УДК 656.02 **DOI 10.33042/2522-1809-2021-6-166-227-231**

В.П. Славич[1], В.С. Лівандовський[2]

[1]*Херсонський національний технічний університет, Україна*
[2]*Херсонський фізико-технічний ліцей Херсонської міської ради, Україна*

МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ СВІТЛОФОРНОЮ ПІШОХІДНОЮ СИГНАЛІЗАЦІЄЮ

Роботу присвячено розробці моделі інтелектуальної системи управління світлофорної пішохідної сигналізації, що здатна працювати в двох різних режимах, перший з яких використовується у випадках малоінтенсивних пішохідних потоків, другий – для високоінтенсивних. В залежності від отриманих поточних значень інтенсивностей система встановлює той чи інший режим.

Ключові слова: *модель, світлофор, система управління, пішохідний потік, автомобільний потік.*

Постановка проблеми

Дослідження взаємовпливу пішохідних та автомобільних потоків є важливою задачею, оскільки обидва є рівноправними учасниками руху із власними пріоритетами. Для управління кожним з цих потоків використовуються власні світлофорні сигналізації.

Класична пішохідна світлофорна сигналізація має основний недолік, який полягає в тому, що він працює в так званому «жорсткому» режимі в незалежності від кількості людей, що очікують в даній системі. І тому постійно спостерігаються випадки неефективної його роботи, які умовно можна поділити на два види: перший випадок, коли людей в системі знаходиться достатньо мало і тому немає необхідності в повній тривалості горіння зеленого сигналу для пішоходів, і другий протилежний за змістом – коли людей накопичується велика кількість і тривалості горіння зеленого сигналу не вистачає для того, щоб усі встигли комфортно перейти за даний такт світлофору.

Тому актуальною є задача розробки такої системи управління пішохідними потоками, яка б в залежності від реальної кількості людей видавала б необхідну тривалість горіння відповідних фаз регулювання, але головне, щоб це гармонічно поєднувалось з потребами в русі конфліктних автомобільних потоків.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Основні принципи, моделі та методи організації дорожнього руху і систем управління транспортними і пішохідними потоками були розглянуті в працях багатьох вчених: В.П. Поліщука, В.Е Бакутіса, П.Г. Бугі, М.Б. Афанасьєва, Г.І. Клинковштейна, Ю.А. Кременця, Ю.А. Ставничого, Ю.Д. Шелкова, А.Г. Романова, Р.М. Піір, В.В. Сільянова, В.В. Шештокаса та багатьох інших. [1–6, 8]. У цих роботах викладені основні положення теорії руху транспортних і пішохідних потоків.

Формулювання мети дослідження

Метою роботи є удосконалення запропонованої моделі управління світлофорною сигналізацією пішохідними потоками, що здатна працювати в двох режимах, один з яких є «жорсткий», інший «гнучкий». Перший режим доцільно використовувати як класичний, або черговий, у випадках тривіальних ситуацій в системі, коли інтенсивність пішохідного потоку знаходиться в середньому діапазоні. Другий режим дозволяє встановляти більш або менш тривалі значення зеленого такту в залежності від збільшення або зменшення кількості людей. Крім того цей режим працює за викликом, тобто вмикається шляхом натиску відповідної кнопки за потребою пішоходів. Що в свою чергу у випадках повної відсутності пішоходів в системі в певні інтервали часу сприяє неперервному руху автомобільного потоку, що позитивно позначається на транспортній мережі в цілому.

Виклад основного матеріалу дослідження

Як було зазначено в меті роботи система управління пішохідною світлофорною сигналізацією працює в двох спеціальних режимах, кожному з яких необхідні вхідні дані про кількість пішоходів в поточний час в системі, або вхідними даними про інтенсивність пішохідного потоку на досліджуваній ділянці.

Систему управління в загальному випадку можна представити у вигляді розгалуженої структури, що схематично відображено на рис.1.

© Славич В.П., Лівандовський В.С.

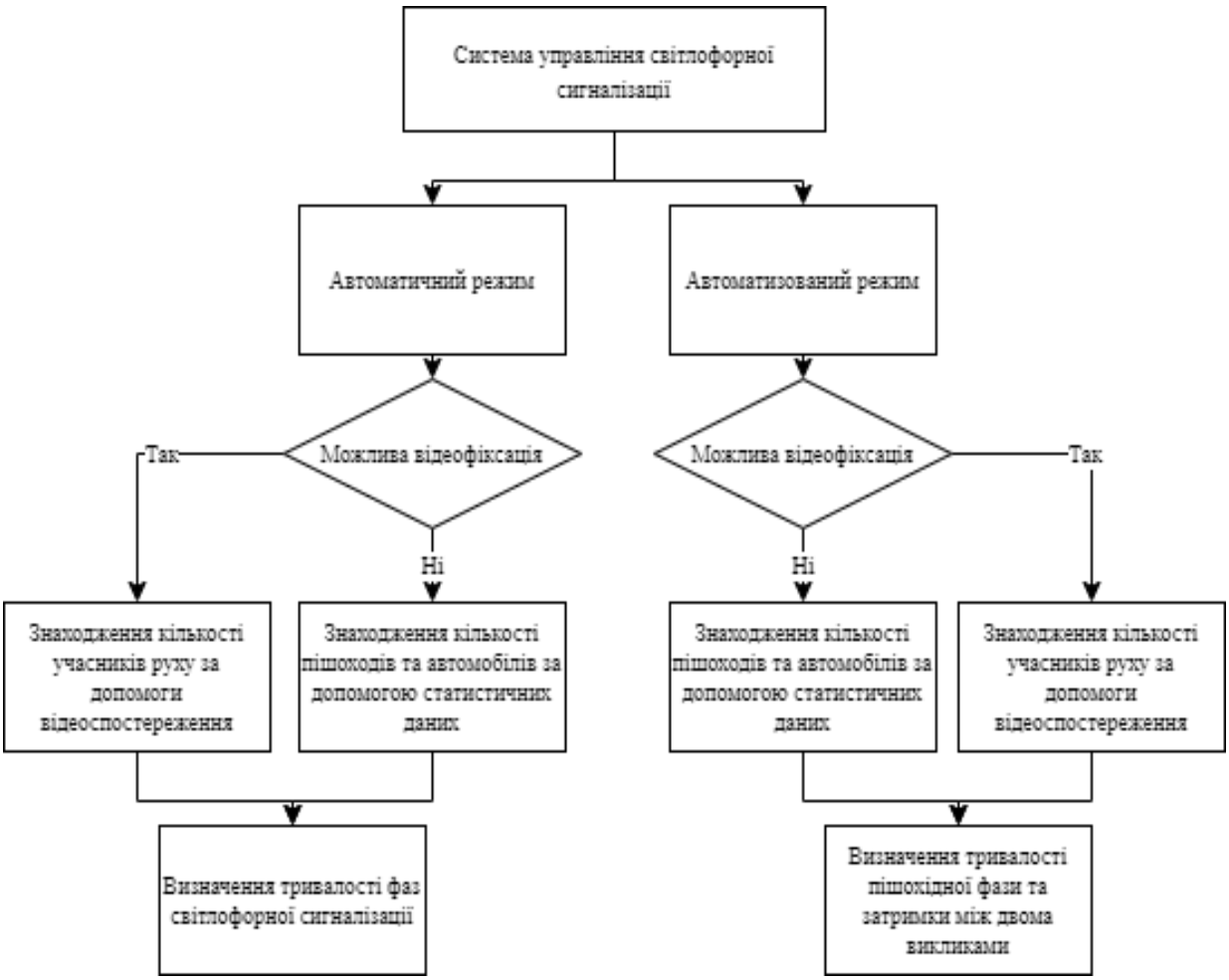

Рис.1. Структура системи управління пішохідною світлофорною сигналізацією

Розглянемо модель роботи світлофорної сигналізації та переключення режимів її роботи.

Графічне зображення транспортної мережі наведено на рис. 2.

Для визначення кількості пішоходів найбільш правильним варіантом будо б використання відеокамер фіксації.

Але даний спосіб не завжди можливий внаслідок різноманітних причин (економічних, технологічних).

Тому для випадків систем без можливої наявності фіксації пішохідного потоку визначити кількість людей будемо за допомогою статистичних спостережень та відповідного статичного розподілу.

Режими роботи системи управління світлофорної сигналізації позначимо через J_1 та J_2, де:

J_1 – режим, що відповідає класичному ритму роботи;

J_2, – режим, що відповідає ритму роботі за вимогою.

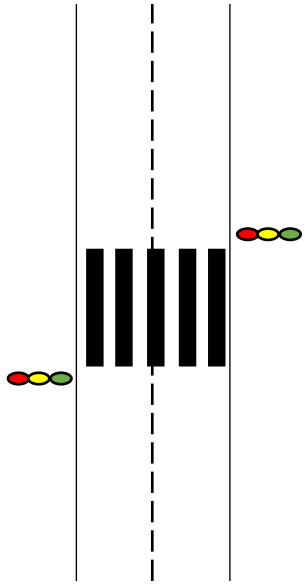

Рис. 2. Графічне зображення транспортної мережі

Введемо функції, що визначають інтенсивності потоків в залежності від значення поточного часу t.

Позначимо їх через:

$$N_m^x(t),\ \ N_a^x(t).$$

Тоді вибір режиму управління світлофорною сигналізацією можна описати за допомогою наступних залежностей:

$$\begin{cases} N_m^x(t) = n_{m_i}^x \\ N_a^x(t) = n_{a_i}^x \\ x = \overline{1,2} \end{cases} \qquad (1)$$

$$\begin{cases} J(t) = J_z \\ z = 2 - i \ mod\ 2 \end{cases}$$

Основні принципи побудови зазначеної моделі системи управління світлофорною сигналізацією та опис її першого автоматичного режиму було наведено в попередній роботі [9].

Для удосконалення отриманих розробок і більшого наближення теоретичної моделі до реальної пропонується ускладнити другий автоматизований режим за вимогою роботи системи шляхом введення додаткових параметрів моделі, що відповідно впливають на вихідні значення тривалостей горіння.

Введемо в автоматизованому режимі регулювання параметр, що відповідає за тривалість затримки між двома послідовними викликами пішохідної фази та тривалість самої пішохідної фази.

Необхідність введення такого параметру зумовлюється тим, що інтервал часу між сусідніми натисканнями кнопки виклику обов'язково має підлягати регулюванню.

Випадки частого натискання неодмінно можуть призводити до накопичення транспортних засобів, що очікують на заборонений сигнал світлофору та не встигають проїхати за виділений їм час горіння зеленого такту.

Даний параметр залежить від кількостей або інтенсивностей пішохідних та транспортних потоків.

Тоді тривалість затримки між двома викликами визначається за допомогою виразу:

$$p = \frac{\left(k_{a_i}^1 + k_{a_i}^2 - k_{m_i}^1 - k_{m_i}^2\right) + \frac{S}{V_a} r - \left[\frac{k_{a_i}^x - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}}\right]}{\left(\frac{n_m^1 + n_m^2 - n_a^1 - n_a^2}{3600} + r\right)} \qquad (2)$$

$$T_{d_i} = \begin{cases} p, \text{ якщо } p > 10 \\ 10, \text{ якщо } p \le 10 \end{cases}$$

Внаслідок введення нового параметру необхідно вивести залежності для підрахунку кількості пішоходів та транспорту після повторного виклику пішохідної фази.

На першому етапі розглянемо випадок, коли дорога має по одній смузі в кожному напрямку руху, тобто відповідна загальна кількість смуг складає дві одиниці.

Тоді залежності кількості пішоходів та транспорту після повторного виклику пішохідної фази в даному випадку будуть визначатись наступними залежностями, що представляють собою сукупність систем одночасного розрахунку параметрів системи управління світлофорною сигналізацією:

$$\left[\begin{array}{l} \begin{cases} F = \dfrac{3600}{n_m^1} \\ k_{m_{i+1}}^1 = 1 \\ k_{m_{i+1}}^2 = 0 \\ n_m^1 \ge n_m^2 \end{cases} \\ \begin{cases} F = \dfrac{3600}{n_m^2} \\ k_{m_{i+1}}^1 = 0 \\ k_{m_{i+1}}^2 = 1 \\ n_m^1 < n_m^2 \end{cases} \end{array}\right. \qquad (3)$$

$$p = \frac{\left(k_{a_i}^1 + k_{a_i}^2 - k_{m_i}^1 - k_{m_i}^2\right) + \frac{2S}{V_a}}{\left(\frac{n_m^1 + n_m^2 - n_a^1 - n_a^2}{3600} + 2\right)}$$

$$\begin{cases} T_{d_i} = p, \text{ якщо } p > 10 \\ T_{d_i} = 10, \text{ якщо } p \le 10 \end{cases}$$

$$\begin{cases} T_{d_i} \ge F \\ k_{m_{i+1}}^x = k_{m_i}^x + \left[\dfrac{n_m^x}{3600} \cdot T_{d_i}\right], x = \overline{1,2} \\ k_{a_{i+1}}^x = \left(k_{a_i}^1 + k_{a_i}^2\right) + \\ + \left(\dfrac{n_a^1 + n_a^2}{3600} - 2\right) \cdot T_{a_i} + \dfrac{2S}{V_a} \end{cases}$$

На наступному етапі розглянемо більш загальний випадок, коли кількість смуг руху

автомобілів на досліджуваній ділянці в одному напрямку більше одної.

В цьому разі необхідно ввести додатковий параметр, що відповідає за зазначену кількість смуг.

Позначимо через r – кількість смуг руху в обох напрямках.

Тоді кількості пішоходів та транспорту після повторного виклику пішохідної фази у випадку багато смугової в обох напрямках руху дороги будуть визначатись наступними залежностями, що представляють собою сукупність систем одночасного розрахунку параметрів системи управління світлофорною сигналізацією:

$$\left[\begin{array}{l}\begin{cases} F = \dfrac{3600}{n_m^1} \\ k_{m_{i+1}}^1 = 1 \\ k_{m_{i+1}}^2 = 0 \\ n_m^1 \geq n_m^2 \end{cases} \\ \begin{cases} F = \dfrac{3600}{n_m^2} \\ k_{m_{i+1}}^1 = 0 \\ k_{m_{i+1}}^2 = 1 \\ n_m^1 < n_m^2 \end{cases} \end{array}\right. \qquad (4)$$

$$\begin{cases} T_{d_i} \geq F \\ k_{m_{i+1}}^x = k_{m_i}^x + \left[\dfrac{n_m^x}{3600} \cdot T_{d_i}\right], \; x = \overline{1, 2} \\ k_{a_{i+1}}^x = \left(k_{a_i}^1 + k_{a_i}^2\right) + \left(\dfrac{n_a^1 + n_a^2}{3600} - r\right) \cdot T_{a_i} + \\ + \dfrac{S}{V_a} r - \dfrac{r}{2} \cdot \left(1 - \left(\dfrac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r}\right)\right) \end{cases}$$

Висновки

Таким чином, в даній роботі було запропоновано удосконалення моделі системи управління світлофорною сигналізацією пішохідним потоком. Дана система здатна працювати в двох окремих режимах, перший з яких відповідає класичному «жорсткому» ритму роботи і доцільний використовуватись у середньо інтенсивних потоках.

Другий режим «гнучкий» представляє собою такий ритм, при якому включення зеленого світла для пішоходів відбувається за потребою.

Переключення між режимами здійснюється на підставі отриманих вхідних значень інтенсивності пішохідного потоку, які можуть збиратись двома способами – або за допомогою відеокамер фіксування кількостей людей, або у більш простому випадку шляхом статистичних збору інформації.

Для другого автоматизованого режиму запропоновано удосконалення, яке полягає у введенні додаткових параметрів моделі, що відповідають за тривалість затримки між двома послідовними викликами пішохідної фази та відповідно тривалості самої пішохідної фази.

Регулювання зазначених параметрів дозволить уникати можливої ситуації накопичення автомобільного транспорту в мережі при очікуванні на червоний сигнал та сприяє рівномірному регулюванню обох потоків – транспортного та пішохідного.

Література

1. *Іносе Х. Управління дорожнім рухом / Іносе Х., Хамада Т. – М. : Транспорт, 1983. – 248 с.*
2. *Капітанов В.Т. Управління транспортними потоками у містах / Капітанов В.Т., Хілажов Є.В. – М. : Транспорт, 1985. – 94 с.*
3. *Клінковштейн Г.І. Організація дорожнього руху : підруч. для автомобільно-дорожніх вузів та факультетів. – М. : Транспорт, 2001. – 192 с.*
4. *Коноплянко В.І Організація та безпека дорожнього руху. – М. : Транспорт, 1991. – 183 с.*
5. *Петров В.В. Удосконалення організації руху на міста // Вісник Іркутського Державного Технічного Університету. – 2009. – Вип. 38. – С. 45–48.*
6. *Преображенський А.П. Проблеми моделювання руху пішохідних потоків // Моделювання, оптимізація та інформаційні технології. – 2015. – Вип. 10.*
7. *Славич В.П. Модель визначення довжини черги транспортних засобів при заданих параметрах світлофорного регулювання // Проблеми інформаційних технологій. – 2014. – № 02(016). – С.122–124.*
8. *Скульбеденко Н.А. Методи розрахунку затримок пішоходів на регульованих пішохідних переходах // Вісник Іркутського Державного Технічного Університету. – 2009. – Вип. 39(3). – С. 76–79.*
9. *Славич В.П. Модель системи управління пішохідним потоком міста / Славич В.П., Лівандовський В.С. // Вісник ХНТУ. – 2021. – № 2(77). – С. 47–51. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.2.5*
10. *Славич В.П. Система оптимізації руху пішохідних потоків / Славич В.П., Лівандовський В.С. // III Міжнар. наук.-практ. конф. «Модернізація економіки: сучасні реалії, прогнозні сценарії та перспективи розвитку», Херсон, 2021 р. – С. 178–181.*

References

1. Inose, H., Hamada, T. (1983). *Road traffic management*. Transport, Moscow. [in Russian]
2. Kapitanov, V.T., Khilazhov, E.V. (1985). *Management of traffic flows near the places*. Transport, Moscow. [in Russian]
3. Klinkovshtein, G.I. (2001). *Organization of road traffic*.

Manual for Automotive and Road Universities and Faculties. Transport, Moscow. [in Russian]
4. Konoplyanko, V.I. (1991). *Organization and safety of road transport*. Transport, Moscow. [in Russian]
5. Petrov, V.V. (2009). Adequate organization of the organization to the place. *Bulletin of the Irkutsk Sovereign Technical University*, 38, 45–48. [in Russian]
6. Preobrazhenskiy, A.P. (2015). Problems of modeling the ruin of pishokhidnykh streams. *Modeling, optimization and information technology*, 10. [in Russian]
7. Slavich, V.P. (2014). Model of the value of the transport system for the given parameters of light regulation. *Problems of information technologies*, 02(016), 122–124. [in Ukrainian]
8. Skulbedenko, N.A. (2009). Methods for picking up pishohods on regular pishokhid transitions. *Bulletin of the Irkutsk Sovereign Technical University*, 39(3), 76–79. [in Russian]
9. Slavich, V.P., Livandovskiy, V.S. (2021). A model of the system for managing the small flow of the city. *Visnyk of Kherson National Technical University*, 2(77), 47–51. DOI: https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.2.5
10. Slavich, V.P., Livandovskiy, V.S. (2021). System for optimizing the flow of economic flows. *III International scientific-practical conference "Modernization of the economy: current realities, forecast scenarios and prospects for development"*. Kherson, 178–181.

Рецензент: д-р техн. наук, професор Ю.Г. Розов, Херсонський національний технічний університет, Україна.

Автор: СЛАВИЧ В'ячеслав Петрович
кандидат технічних наук, доцент, доцент кафедри транспортних систем і технічного сервісу
Херсонський національний технічний університет
E-mail – vslavich@ukr.net
ID ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7882-4198

Автор: ЛІВАНДОВСЬКИЙ Владислав Сергійович
учень Херсонського фізико-технічного ліцею
Херсонської міської ради
E-mail – livandovskyi.vladislad@gmail.com

MODEL OF INTELLECTUAL PEDESTRIAN FLOW MANAGEMENT SYSTEM

V. Slavich[1], V. Livandovskyi[2]
[1]Kherson National Technical University, Ukraine
[2]Kherson Physical and Technical Lyceum of Kherson City Council, Ukraine

This scientific article proposes a model of pedestrian and car flow control system that can characterize the operation of two different control modes, the first of which is fully automatic, and the second works in automated mode, the results of which depend on information about the current situation on the road. the number of pedestrians and cars or depends on the intensity of traffic. In order to demonstrate the work of the proposed model, we will take some sections of the direct road where there is an adjustable pedestrian crossing. The system can determine the number of pedestrians in two ways: through surveillance cameras and with available statistics, such as information about the intensity at specific times. The second method, namely the application of pre-known parameters such as the intensity of pedestrian and traffic flows is used when it is impossible to determine the current situation on the road due to some reasons such as accident, bad weather and so on. The modes will be switched using the functionwhich will determine the mode of regulation of traffic lights according to the time intervals at which the intensity of the flows will also change. The automatic control system will work during rush hour, when the city's transport network operates. the greatest load. The second mode is for certain periods of time when the intensity of pedestrian flow is low, for example at night. The relationship between these intensity and time will be established statistically. The mode of automatic or "hard" regulation determines the duration of the pedestrian and car phases of traffic lights depending on the number of pedestrians and cars. If it is impossible to determine the number of road users using video cameras, then we calculate due to the intensity of traffic flows, and the automated control mode, ie "call" calculates the duration of the delay between two calls and the duration of the pedestrian phase. crowds and traffic near regulated pedestrian crossings.

Keywords: *model, traffic light, control system, pedestrian flow, automobile flow.*