

# Адаптивний алгоритм керування рухом на регульованому Т-подібному перехресті

Ігор Могила, Марія Дяк, Ігор Шварик

Кафедра транспортних технологій, Національний університет «Львівська політехніка», УКРАЇНА, м. Львів, вул. С. Бандери, 32, E-mail: ihor.mohyla@gmail.com

*Adaptive algorithms for traffic control at signalized intersections are analyzed and it is shown that there is no universal algorithm which is simple in software and practical implementation. The algorithm for control at T-shaped signalized intersection is proposed. The algorithm extends green light if volume is high or switches on the next stage if it is the long queue at the conflict direction. It is determined based on simulating results of signalized intersection functioning in VISSIM software that proposed algorithm is more efficient in comparison with fixed-time control irrespective of distance between detectors at the intersection approach.*

Ключові слова – адаптивний алгоритм керування, регульоване перехрестя, імітаційне моделювання, VISSIM.

## I. Вступ

Адаптивне керування рухом – це концепція, коли за певним алгоритмом прогнозується поведінка транспортного потоку та приймаються відповідні керуючі впливи на основі інформації, що надходить з детекторів, розташованих у різних точках мережі [1-4]. За адаптивного керування відповідно до поточних умов руху коригуються параметри світлофорного циклу. При цьому може виконуватись оптимізація розподілу тривалості фаз, пропускання незавантаженої фази за багатофазного регулювання, викликання фази пішоходами, виключення частини дозвольного сигналу, за якого не відбувається рух тощо. Першочерговим у створенні автоматичних адаптивних систем керування рухом є питання вибору алгоритму (сукупності алгоритмів) керування світлофорною сигналізацією [2].

## II. Аналіз відомих алгоритмів керування

За способом опрацювання інформації, яка надходить в керуючий пристрій від транспортних детекторів, алгоритми керування рухом на ізольованих перехрестях можна поділити на три групи [2, 6]. В алгоритмах першої групи питання про потребу перемикання сигналу вирішується за інформацією про стан перехрестя в даному циклі регулювання. Алгоритми другої групи враховують на кожному кроці історію процесу і здійснюють керування на основі імовірнісного прогнозування ситуацій на наступному кроці. В алгоритмах третьої групи здійснюється випадковий пошук керування, що найкраще відповідає умовам руху.

Алгоритми першої групи по суті є евристичними. До них належать: алгоритм пошуку розриву в транспортному потоці за фіксованих значень керуючих умов; алгоритм пошуку розриву за змінних керуючих умов; алгоритм виклику на себе дозвольного сигналу; алгоритм порівняння концентрації транспорту на напрямку з червоним сигналом; алгоритм вимкнення дозвольного сигналу при зникненні насичення та наявності обмежень на тривалість сигналів; алгоритм керування з відбивними бар'єрами; алгоритм перерозподілу тривалості фаз [2-9]. Серед перелічених алгоритмів в АСКДР найчастіше використовуються алгоритми пошуку розриву та виклику дозвольного сигналу. Інші є менш поширеними або фактично не використовуються. Алгоритми другої та третьої групи через складність реалізації не мають практичного застосування.

Існують також алгоритми керування рухом на регульованих перехрестях, які використовують штучний інтелект (нечітку логіку, нейронні мережі, генетичні алгоритми тощо) і є більш ефективними порівняно з існуючими адаптивними алгоритмами керування. Проте вони, окрім спеціалізованого програмного забезпечення, потребують також відповідних контролерів, які не випускаються серійно і, відповідно, є дорогими. Проте більшість сучасних контролерів, в тому числі встановлених на ВДМ, дають змогу реалізувати адаптивне керування з евристичними алгоритмами, а також мають інтегрування з програмним забезпеченням для запису логіки керування (LISA+, VAP тощо).

Викладене переконує, що не існує універсального адаптивного алгоритму керування, який був би нескладним в програмній та практичній реалізації і забезпечував би ефективне керування рухом на будь-якому перехресті. Це вказує на те, що розроблення чи вдосконалення алгоритмів керування рухом на регульованих перехрестях є актуальним завданням. При цьому потрібно враховувати місцеві умови (геометрично-планувальні параметри перехрестя, умови руху, схема пофазного роз'їзду тощо).

## III. Характеристика запропонованого алгоритму керування

Відомо, що інтенсивність прибуття автомобілів до перехрестя не є постійною. При цьому на перехрестях можуть виникати ситуації, коли зникає насичення на дозвольному сигналі (виникають значні розриви у потоці) або не всі транспортні засоби встигають проїхати перехрестя за перший дозвольний сигнал світлофора. Тому доцільним є застосування алгоритму керування, який базуватиметься на жорсткому циклі, проте вловлюватиме розриви у транспортних потоках, буде подовжувати дозвольний сигнал, якщо інтенсивність значна, або швидше вмикатиме наступну фазу, якщо на конфліктному напрямку є довга черга. Послідовність перемикання фаз при цьому не змінюватиметься.

Розглянемо типове Т-подібне перехрестя (рис. 2, а), рух на якому організовано у 3-х фазах (рис. 2, б). Послідовність перемикавання фаз не змінюється. Для фіксування параметрів транспортних потоків на кожному підході використовуються два детектори: один в перерізі стоп-лінії фіксує розриви у транспортному потоці (A1, B1, C1), а другий, розташований на відстані  $L$  від першого проти руху, – тривалість очікування автомобіля з порядковим номером у черзі  $N$  (A2, B2, C2). При цьому відстань між детекторами може впливати на ефективність роботи алгоритму.

Блок-схему запропонованого алгоритму керування рухом (на прикладі підходу А) наведено на рис. 3. У разі, коли тривалість дозвільного сигналу є меншою за  $t_{min}$  (мінімальна тривалість сигналу за ДСТУ 4092-2002 «Світлофори дорожні» або мінімальний час, потрібний пішоходам для переходу проїзної частини), алгоритм жодних дій не пропонує. Проте у разі, якщо тривалість сигналу є більшою за  $t_{min}$ , але не перевищує  $t_{зел}$  (тривалість дозвільного сигналу за жорсткого регулювання), то алгоритм перевіряє, чи не зникає насичення під час роз'їзду черги. Якщо розрив у транспортному потоці не перевищує  $g_{max}$ , жодних дій не виконується. В іншому разі перевіряється тривалість очікування автомобілів на конфліктних напрямках та вмикається наступна фаза. Якщо тривалість дозвільного сигналу перевищує  $t_{зел}$ , розриви у транспортному потоці є менші ніж  $g_{max}$ , а очікування автомобілів на конфліктному напрямку незначне, то наступна фаза не вмикається. В іншому

разі вмикається наступна фаза. Для підходів В та С алгоритм записується аналогічно.

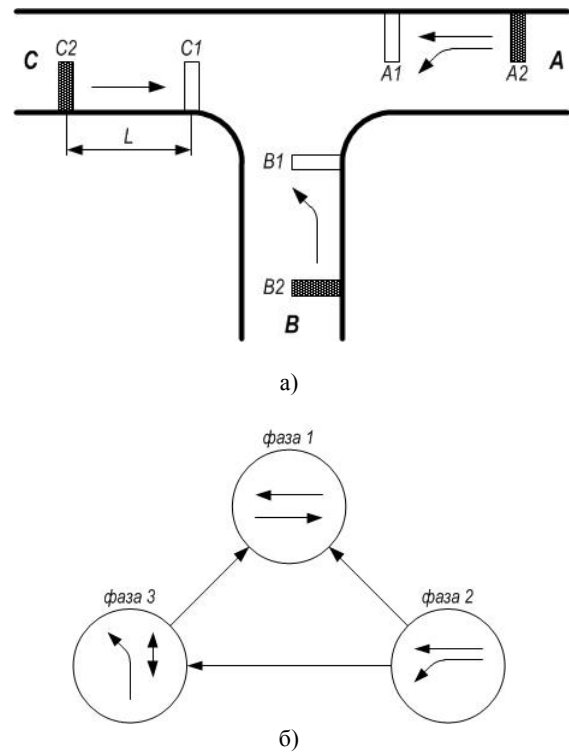


Рис. 2. Схема регульованого Т-подібного перехрестя з детекторами транспорту (а) та пофазний роз'їзд на ньому (б)

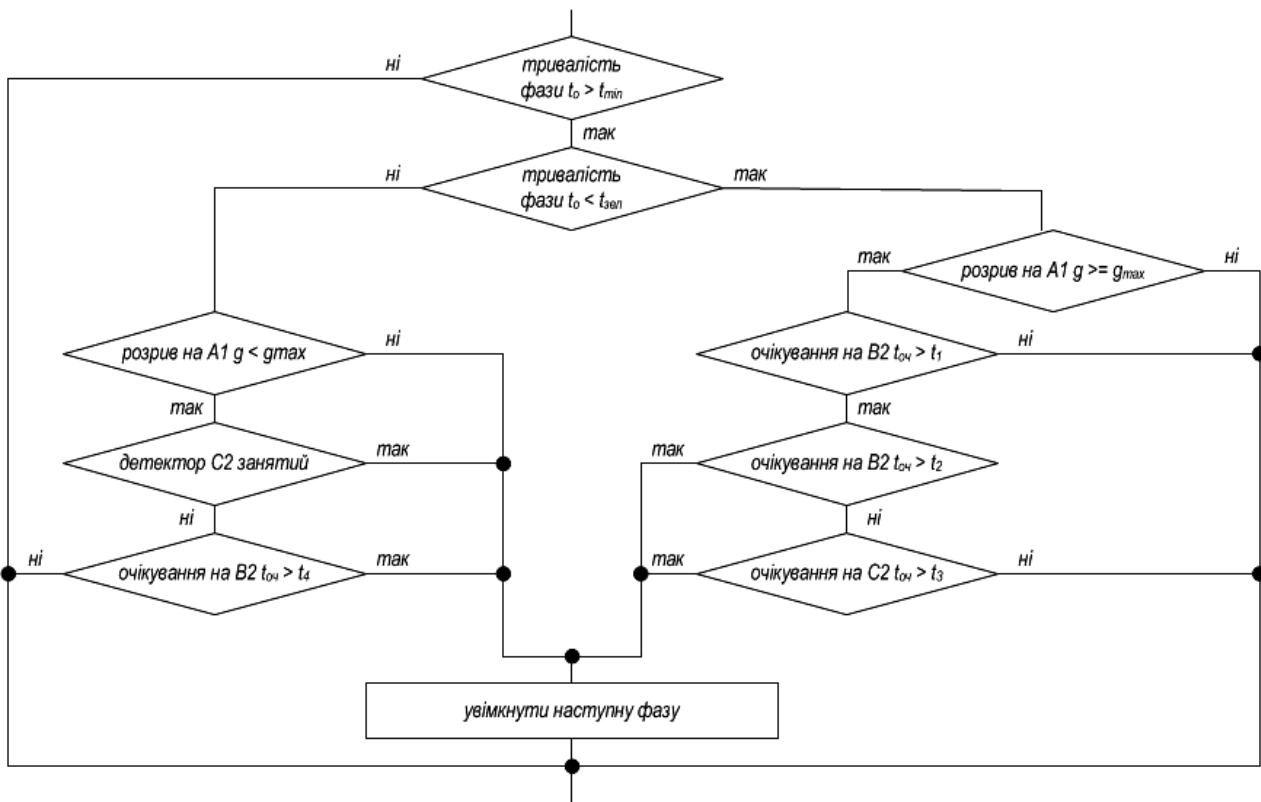


Рис. 3. Фрагмент алгоритму керування дорожнім рухом для підходу А на Т-подібному перехресті

#### IV. Моделювання роботи перехрестя

Для моделювання роботи регульованого перехрестя використано спеціалізований продукт VISSIM, який також має додатковий модуль VAP для запису логіки роботи контролера.

У цьому дослідженні вибрано регульоване Т-подібне перехрестя вул. Личаківська – вул. Пасічна (м. Львів). Транспортні потоки на перехресті є інтенсивними, і їх інтенсивність різко змінюється протягом дня (перехрестя розташоване на околиці, тому зранку переважають потоки до центру міста, ввечері – від центру). Крім цього, в потоках є значна частка вантажних автомобілів та автобусів. Це вказує на потребу оптимізації світлофорного регулювання для зменшення затримок, в тому числі з використанням адаптивного керування.

Регулювання на перехресті є жорстким трипрограмним. Кількість фаз регулювання – 3. У першій фазі рухаються прямі потоки по вул. Личаківській (напрямки 1 та 3), у другій – прямий потік по вул. Личаківській до центру та лівоповоротний на вул. Пасічну (напрямки 1 та 2), у третій – лівоповоротний потік з вул. Пасічної (напрямок 4). Правоповоротні потоки рухаються безконфліктно. Тривалість проміжних тактів становить 3 с.

В імітаційну модель перехрестя вул. Личаківська – вул. Пасічна закладено жорстке регулювання за програмою, яка вмикається у період ранкового піку (тривалість циклу 95 с). Зважаючи на це, було задано інтенсивність транспортних потоків та їх склад, які спостерігаються на перехресті у ранковий період.

#### V. Методика проведення експерименту

Робота перехрестя моделювалась протягом години. Кількість імітацій для усереднення результатів – 5. Результатами моделювання були середні затримки транспортних засобів та середні черги перед стоп-лінією.

В алгоритмі керування використовується інформація з двох детекторів: один розташований на стоп-лінії, інший на деякій відстані перед ним. Щоб визначити відстань між детекторами, за якої затримки та черги будуть мінімальними, проведено дослідження для різних відстаней – 20, 25, 30, 35, 40, 45 та 50 м.

#### VI. Аналіз результатів дослідження

Опрацьовані результати моделювання роботи перехрестя вул. Личаківська – вул. Пасічна наведено на рис. 4-5 (суцільна лінія – адаптивне керування, штрихова – жорстке).

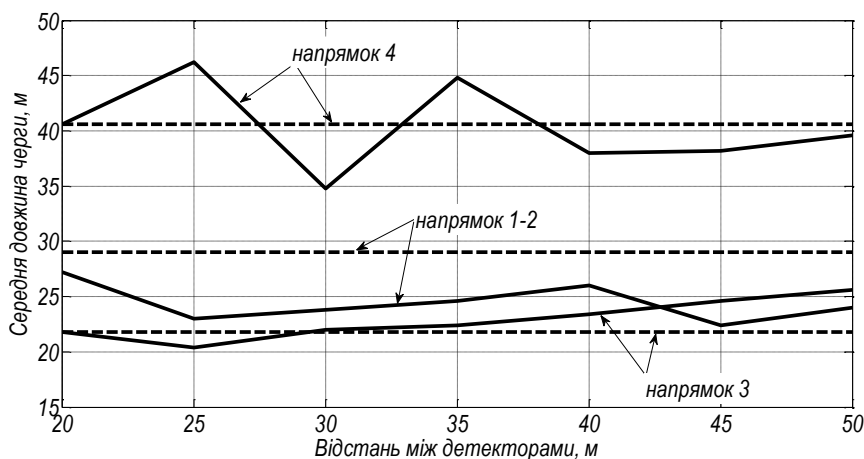


Рис. 4. Вплив відстані між детекторами на середню довжину черги

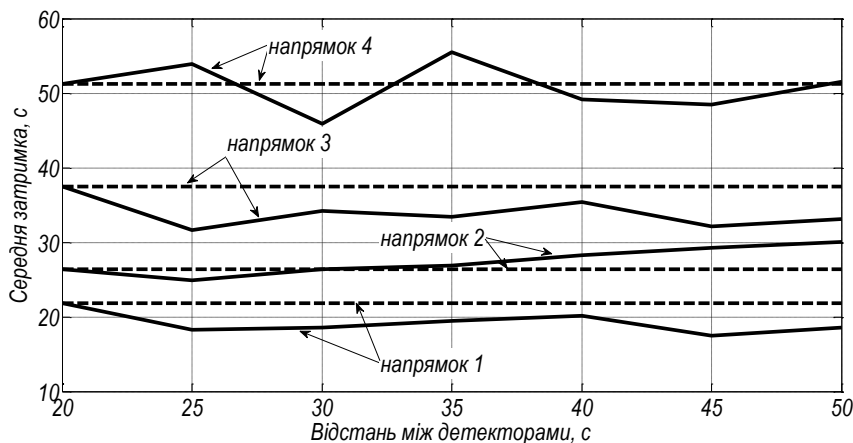


Рис. 5. Вплив відстані між детекторами на середні затримки при проїзду перехрестя

Видно, що застосування запропонованого алгоритму призводить до покращення роботи перехрестя. Зокрема, на найбільш інтенсивному напрямку 1-2 (вул. Личаківська до центру та ліворуч на вул. Пасічну) середні черги порівняно з жорстким керуванням зменшуються 4-7 м (0,6-1,1 легкових автомобілів), на інших напрямках не змінюються. Проте середні затримки зменшуються на всіх напрямках на 2-7 с.

Також видно, що відстань між детекторами практично не впливає на ефективність роботи алгоритму, оскільки зниження затримок і черг спостерігається для всіх відстаней. Тобто, відстань між детекторами не є визначальним параметром під час практичної реалізації адаптивного алгоритму на перехресті. Відстань між детекторами можна приймати будь-яку в діапазоні 20-50 м, що дає змогу суттєво знизити витрати шляхом встановлення, наприклад, відеодетекторів на існуючі опори або індукційних рамок в місцях, де нема комунікацій. За критерієм мінімальних черг за затримок найбільша ефективність досягається за відстані між детекторами 25-30 м та 43-47 м (рис. 4 та 5).

### ВИСНОВОК

Транспортні потоки, які прибувають до перехрестя, не є стаціонарними, в них можуть виникати або значні розриви, або різке збільшення інтенсивності. Ці зміни можна врахувати адаптивним керуванням, проте встановлено, що не існує універсального алгоритму, який би підходив для всіх перехресть. Кожен з них або має межі застосування, або призначений для керування рухом в конкретних умовах. Частина відомих алгоритмів є занадто складними для практичного використання.

Тому запропоновано адаптивний алгоритм керування рухом, який базується на жорсткому циклі, проте вловлює різкі коливання інтенсивності транс-

портних потоків. Використання його, порівняно з жорстким регулюванням, призводить до зменшення затримок та черг перед перехрестям. Крім цього, встановлено, що відстань між детекторами на одному підході практично не впливає на ефективність роботи алгоритму, проте дає змогу здешевити його практичне використання.

### References

- [1] P. Koonce, & L. Rodegerdts, & S. Quayle, Traffic Signal Timing Manual. Washington: Federal Highway Administration. Kittelson & Associates, Inc., 2008.
- [2] N. O. Braylovskyy & B. I. Granovskyy, Upravlenie dvizheniem transportnykh sredstv [Vehicle traffic control]. Moscow, Transport, 1975 (in Russian).
- [3] Yu. A. Vruble, Poteri v dorozhnom dvizhenii [Road traffic losses]. Minsk, BSTU, 2003 (in Russian).
- [4] V. P. Polishchuk, Orhanizatciia ta rehuliuвання dorozhnoho rukhu [Traffic engineering and control]. Kyiv, Znannia Ukrainy, 2012 (in Ukrainian).
- [5] P. Przhybyl, M. Svitek, Telematika na transporte [Transport telematics]. Moscow, MADI, 2003 (in Russian).
- [6] Yu. A. Kremenets, et al., Tekhnicheskiie sredstva orhanizatcii dorozhnoho dvizheniia [Technical facilities of traffic engineering]. Moscow, Akademkniha, 2005 (in Russian).
- [7] V. T. Kapitanov, E. B. Khilazhev, Upravlenie transportnymi potokami v horodakh [Traffic flow control in cities]. Moscow, Transport, 1985 (in Russian).
- [8] H. Inose, T. Hamada, Upravlenie dorozhnym dvizheniem [Road traffic control]. Moscow, Transport, 1983 (in Russian).
- [9] A. A. Havrilov, Modelirovaniie dorozhnoho dvizheniia [Road traffic modeling]. Moscow, Transport, 1980 (in Russian).