

УДК 656.02

<https://doi.org/10.35546/kntu2078-4481.2021.2.5>

В.П. СЛАВИЧ

Херсонський національний технічний університет

ORCID: 0000-0001-7882-4198

В.С. ЛІВАНДОВСЬКИЙ

Херсонський фізико-технічний ліцей Херсонської міської ради

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ПІШОХІДНИМ ПОТОКОМ МІСТА

Запропоновано модель інтелектуальної системи управління пішохідним потоком, здатної працювати в двох спеціальних режимах, перший з яких автоматичний, другий автоматизований, що враховують поточні інтенсивності пішохідного та автомобільного потоків. Систему управління без втручання людини краще використовувати для високоінтенсивних ділянок дороги, наприклад, у великих містах або у годину «пік» – в час найбільшого навантаження на транспортну систему міста. Другий режим – для малоінтенсивних ділянок дороги або для певного проміжку часу, наприклад, вночі, коли інтенсивність транспортних потоків невисока. Переключення режимів реалізується за допомогою використання спеціальної функції, яка буде визначати режим світлофорної сигналізації в залежності від інтенсивності пішохідного та транспортного потоків. Інтенсивність у свою чергу залежить від поточного часу. Залежність між цими двома параметрами визначається емпіричним шляхом. Режим автоматичного або "жорсткого" регулювання визначає тривалість фаз пішохідної та автомобільної світлофорної сигналізації в залежності від інтенсивності транспортних потоків, а режим автоматизованого управління "за викликом" розраховує тривалість затримки між двома викликами фази пішохідної сигналізації. Також обидва режими розраховують кількість пішоходів та транспорту, що надійшли до системи, при цьому враховуючи кількість учасників руху, які вийшли з системи. Розроблена модель дозволить доопрацювати існуючу систему управління перемиканням режимів світлофору та дозволяє мінімізувати накопичення людей та транспорту у регульованих пішохідних переходах, не перешкоджаючи потребам існуючого автомобільного або пішохідного потоків.

Ключові слова: світлофорна сигналізація, система управління, пішохідний потік, оптимізація руху, регульований пішохідний перехід, мінімізація затримок.

В.П. СЛАВИЧ

Херсонский национальный технический университет

ORCID: 0000-0001-7882-4198

В.С. ЛИВАНДОВСКИЙ

Херсонский физико-технический лицей Херсонского городского совета

## МОДЕЛЬ СИСТЕМИ УПРАВЛЕННЯ ПЕШЕХОДНИМ ПОТОКОМ ГОРОДА

Предложена модель интеллектуальной системы управления пешеходным потоком, способной работать в двух специальных режимах, первый из которых автоматический, второй автоматизированный, учитывающие текущие интенсивности пешеходного и автомобильного потоков. Систему управления без вмешательства человека лучше использовать для высокоинтенсивных участков дороги, например, в больших городах или в час «пик» - во время наибольшей нагрузки на транспортную систему города. Второй режим – для малоинтенсивных участков дороги или для определенного времени, например, ночью, когда интенсивность транспортных потоков невысока. Переключение режимов реализуется посредством использования специальной функции, которая будет определять режим светофорной сигнализации в зависимости от интенсивности пешеходного и транспортного потоков. Интенсивность в свою очередь зависит от текущего времени. Зависимость между этими двумя параметрами определяется эмпирическим путем. Режим автоматического или "жесткого" регулирования определяет продолжительность фаз пешеходной и автомобильной светофорной сигнализации в зависимости от интенсивности транспортных потоков, а режим автоматизированного управления "по вызову" рассчитывает продолжительность задержки между двумя вызовами фазы пешеходной сигнализации. Также оба режима рассчитывают количество пешеходов и транспорта, прибывших в систему, при этом учитывая количество участников движения, которые вышли из системы. Разработанная модель позволит доработать существующую систему управления переключением режимов светофора и позволяет минимизировать накопление людей и транспорта в регулируемых пешеходных переходах, не препятствуя потребностям существующего автомобильного или пешеходного потоков.

Ключевые слова: светофорная сигнализация, система управления, пешеходный поток, оптимизация движения, регулируемый пешеходный переход, минимизация задержек.

V.P. SLAVICH

Kherson National Technical University

ORCID: 0000-0001-7882-4198

V.S. LIVANDOVSKIY

Kherson Physical and Technical Lyceum of Kherson City Council

**MODEL OF PEDESTRIAN FLOW MANAGEMENT SYSTEM**

*This article proposes a model of an intelligent pedestrian flow control system capable of operating in two special modes, the first of which is automatic, the second automated, taking into account the current intensities of pedestrian and car flows, is proposed. It is better to use the control system without human intervention for high-intensity sections of the road, for example, in large cities or during rush hour - during the peak load on the city's transport system. The second mode is for low-intensity sections of the road or for a certain period of time, for example, at night, when the intensity of traffic flows is low. Switching modes is realized by using a special function that will determine the mode of traffic lights depending on the intensity of pedestrian and traffic flows. The intensity in turn depends on the current time. The relationship between these two parameters is determined empirically. The mode of automatic or "rigid" regulation determines the duration of the phases of pedestrian and car traffic lights depending on the intensity of traffic flows, and the mode of automated control "on call" calculates the duration of the delay between two calls of the phase of pedestrian signaling. Also, both modes calculate the number of pedestrians and vehicles entering the system, taking into account the number of road users who left the system. The developed model will allow to refine the existing control system of switching of traffic light modes and allows to minimize accumulation of people and transport in regulated pedestrian crossings, without interfering with needs of the existing automobile or pedestrian streams.*

*Key words: traffic light signaling, control system, pedestrian flow, traffic optimization, adjustable pedestrian crossing, minimization of delays.*

**Постановка проблеми**

Моделювання пішохідних потоків є важливою задачею, оскільки пішоходи та транспорт постійно взаємодіють на дорозі, особливо в містах. Але існує проблема неефективної роботи пішохідної світлофорної сигналізації, оскільки існуючі системи не враховують реальної інтенсивності пішохідних та транспортних потоків, внаслідок чого можливі ситуації, коли забагато людей, яким потрібно перетнути проїзну частину, виникають великі скупчення. Практика показує, що це може призводити до порушення деякими з них правил дорожнього руху та рухатись на заборонений сигнал. Одним зі способів вирішення цієї проблеми є розробка моделей спеціальних пішохідних світлофорних сигналізації, які б могли враховувати потреби поточного пішохідного потоку.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Принципи організації руху пішоходів розглянуті в працях багатьох вчених: 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, В.П. Славич та ін. [1-5]. У цих роботах викладені основні положення теорії руху транспортних і пішохідних потоків.

**Формулювання мети дослідження**

**Метою роботи** є розробка моделі інтелектуальної системи управління пішохідним потоком, здатної працювати в двох спеціальних режимах, перший з яких є повністю автоматичним, а другий працює в режимі «за викликом», що враховують поточні інтенсивності пішохідного та автомобільного потоків.

**Викладення основного матеріалу дослідження**

Система управління світлофорної сигналізації J працює у двох режимах  $J = J_1 \cup J_2$ , де  $J_1$  – режим "жорсткого" регулювання світлофором;  $J_2$  – режим управління за викликом;

Створимо функції, яка визначає інтенсивності в залежності від часу  $N_{m1}(t)$ ,  $N_{m2}(t)$ ,  $N_{a1}(t)$ ,  $N_{a2}(t)$ , які будуть подаватися у вигляді табл. 1.

Таблиця 1

**Залежності інтенсивностей від поточного часу**

t	$[t_1; t_2)$	$[t_2; t_3)$	$[t_3; t_4)$	...	$[t_{k-1}; t_k)$
$N_{m1}(t)$	$n_{m1_1}$	$n_{m1_2}$	$n_{m1_3}$	...	$n_{m1_k}$
$N_{m2}(t)$	$n_{m2_1}$	$n_{m2_2}$	$n_{m2_3}$	...	$n_{m2_k}$
$N_{a1}(t)$	$n_{a1_1}$	$n_{a1_2}$	$n_{a1_3}$	...	$n_{a1_k}$
$N_{a2}(t)$	$n_{a2_1}$	$n_{a2_2}$	$n_{a2_3}$	...	$n_{a2_k}$

Звідси можна створити функцію, яка буде визначати режим роботи світлофора в залежності від інтенсивності, яка у свою чергу залежить від часу. Отже, аргументом функції F буде виступати час.

$$F(t) = \begin{cases} J_1, & \text{якщо } N_{m1}(t) + N_{m2}(t) \geq N_{crit} \\ J_2, & \text{якщо } N_{m1}(t) + N_{m2}(t) < N_{crit} \end{cases}$$

де  $F(t)$  – функція;

$N_{crit}$  – мінімальне значення інтенсивності пішохідного потоку, при якому сам потік можна вважати високоінтенсивним.

Усі параметри, які використовуються при створенні математичної моделі наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Параметри моделі

№	Позначення	Назва	Одиниця виміру
Вхідні параметри			
1	L	Довжина переходу	метри
2	S	Ширина переходу	метри
3	r	Кількість смуг	-
4	$V_m$	Середня швидкість пішохода	метри/секунду
5	s	Середня ширина пішохода	метри
6	$V_a$	Середня швидкість автомобіля	метри/секунду
7	$n_m^1$	Питома інтенсивність пішоходів першого	людей/секунду
8	$n_m^2$	Питома інтенсивність пішоходів другого потоку	людей/секунду
9	$n_a^1$	Питома інтенсивність транспорту першого	людей/секунду
10	$n_a^2$	Питома інтенсивність транспорту другого	людей/секунду
11	$\alpha$	Середня кількість людей в автомобілі	людей
12	$k_m^1$	Начальна кількість пішоходів першого потоку	людей
13	$k_m^2$	Начальна кількість пішоходів першого потоку	людей
14	$k_a^1$	Начальна кількість транспорту першого потоку	людей
15	$k_a^2$	Начальна кількість транспорту першого потоку	людей
16	$k_{max}$	Максимальна кількість пішоходів для одного	людей
17	$t_{pr}$	Час горіння проміжного сигналу	секунди
Вихідні параметри			
18	$T_{m_i}$	Час горіння зеленого світла для пішоходів	секунда
19	$T_{a_i}$	Час горіння зеленого світла для транспорту	секунда

Спочатку знайдемо коефіцієнт пріоритетності за формулою:

$$w = \frac{\alpha \cdot r}{\left[ \frac{S}{s} \right]} \cdot \frac{n_a^1 + n_a^2}{n_a^1 + n_a^2},$$

де  $w$  – коефіцієнт пріоритетності.

Тривалість фаз світлофора для "жорсткого" регулювання:

$$T_{m_i} = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{V_m} + \left[ \frac{k_{m_i}^1 - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] + 1, \text{ якщо } \left( \frac{k_{m_i}^1}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \neq 0 \\ \frac{L}{V_m} + \left[ \frac{k_{m_i}^1 - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right], \text{ якщо } \left( \frac{k_{m_i}^1}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) = 0 \end{array} \right. , \text{ якщо } k_{m_i}^1 > k_{m_i}^2 \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{V_m} + \left[ \frac{k_{m_i}^2 - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] + 1, \text{ якщо } \left( \frac{k_{m_i}^2}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \neq 0 \\ \frac{L}{V_m} + \left[ \frac{k_{m_i}^2 - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right], \text{ якщо } \left( \frac{k_{m_i}^2}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) = 0 \end{array} \right. , \text{ якщо } k_{m_i}^1 \leq k_{m_i}^2 \end{cases}$$

$$T_{a_i} = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \frac{S}{V_a} + \left[ \frac{k_{a_i}^1 - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] + 1, \text{ якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^1}{r} \right) \neq 0 \\ \frac{S}{V_a} + \left[ \frac{k_{a_i}^1 - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right], \text{ якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^1}{r} \right) = 0 \end{array} \right. , \text{ якщо } k_{a_i}^1 > k_{a_i}^2 \\ \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{V_a} + \left[ \frac{k_{a_i}^2 - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] + 1, \text{ якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^2}{r} \right) \neq 0 \\ \frac{L}{V_a} + \left[ \frac{k_{a_i}^2 - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right], \text{ якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^2}{r} \right) = 0 \end{array} \right. , \text{ якщо } k_{a_i}^1 \leq k_{a_i}^2 \end{cases}$$

Тривалість фаз світлофора для регулювання "за викликом":

$$T_{m_i} = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \frac{L}{V_m} + t_{pr} + \left[ \frac{k_{max} - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] + 1, \text{ якщо } \left( \frac{k_{max}}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \neq 0 \\ \frac{L}{V_m} + t_{pr} + \left[ \frac{k_{max} - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right], \text{ якщо } \left( \frac{k_{max}}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) = 0 \end{array} \right. \\ T_{a_i} = \begin{cases} (k_{max} - k_{m_i}^1) \cdot \frac{3600}{n_{m1}} - t_{pr}, \text{ якщо } k_{m_i}^1 \leq k_{m_i}^2 \\ (k_{max} - k_{m_2i}) \cdot \frac{3600}{n_{m2}} - t_{pr}, \text{ якщо } k_{m_i}^1 \leq k_{m_i}^2 \end{cases} \end{cases}$$

Кількість пішоходів та транспорту після закінчення пішохідного циклу "жорсткого" регулювання:

$$k_{a_{i+1}}^x = k_{a_i}^x + \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot T_{m_i} \right], x = \overline{1,2}$$

$$k_{m_{i+1}}^x = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot T_{m_i} \right] - \left[ \frac{S}{2s} \right] \cdot \left( 1 - \left( \frac{k_{m_i}^x}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \right), \text{ якщо } \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot T_{m_i} \right] > \\ > \left[ \frac{S}{2s} \right] \cdot \left( 1 - \left( \frac{k_{m_i}^x}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \right) \\ 0, \text{ якщо } \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot T_{m_i} \right] \leq \left[ \frac{S}{2s} \right] \cdot \left( 1 - \left( \frac{k_{m_i}^x}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \right) \end{array} \right. , x = \overline{1,2} \end{cases}$$

Кількість пішоходів та транспорту після закінчення транспортного циклу "жорсткого" регулювання:

$$k_{m_{i+1}}^x = k_{m_i}^x + \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot T_{a_i} \right], x = \overline{1,2}$$

$$k_{a_{i+1}}^x = \begin{cases} \left\{ \begin{array}{l} \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot T_{a_i} \right] - \frac{r}{2} \cdot \left( 1 - \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r} \right) \right), \text{ якщо } \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot T_{a_i} \right] > \\ > r \cdot \left( 1 - \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r} \right) \right) \\ 0, \text{ якщо } \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot T_{a_i} \right] < r \cdot \left( 1 - \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r} \right) \right) \end{array} \right. , x = \overline{1,2} \end{cases}$$

Кількість пішоходів та транспорту після закінчення пішохідного циклу регулювання "за викликом":

$$k_{a_{i+1}}^x = k_{a_i}^x + \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot T_{m_i} \right], x = \overline{1,2}$$

$$k_{m_{i+1}}^x = \begin{cases} \left[ \frac{T_{m_i} - \left[ \frac{k_{m_i}^x - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] - \frac{L}{V_m} - 1}{\frac{3600}{n_m^x}} \right] - \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot \left[ \frac{k_{m_i}^x - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] \right], \text{якщо } \left( \frac{k_{m_i}^x}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) \neq 0 \\ \left[ \frac{T_{m_i} - \left[ \frac{k_{m_i}^x - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] - \frac{L}{V_m}}{\frac{3600}{n_m^x}} \right] - \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot \left[ \frac{k_{m_i}^x - \left[ \frac{S}{2s} \right]}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right] \right], \text{якщо } \left( \frac{k_{m_i}^x}{\left[ \frac{S}{2s} \right]} \right) = 0 \end{cases}, x = \overline{1,2}$$

Кількість пішоходів та транспорту після закінчення транспортного циклу регулювання "за викликом":

$$k_{m_{i+1}}^x = k_{m_i}^x + \left[ \frac{n_m^x}{3600} \cdot T_{a_i} \right], x = \overline{1,2}$$

$$k_{a_{i+1}}^x = \begin{cases} \left[ \frac{T_{a_i} - \left[ \frac{k_{a_i}^x - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] - \frac{s}{V_a} - 1}{\frac{3600}{n_a^x}} \right] - \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot \left[ \frac{k_{a_i}^x - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] \right], \text{якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r} \right) \neq 0 \\ \left[ \frac{T_{a_i} - \left[ \frac{k_{a_i}^x - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] - \frac{s}{V_a}}{\frac{3600}{n_a^x}} \right] - \left[ \frac{n_a^x}{3600} \cdot \left[ \frac{k_{a_i}^x - \frac{r}{2}}{\frac{r}{2}} \right] \right], \text{якщо } \left( \frac{2 \cdot k_{a_i}^x}{r} \right) = 0 \end{cases}$$

### Висновки

В роботі запропоновано управління пішохідними потоками за допомогою спеціальної моделі світлофорного регулювання. При цьому в моделі управління використовується поєднання двох різних підходів, в залежності від завантаження ділянки мережі та інтенсивності потоків. Розроблено математично обґрунтований варіант управління часом перемикання світлофором і загальна структура комплексної моделі управління пішохідними потоками міста.

### Список використаної літератури

1. Иносэ Х. Управление дорожным движением / Иносэ Х., Хамада Т. – М.: Транспорт, 1983. – 248 с.
2. Капитанов В.Т. Управление транспортными потоками в городах. М.: Транспорт / Капитанов В.Т., Хиладжев Е.В. 1985. – 94 с.
3. Клиновштейн Г.И. Организация дорожного движения. Учебник для автомобильно-дорожных вузов и факультетов. – М.: Транспорт, 2001. – 192 с
4. Коноплянко В.И Организация и безопасность дорожного движения. М: Транспорт, 1991. – 183с.
5. Славич В.П. Модель визначення довжини черги транспортних засобів при заданих параметрах світлофорного регулювання // Проблеми інформаційних технологій. 2014. – №02(016). – С.122-124.

### References

1. Inose H. Traffic Management / Inose H., Hamada T. Moscow. Transport, 1983. 248 p.
2. Captains V.T. Traffic management in cities. Moscow. Transport / Kapitanov V.T., Khilazhev E.V. 1985. 94 p.
3. Klinkovshtein G.I. Traffic organization. Tutorial for automotive and road universities and faculties. - Moscow: Transport, 2001. 192 p.
4. Konoplyanko VI Organization and safety of road traffic. Moscow. Transport, 1991. 183p.
5. Slavich V.P. Model of the value of the transport system for the given parameters of light regulation // Problems of information technologies. 2014. - No. 02 (016). - pp. 122-124.