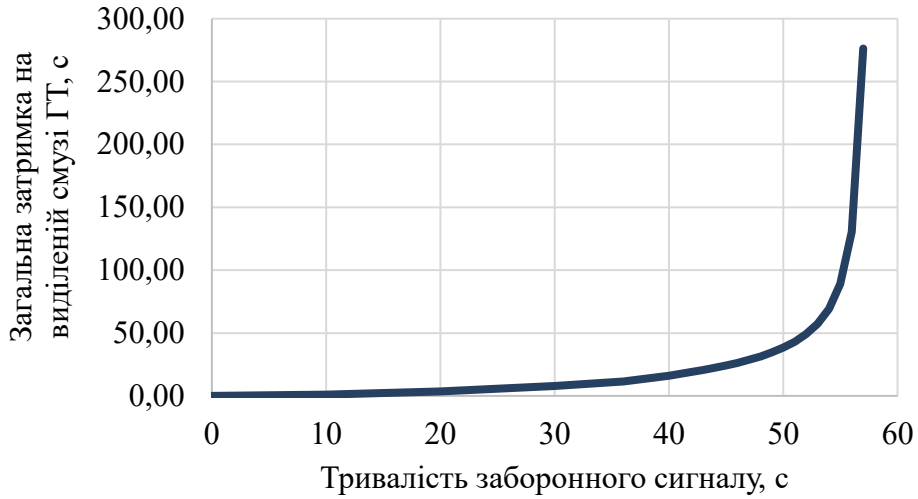

Рис. 3. Результати моделювання загальної затримки на виділеній смузі

Отже, затримка на регульованих перехрестях залежить від частки заборонного сигналу на напрямку у структурі світлофорного циклу. Загалом найкритичнішим, з погляду тривалості очікування та затримки громадського транспорту на виділеній смузі, є його величина 45-50 с.

ЄВЧУК Юрій Юрійович – д-р філософії, старший викладач кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: yurii.y.yevchuk@lpnu.ua

РОЙКО Юрій Ярославович – к.т.н., доцент, директор інституту механічної інженерії та транспорту, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: yurii.y.roiko@lpnu.ua

ЛУБЕНЕЦЬ Юрій Михайлович – аспірант кафедри транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», e-mail: yurii.lubenets.asp.2025@lpnu.ua

YEVCHUK Yurii – PhD, Senior Lecturer, Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, e-mail: yurii.y.yevchuk@lpnu.ua

ROYKO Yuriy – PhD, Associate Professor, Head of the Institute of Mechanical Engineering and Transport, Lviv Polytechnic National University, e-mail: yurii.y.roiko@lpnu.ua

LUBENETS Yurii – postgraduate student, Department of Transport Technologies, Lviv Polytechnic National University, e-mail: yurii.lubenets.asp.2025@lpnu.ua