

В. П. СЛАВИЧ

кандидат технічних наук, доцент,
доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
ORCID: 0000-0001-7882-4198

М. О. САВЧЕНКО

студент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет

МОДЕЛЬ УПРАВЛІННЯ ПАРАМЕТРАМИ СВІТЛОФОРНОЇ СИГНАЛІЗАЦІЇ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ВСТАНОВЛЕНОЇ ПРОПУСКНОЇ ЗДАТНОСТІ

Існують різноманітні системи управління світлофорною сигналізацією дорожніх перехресть, які базуються на різних принципах та критеріях, за якими відбувається зміна режимів регулювання транспортними потоками. Але сучасними серед них є такі системи, які дозволяють змінювати параметри світлофорного циклу в залежності від певних наперед заданих вхідних умов. Розробка та впровадження таких моделей управління регульованими перехрестями та їх окремих елементів є важливим і актуальним завданням, що дозволяє вирішувати певні проблеми дорожнього руху. В даній роботі запропоновано розробку моделі управління світлофорною сигналізацією міського перехрестя, що має класичний х-образний вигляд із наявними чотирма підходами до нього та на якому встановлено класичну двофазну систему світлофорного регулювання, що здатна змінювати основні параметри режиму роботи світлофору в залежності від встановленого критерію управління – наперед заданої фіксованої кількості автомобілів, що здатна проїхати через перехрестя за час горіння дозволеного сигналу світлофора. Така система буде особливо важлива для таких перехресть, для яких необхідно встановити обмежену пропускну здатність для одного підходу або для усіх з наявних до нього підходів, причому зазначене обмеження може бути як верхнім, так і нижнім в залежності від необхідних змін. Таке штучне обмеження дозволить вирішити важливу проблему малої пропускну здатності перехрестя, якщо при наявних класичних параметрах світлофорного регулювання велика частина транспортних засобів не встигає проїжджати перехрестя за час дозволеного сигналу, тоді для її збільшення доцільним буде застосування запропонованої в роботі системи управління.

Ключові слова: транспортний потік, дорожній рух, перехрестя, система управління транспортним потоком, світлофорна сигналізація, пропуску здатність перехрестя, транспортна мережа.

V. P. SLAVYCH

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor,
Associate Professor at the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University
ORCID: 0000-0001-7882-4198

M. O. SAVCHENKO

Student at the Department of Transport Systems and Technical Service
Kherson National Technical University

MODEL OF CONTROL OF THE PARAMETERS OF THE LIGHT FORCE SIGNALING DEPENDING ON THE SET PERFORMANCE CAPACITY

There are various traffic signal control systems of road intersections, which are based on different principles and criteria, according to which the modes of regulation of traffic flows are changed. But modern among them are such systems that allow you to change the parameters of the traffic light cycle depending on certain predetermined input conditions. The development and implementation of such management models of regulated intersections and their separate elements is an important and urgent task that allows solving certain traffic problems. This paper proposes the development of a traffic light signaling control model for an urban intersection, which has a classic x-shaped appearance with four approaches to it and on which a classic two-phase traffic light regulation system is installed, which is able to change the main parameters of the traffic light operation mode depending on the established control criterion – a predetermined fixed number of cars that can pass through the intersection during the time the permitted traffic light signal is lit. Such a system will be especially important for such intersections, for which it is necessary to establish a limited carrying capacity for one approach or for all of the available approaches to it, and the specified limit can be both upper and lower depending on the required changes. Such an artificial limitation will allow to solve the important problem of low capacity of the intersection, if with the available classical parameters of the traffic light regulation, most of the vehicles do not

have time to pass the intersection during the permitted signal time, then to increase it, it will be appropriate to use the control system proposed in the work.

Key words: traffic flow, road traffic, intersection, traffic flow control system, traffic signal, intersection capacity, transport network.

Постановка проблеми

Серед систем управління світлофорною сигналізацією дорожніх перехресть сучасними є такі системи, які дозволяють змінювати параметри світлофорного циклу в залежності від певних наперед заданих вхідних умов. Розробка та впровадження таких моделей управління регульованими перехрестями та їх окремих елементів є важливим і актуальним завданням, що дозволяє вирішувати певні проблеми дорожнього руху, зокрема пов'язаних із пропускнуою здатністю перехрестя.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

В наш час існують різні методи інтелектуального управління світлофорною сигналізацією. Аналіз робіт закордонних та вітчизняних дослідників, присвячених даній проблемі, показав, що в різних країнах застосовуються різні прийоми та методи регулювання транспортного руху на перехресті [1-6].

Проблеми оптимізації режимів світлофорного регулювання розглядали вітчизняні та іноземні науковці, зокрема В.П. Поліщук, В.І. Єресов, О.П. Дзюба, Ю.О. Кременець, М.П. Печерський, Д.С. Самойлов, М.С. Фішельсон, Б.М. Четверухін, В.Т. Капітанов, Є.О. Рейцен, Ф. Вебстер, Х. Іносе, Т. Хамада [1-14] та ін.

Формулювання мети досліджень

Метою роботи є розробка моделі управління світлофорною сигналізацією, яка здатна змінювати параметри режиму роботи світлофору в залежності від наступного критерію: встановленої наперед фіксованої кількості автомобілів, що здатна проїхати за час горіння зеленого сигналу світлофору.

Викладення основного матеріалу досліджень

Розглянемо класичне X образне перехрестя, застосуємо до нього дискретну клітинкову модель, тоді перехрестя буде представляти собою сукупність клітинок по яким рухаються автомобілі, причому кожна клітинка буде мати два стани, які відповідно будуть позначатися пустою клітинкою, якщо в ній автомобільне не знаходиться, та зафарбованою клітинкою, якщо автомобіль в ній знаходиться (рис. 1).

Перехрестя має чотири підходи, в кожному з них прибувають автомобілі з різною частотою. Перехрестя є регульованим, на ньому встановлено світлофорну сигналізацію, яка буде працювати в класичному двофазному режимі.

Вхідні параметри даної моделі представлено в табл. 1.

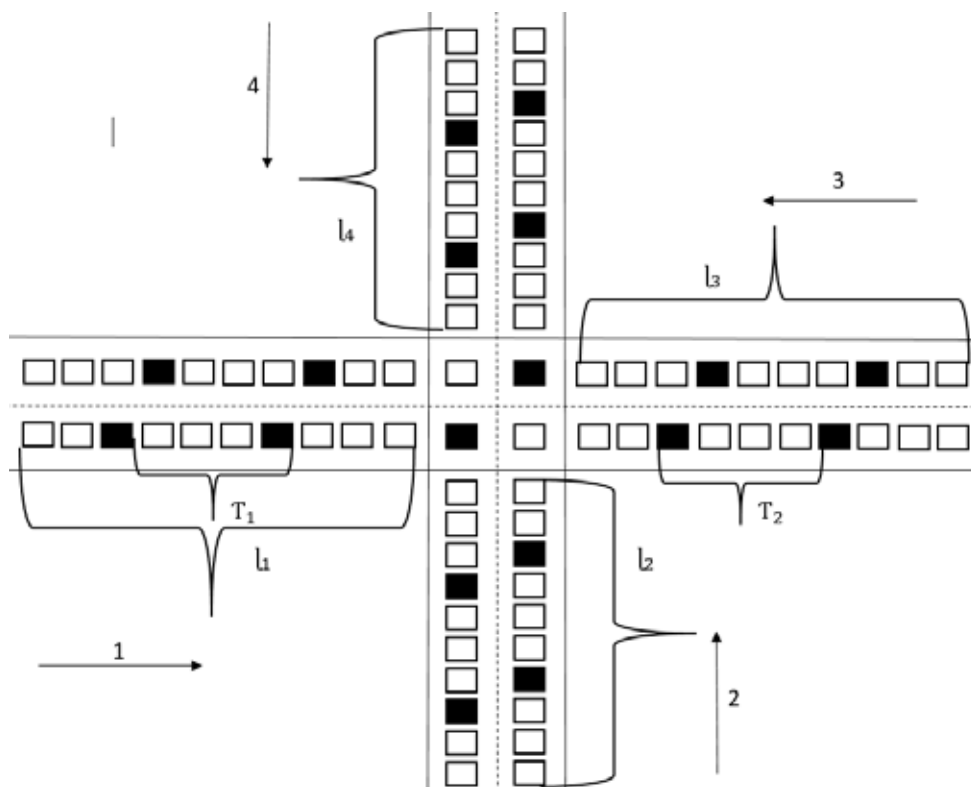


Рис. 1. Дискретна модель перехрестя

Таблиця 1

Вхідні параметри моделі

Позначення	Опис	Одиниця виміру
Δt	Час за який в систему прибуває один новий автомобіль	Секунди
T_1	Інтервали між машинами відповідно для кожного з підходів	Секунди
T_2	Інтервали між машинами відповідно для кожного з підходів	Секунди
T_3	Інтервали між машинами відповідно для кожного з підходів	Секунди
T_4	Інтервали між машинами відповідно для кожного з підходів	Секунди
l_1	Кількість клітинок від початку мережі до центру перехрестя для кожного з підходів	Одиниць
l_2	Кількість клітинок від початку мережі до центру перехрестя для кожного з підходів	Одиниць
l_3	Кількість клітинок від початку мережі до центру перехрестя для кожного з підходів	Одиниць
l_4	Кількість клітинок від початку мережі до центру перехрестя для кожного з підходів	Одиниць

Визначимо тривалість горіння зеленого сигналу світлофора в залежності від параметру k – кількості автомобілів, що встигає проїхати на зелений сигнал, де k буде узагальненим для всіх чотирьох підходів.

Для виведення формули побудуємо схему руху машин.

Зафіксуємо з рис. 1 перехрестя тільки ту його частину, що відповідає за перший підхід.

Схема буде представляти собою часові зміни положення автомобілів з течією часу. Інтервал часу між рядками дорівнює Δt , тобто часу за який автомобілі зміщуються на одну клітинку.

В початковий момент часу перший автомобіль з'являється в крайній лівій клітинці підходу після чого з кожним рядком відбувається їх переміщення та поява нових автомобілів.

Згідно цієї схеми виводимо формули.

Для виведення тривалості зеленої фази для першого підходу спочатку розраховуємо це значення для першого автомобіля, тобто $T_{31}(1)$, воно буде дорівнювати довжині підходу плюс одна клітинка, що розташована яку автомобіль має проїхати перетнувши стоп лінію перехрестя:

$T_{31}(1) = l_1 + 1$, далі розрахуємо значення для двох автомобілів.

Очевидно, що воно буде більше за попереднє значення $T_{31}(1)$ на величину T_1 .

Далі розмірковуючи таким чином видно, що кожне наступне значення буде відрізнятися від попереднього на величину відстані між автомобілями тобто, T_1 тоді для довільного значення k формула буде мати вигляд:

$$T_{31}(k) = (l_1 + 1) + (k - 1) \cdot T_1 \tag{1}$$

Аналогічно розмірковуючи виводимо такі самі формули для 2,3,4 напрямку, вони будуть мати вигляд:

$$T_{32}(k) = (l_2 + 1) + (k - 1) \cdot T_2$$

$$T_{33}(k) = (l_3 + 1) + (k - 1) \cdot T_3$$

$$T_{34}(k) = (l_4 + 1) + (k - 1) \cdot T_4$$

Тоді для визначення остаточної тривалості зеленої фази вибираємо максимуми з напрямків 1, 3 та 2, 4 тоді цикл світлофору буде мати вигляд:

$$T_3 = \begin{cases} T_{31,3} = \max [T_{31}(k); T_{33}(k)] \\ T_{32,4} = \max [T_{32}(k); T_{34}(k)] \end{cases} \tag{2}$$

T_3 для 2, 4 підходів буде відповідати за тривалість червоної фази.

Тоді остаточні значення зеленої та червоної фази знаходяться відповідно із виразів:

$$T_3 = T_{31,3}$$

$$T_4 = T_{32,4}$$

Отже, повний світлофорний цикл визначається наступним чином:

$$T_y(k) = T_3 + T_4 = T_{31,3} + T_{32,4} \tag{3}$$

Тоді тривалість світлофорного циклу за умови, що за час горіння зеленого сигналу у будь-якому з 4 підходів буде проїжджати не менше k автомобілів, буде визначатись наступним виразом:

$$T_y(k) = \max[(L_1 + 1) + (k - 1) \cdot T_1; (L_3 + 1) + (k - 1) \cdot T_3] + \\ + \max[(L_2 + 1) + (k - 1) \cdot T_2; (L_4 + 1) + (k - 1) \cdot T_4].$$

Отримана формула визначає тривалість світлофорного циклу за умови, що за час горіння зелених сигналів у будь-якому з 4-ох підходів буде проїжджати не менше k автомобілів.

Висновки

Таким чином, в роботі запропоновано модель управління світлофорною сигналізацією, яка здатна змінювати параметри режиму роботи світлофору в залежності від встановленої наперед фіксованої кількості автомобілів, що здатна проїхати за час горіння зеленого сигналу світлофора з будь-якого з підходів. Це особливо важливо для таких перехресть, для яких необхідно встановити обмежену пропускну здатність для одного або для всіх з наявних до нього підходів, причому таке обмеження можливо як зверху так, і знизу.

Список використаної літератури

1. Гаврилов Е. В., Дмитриченко Е. В., Доля. В. К. Організація дорожнього руху. Київ : Знання України, 2007. 452 с.
2. Єресов В. І., Рябець Я. В. Конфліктні ситуації та безпека руху пішоходів. *Безпека дорожнього руху України. Науково-технічний вісник*. 2001. № 2(10). С. 24–30.
3. Левковець П. Р., Сергійчук І. М., Сергійчук А. І. Удосконалення керування рухом автотранспортних засобів. *Вісник Національного транспортного університету*. 2006. № 11. С. 236–239.
4. Математичні методи оптимізації транспортних процесів: навч. посіб. / О. В. Павленко та ін. Харків : Видавництво ХНАДУ, 2008. 204 с.
5. Організація та регулювання дорожнього руху / В. П. Поліщук та ін. Київ, 2014. 467 с.
6. Славич В. П. Модель визначення довжини черги транспортних засобів при заданих параметрах світлофорного регулювання. *Проблеми інформаційних технологій*. 2014. № 02(016). С. 122–124.
7. Славич В. П., Дербеденев А. В. Модель функціонування транспортного затору та визначення часу його подолання. *Вісник ХНТУ*. 2019. № 2(69). С. 169–173.
8. Славич В. П., Лівандовський В. С. Модель системи управління світлофорною пішохідною сигналізацією. *Комунальне господарство міст*. 2021. Т. 6, № 166. С. 227–231.
9. Farzaneh M., Rakha H. Modeling traffic dispersion. Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University, 2005. 139 p.
10. Sacks G., Rayner M., Swinburn B. Impact of front-of-pack 'traffic-light' nutrition labelling on consumer food purchases in the UK. *Health promotion international*. 2009. Vol. 24, no 4. P. 344–352.
11. Tubaishat M., Shang Y., Shi H. Adaptive traffic light control with wireless sensor networks. *IEEE Consumer Communications and Networking Conference*. 2007. P. 187–191.
12. Zabyshnyi Y.O., Semchuk Y.M., Melnyk V.M., Dolishniy B.V. Influence of exhaust for air condition in cities. *The scientific heritage*. 2016, Vol. 1, no 3(3). P. 28-34.
13. Reconciled platoon accommodation at traffic signals / J. Wasson et al. West Lafayette : Indiana Department of Transportation and Purdue University. 1999. 200 p.
14. Yu. L. Real-time calibration of platoon dispersion model to optimize the coordinated traffic signal timing in atms networks. Texas : Texas Southern University, 1999. 51 p.

References

1. Gavrilov E. V., Dmytrychenko E. V., Dolya. V. K. (2007) Traffic organization. Kyiv: Knowledge of Ukraine, p. 452.
2. Yeresov V. I., Ryabets Y. V. (2001) Conflict situations and pedestrian safety. Road traffic safety in Ukraine. Scientific and technical bulletin. No. 2(10). pp. 24–30.
3. Levkovets P.R., Serhiychuk I.M., Serhiichuk A.I. (2006) Improvement of vehicle traffic control. Bulletin of the National Transport University. No. 11. pp. 236–239.
4. Pavlenko O. V. (2008) Mathematical methods of optimizing transport processes: teaching. manual / O. V. Pavlenko and others. Kharkiv: Khnadu Publishing House. p. 204.
5. Polishchuk V. P. (2014) Organization and regulation of road traffic / V. P. Polishchuk and others. Kyiv. p. 467.
6. Slavych V. P. (2014) Model for determining the length of a queue of vehicles with given traffic light regulation parameters. Problems of information technologies. No. 02(016). pp. 122–124.
7. Slavych V. P., Derbedenev A. V. (2019) Model of traffic jam functioning and determination of time to overcome it. KhNTU Bulletin. No. 2(69). pp. 169–173.
8. Slavych V. P., Livandovskiy V. S. (2021) Model of the traffic light pedestrian signaling control system. Communal management of cities. Vol. 6, No. 166. pp. 227–231.

9. Farzaneh M., Rakha H. (2005) Modeling traffic dispersion. Blacksburg : Virginia Polytechnic Institute and State University. p. 139.
10. Sacks G., Rayner M., Swinburn B. (2009) Impact of front-of-pack ‘traffic-light’ nutrition labelling on consumer food purchases in the UK. *Health promotion international*. Vol. 24, no 4. pp. 344–352.
11. Tubaishat M., Shang Y., Shi H. (2007) Adaptive traffic light control with wireless sensor networks. *IEEE Consumer Communications and Networking Conference*. pp. 187–191.
12. Zabyshnyi Y. O., Semchuk Y. M., Melnyk V. M., Dolishniy B. V. (2016) Influence of exhaust for air condition in cities. *The scientific heritage*. Vol. 1, no 3(3). pp. 28–34.
13. Wasson J. (1999) Reconciled platoon accommodation at traffic signals / J. Wasson et al. West Lafayette : Indiana Department of Transportation and Purdue University. p. 200.
14. Yu. L. (1999) Real-time calibration of platoon dispersion model to optimize the coordinated traffic signal timing in atms networks. Texas : Texas Southern University. p. 51.