

О. М. Дудніков, канд. техн. наук доцент, К. О. Пархоменко

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ
«Донецький національний технічний університет», м. Горлівка

ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ ВРАХУВАННЯМ КІНЕМАТИЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПІШОХІДНОГО РУХУ В ТРЬОХФАЗНОМУ СВІТЛОФОРНОМУ РЕГУЛЮВАННІ

Сформульовано теоретичні основи організації пішохідного руху за його кінематичними характеристиками в трьохфазному світлофорному регулюванні на міських пересіченнях на одному рівні з пішохідною фазою, а також сформульовано поняття потоку насичення пішохідного руху через пішохідний перехід визначеної ширини. Синтезовано відповідну розрахункову методику параметрів пішохідної фази та експериментально перевірено.

Ключові слова: перехрестя доріг, рух пішохідний, регулювання світлофорне, фаза регулювання

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Стан безпеки руху в Україні вважається найгіршим в Європі. За результатами обробки статистичних даних 75 % усіх дорожньо-транспортних пригод (ДТП) відбувається на пересіченнях, із них 30 % відбувається на пересіченнях зі світлофорним регулюванням [1].

Більшість дослідників основною причиною аварійності називають неправомірну поведінку водіїв, посилаючись на офіційні дані статистики дорожньо-транспортних пригод (ДТП). Зокрема, А. О. Собакарь на основі аналізу таких даних зробив висновок, що з вини водіїв транспортних засобів відбувається більша частина ДТП – близько 70 % від загальної кількості, 25 % – з вини пішоходів та 5 % – з інших причин [2]. Характерним є також те, що з усієї кількості ДТП 70 % виникає на території вулично-дорожньої мережі міста. У свою чергу, аналіз статистичних даних свідчить, що серед ДТП у містах 75 % відбувається на перехрестях [3]. Зазначені дані статистики вказують на актуальність вирішення наукових задач, що пов'язані з проблемою забезпечення безпеки дорожнього руху, насамперед, в області пересічень доріг зі світлофорним регулюванням. Вирішення проблеми забезпечення належного рівня безпеки дорожнього руху неможливе без відповідної організації пішохідного руху при світлофорному регулюванні.

Аналіз останніх досліджень

Сучасні методики організації пішохідного руху при окремій фазі пішохідного руху в трьохфазному світлофорному регулюванні передбачають використання рекомендацій Ю. А. Кременця [1], який пропонує проведення наступних розрахунків:

$$t_n^o = 5 + \frac{B_n}{V_n}, \quad (1)$$

де t_n^o – тривалість основного такту пішохідної фази в трьохфазному світлофорному регулюванні, с;

B_n – ширина проїзної частини, що перетинається пішоходами у фазі регулювання, м;

V_n – розрахункова швидкість пішоходів, м/с; запропоновано в [1] приймати 1,3 м/с;

$$t_n^n = \frac{B_n}{4 \cdot V_n}, \quad (2)$$

© Дудніков О. М., Пархоменко К. О., 2012

де t_n^n – тривалість проміжного такту пішохідної фази в трьохфазному світлофорному регулюванні, с.

Проведений детальний аналіз залежностей (1) та (2) вказав на низку недоліків у визначенні відповідних значень часу основного та проміжного тактів пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання: значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується без урахування основних характеристик пішохідних потоків (інтенсивність, швидкість, щільність та віковий і статевий склади пішохідних потоків); значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується тільки, як час руху одного пішохода через перехід, а поява інших пішоходів не враховується; значення тривалості основного такту пішохідної фази (1) розраховується без урахування наявності руху зустрічних пішохідних потоків; незрозумілий фізичний смисл константи 5 у формулі (1); значення тривалості проміжного такту пішохідної фази (2) має вказані вище недоліки та незрозуміла необхідність чотирьохкратного зниження вказаної тривалості; значення швидкостей пішоходів у (1) та (2) повинні бути різні, бо стани пішохідних потоків упродовж основного такту та проміжного – різні. Таким чином, формулюється наступна мета роботи.

Мета роботи

Метою роботи є оцінка підвищення безпеки дорожнього руху врахуванням кінематичних характеристик пішохідного руху в циклі трьохфазного світлофорного регулювання на міських пересіченнях на одному рівні з пішохідною фазою.

Основна частина

Основними показниками, які характеризують рух пішохідних потоків, є середня швидкість, щільність, інтенсивність [4].

Швидкість руху пішоходів залежить від темпу руху, віку, статі, зростання температури навколишнього повітря. Пішоходи переходять через дорогу з випадковими швидкостями свого руху, але кожний пішохід обирає таку швидкість переміщення, яка забезпечує йому комфортний та безпечний перехід через проїзну частину [4]. Під пішохідним потоком розуміється сукупність людей, які рухаються через проїзну частину в одному напрямку по смузї шириною 0,75 м [4].

Свобода переміщення забезпечується при наявності в кожного пішохода визначеного «особистого простору» [4]. Габарити цього простору складають перед пішоходом приблизно $1-1,5 \cdot l$, позаду – приблизно $0,5 \cdot l$ (l – довжина кроку пішохода) [4]. Мінімальний інтервал між пішоходами в потоці дорівнює відношенню мінімальної довжини поля особистого простору до максимальної швидкості пішохода та завжди позитивний ($\tau_{0\min} > 0$) [4]. У розрахунках середня швидкість пішохода, який рухається по наземному пішохідному переходу, приймається – 1,4 м/с [5].

Аналіз формули Ф. В. Вебстера [1] тривалості циклу світлофорного регулювання та його експериментів показали, що пішохідну фазу в тривалості циклу світлофорного регулювання можна врахувати наступним чином:

$$T_{\text{ц}} = \frac{T_n}{1 - \sum_{i=1}^n y_i}, \quad (3)$$

де $T_{\text{ц}}$ – тривалість циклу, с;

T_n – сумарний втрачений час на проміжні такти впродовж циклів регулювання без пішохідної фази, с;

n – кількість фаз у циклі;

y_i – фазовий коефіцієнт в i -фазі.

Формула (3) передбачає рівномірне прибуття транспортних засобів до перехрестя. Так як рівномірне прибуття є частковим випадком формування транспортного потоку, тому формула була уточнена в роботі [1] з урахуванням мінімізації затримок транспорту:

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + 5}{1 - Y}, \quad (4)$$

де Y – сумарний розрахунковий фазовий коефіцієнт для циклів регулювання без пішохідної фази, од.

Пішохідну фазу пропонується ввести в (4) за допомогою введення відповідного часу t_n^n , що втрачений у циклі за рахунок пішохідної фази, і відповідного фазового коефіцієнта Y_n :

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot (T_n + t_n^n) + 5}{1 - Y' - Y_n}, \quad (5)$$

де t_n^n – значення тривалості проміжного такту пішохідної фази регулювання, с;

Y' – сумарний розрахунковий фазовий коефіцієнт для трьохфазного циклу з пішохідною фазою, од.;

Y_n – сумарний фазовий коефіцієнт для пішохідної фази регулювання.

Проведений аналіз процесу зрушення з місця пішоходів, які зібралися в процесі очікування зеленого сигналу пішохідного світлофора, у порівнянні з процесом зрушення черги транспортних засобів біля стоп-лінії показали, що пішоходи починають рух більш інтенсивно, і нерівномірність за пішоходами цього явища – мінімальна, тому пропонується не збільшувати (як було запропоновано Ф. В. Вебстером) даний час у 1,5 рази при його введенні у формулу (5):

$$T_{\text{ц}} = \frac{1,5 \cdot T_n + t_n^n + 5}{1 - Y' - Y_n}. \quad (6)$$

Необхідно розглянути порядок розрахунку t_n^n та Y_n . Розглянемо основний та проміжний такти для пішохідного руху у відповідній фазі. Необхідне для формули (6) значення Y_n будемо визначати наступним чином:

$$Y_{ni} = \frac{N_{ni}}{M_{ni}}, \quad (7)$$

де N_{ni} – сумарна інтенсивність руху пішоходів на i -му пішохідному переході (в обох напрямках), піш/год;

M_{ni} – потік насичення для пішохідного переходу i -го напрямку в пішохідній фазі трьохфазного світлофорного регулювання, з урахуванням одного із зустрічних рухів пішохідних потоків, піш/год.

Пропонується потік насичення для пішохідного переходу визначати наступним чином: потік насичення для пішохідного переходу є значенням максимальної інтенсивності руху пішоходів через перехід упродовж основного такту пішохідної фази з урахуванням часу початку руху черги пішоходів при включенні зеленого сигналу відповідного пішохідного світлофора. Виходячи з того, що інтенсивність руху пішоходів на пішохідному переході враховується з обох напрямків, тоді Y_{ni} розрахуємо за формулою:

$$Y_{ni} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (N'_i + N''_i)}{2 \cdot M_{ni}}, \quad (8)$$

де N'_i, N''_i – значення інтенсивностей пішохідних потоків, за i -м напрямком зустрічного руху на пішохідному переході, піш/год.

Потік насичення для пішохідного переходу розраховується як мінімальне значення з обох напрямків на пішохідному переході. Отримання значення потоку насичення пішохідного руху можна виконати теоретично та експериментально. За натурними спостереженнями визначити потік насичення для даного пішохідного переходу в даній фазі й даному напрямку руху можливо за формулою

$$M_{nij} = \frac{3600}{n} \cdot \left(\frac{m_1}{t'_1} + \frac{m_2}{t'_2} + \dots + \frac{m_n}{t'_n} \right), \quad (9)$$

де n – число замірів;

m – кількість пішоходів у пішохідному потоці, які пройшли по пішохідному переходу за час t'_1 , люд.;

t'_1, \dots, t'_n – показання секундоміра, с;

j – номер напрямку руху пішохідного потоку.

Мінімальна довжина поля особистого простору пішохода дорівнює [4]

$$l_{\min} = 1 - 1,5 \cdot l + 0,5 \cdot l, \quad (10)$$

де l – довжина кроку пішохода, м.

V_{mi}^{\max} – максимальна швидкість пішохода, м/с.

Приймаємо лінійну залежність зростання швидкості пішохідного потоку при зрушенні з місця, тоді потік насичення розраховуємо за формулою:

$$M_n = N_n^{\max} - q_n^{\max} \cdot 0,5 \cdot V_{mi}^q, \quad (11)$$

де M_n – потік насичення пішохідного руху, піш/год.

З урахуванням значення фазового коефіцієнта для пішохідної фази (8) та з урахуванням отриманої залежності для розрахунку теоретичного значення потоку насичення пішохідного руху (11) значення фазового коефіцієнта пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою буде розраховуватися:

$$Y_{ni} = \frac{\frac{1}{2} \cdot (N'_i + N''_i)}{2 \cdot (N_{mi}^{\max} - q_n^{\max} \cdot 0,5 \cdot V_{mi}^q)}. \quad (12)$$

Тривалість основного такту пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою буде розраховуватися наступним чином:

$$t_{on}^{z,d} = \frac{Y_{ni}}{Y} (T_y - T_n - t_n^n - 1) - 1, \quad (13)$$

де $t_{on}^{z,d}$ – тривалість основного такту пішохідної фази для головного та другорядного напрямків пішохідних переходів, с.

Для визначення часу тривалості пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання необхідно визначити тривалість проміжного такту. Так як значення тривалості

проміжного такту для пішохідної фази повинно розраховуватися виходячи з маневру звільнення території проїзної частини від пішоходів, вона повинна враховувати: реакцію пішохода на переключення сигналів пішохідного світлофора із зеленого на червоний; рух по проїзній частині вулиці в межах пішохідного переходу в змішаному стані із зустрічним пішохідним потоком до точки розділу; рух по проїзній частині вулиці в межах пішохідного переходу без змішаного стану пішохідних потоків та вихід із території проїзної частини. Пропонується розглянути два випадки руху пішоходів на переході: з одним напрямком та із зустрічним напрямком. Вказане потребує синтезу двох розрахункових методик.

Проведені дослідження дозволили отримати для першої методики наступне значення тривалості проміжного такту (рух пішоходів на переході в одному напрямку):

$$t_{n_i}^n = \bar{t}_{pn_i} + \frac{B_{mu_i}}{(V_{mu}')_i} + \frac{l_{\min}}{(V_{mu}'')_i}, \quad (14)$$

де $t_{n_i}^n$ – тривалість проміжного такту для пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у одному напрямку руху пішоходів, с;

\bar{t}_{pn_i} – середній час реакції пішохода на зміну сигналів пішохідного світлофора з червоного на зелений, с [6];

$(V_{mu}')_i$ – швидкість руху пішоходів на пішохідному переході визначеної ширини у відповідному напрямку, м/с.

Максимальне значення (14) зі всіх напрямків пішохідних переходів, що задіяні в пішохідній фазі, буде дорівнювати необхідній довжині проміжного такту вказаної фази.

Друга методика припускає рух пішоходів обома зустрічними потоками, так як обидва пішохідних потоки зустрічаються та змішуються, то інтенсивність та щільність зростають, це потрібно врахувати. Сума інтенсивностей більше або дорівнює сумі щільностей пішохідного потоку. Згідно з проведеними дослідженнями значення тривалості проміжного такту для пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у двох зустрічних напрямках змішаного руху пішоходів має наступний вид:

$$t_{n_i}^n = \bar{t}_{pn_i} + \frac{(V_{mu}^{\max})_i}{(V_{mu}')_i + (V_{mu}'')_i} \cdot B_{mu_i} \cdot \left[\frac{q_i' + q_i''}{\frac{1}{2} \cdot (N_i' + N_i'')} \right] + \frac{B_{mu_i}}{(V_{mu}')_i + (V_{mu}'')_i} + \frac{l_{\min}}{(V_{mu}^{\min})_i}, \quad (15)$$

де $t_{n_i}^n$ – тривалість проміжного такту для пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у двох зустрічних напрямках змішаного руху пішоходів, с;

\bar{t}_{pn_i} – середній час реакції пішохода на зміну сигналів пішохідного світлофора з червоного на зелений за двома зустрічними напрямками пішохідного руху, с [6];

q_i – щільність руху пішоходів на пішохідному переході визначеної ширини у відповідному напрямку, піш/м;

N_i – інтенсивність руху пішоходів на пішохідному переході визначеної ширини у відповідному напрямку, піш/с;

$(V_{mu}^{\min})_i$ – мінімальне значення з розрахункових швидкостей пішоходів, за i -м напрямком, відповідно до зустрічних пішохідних потоків, м/с.

З урахуванням отриманих значень тривалості основного такту (12), (13) та відповідних тривалостей проміжного такту для пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у одному напрямку руху пішоходів (14) тривалість пішохідної фази буде дорівнювати:

$$t_n^{\phi} = \left[\frac{N_i}{2 \cdot Y \cdot (N_n^{\max} - q_n^{\max} \cdot 0,5 \cdot V_{mu}^q)} \cdot (T_y - T_n - t_n^n - 1) - 1 \right]_{\max} + \left[\bar{t}_{pn_i} + \frac{B_{mu_i}}{(V_{mu})_i} + \frac{l_{\min}}{(V_{mu})_i} \right]_{\max}, \quad (16)$$

де t_n^{ϕ} – тривалість пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у одному напрямку руху пішоходів, с.

З урахуванням отриманих значень тривалості основного такту (12), (13) та відповідних тривалостей проміжного такту для пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у двох зустрічних напрямках змішаного руху пішоходів (15) тривалість пішохідної фази буде дорівнювати:

$$t_n^{\phi} = \left[\frac{\frac{1}{2} \cdot (N_i' + N_i'')}{2 \cdot Y \cdot (N_n^{\max} - q_n^{\max} \cdot 0,5 \cdot V_{mu}^q)} \cdot (T_y - T_n - t_n^n - 1) - 1 \right]_{\max} + \left[\bar{t}_{pn_i} + \frac{(V_{mu}^{\max})_i}{(V_{mu}')_i + (V_{mu}'')_i} \cdot B_{mu_i} \cdot \left[\frac{q_i' + q_i''}{\frac{1}{2} \cdot (N_i' + N_i'')} \right] + \frac{B_{mu_i}}{(V_{mu}')_i + (V_{mu}'')_i} + \frac{l_{\min}}{(V_{mu}^{\min})_i} \right]_{\max}, \quad (17)$$

де t_n^{ϕ} – тривалість пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання з окремою пішохідною фазою при організації пішохідних переходів у двох зустрічних напрямках змішаного руху пішоходів, с.

За отриманими результатами розрахунку тривалості основних та проміжних тактів пішохідних фаз синтезована відповідна розрахункова методика визначення параметрів пішохідної фази трьохфазного світлофорного регулювання. Теоретичні положення отриманої методики необхідно надалі експериментально перевірити.

В якості об'єкта експериментального дослідження приймається вулично-дорожня мережа міста Горлівка. Для проведення експериментальних досліджень пропонується наступний перелік пересічень зі світлофорним регулюванням:

- 1) проспект Леніна – вулиця Безпощадного, пересічення на одному рівні;
- 2) проспект Леніна – вулиця Комсомольська, пересічення на одному рівні;
- 3) вулиця Пушкінська – вулиця Комсомольська, пересічення на одному рівні;
- 4) вулиця Кузнецова-Зубарева – вулиця Молодіжна, пересічення на одному рівні;
- 5) проспект Леніна в районі магазину «Солнечный», пішохідний перехід зі світлофорним регулюванням;
- 6) вулиця Маршала Пересипкіна в районі ринку «Александрія», пішохідний перехід зі світлофорним регулюванням.

Указані пересічення були проаналізовані щодо наявної кількості ДТП за наступними видами згідно з нумерацією Державної автомобільної інспекції України: 1 – зіткнення; 3 – наїзд на транспортний засіб, що стоїть; 4 – наїзд на перешкоду; 5 – наїзд на пішохода; 6 – наїзд на велосипедиста; 8 – наїзд на тварин. Вказані ДТП є основними для періоду відпрацювання проміжних тактів [1].

Відповідно до кількості жителів міста Горлівка та нормативної документації, якщо відбулося на пересіченні за п'ять останніх років більше трьох ДТП, то пересічення є місцем концентрації ДТП, яке підлягає обліку в органах ДАІ та для вказаного пересічення проводиться розробка відповідних заходів із підвищення безпеки дорожнього руху. Відповідно до зібраних даних усі перераховані пересічення є місцями концентрації ДТП на момент збирання даних. Розрахунки виконуємо за всіма наявними пішохідними переходами на відповідних пересіченнях та за результатами для відповідних пересічень об'єднуємо результати розрахунків і за максимальними значеннями приймаємо необхідну тривалість основного такту, проміжного такту пішохідної фази світлофорного регулювання на окремому пересіченні. Результати розрахунків зведені до таблиці 1.

Таблиця 1 – Результати розрахунку тривалості проміжних тактів за фазами регулювання на пересіченнях, що прийняті об'єктом експериментальних досліджень, які були виконані в програмі Excel

№ пересічення	Назва пересічення	Номер пішохідного переходу	Такт регулювання	Тривалість на світлофорі	Тривалість за методикою Кременця Ю. А.	Тривалість руху за натурними спостереженнями	Тривалість за запропонованою методикою
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Леніна – Безпощадного	1	основний	18	15,8	18	18,3
			проміжний	–	2,7	12	12,6
		2	основний	18	10,4	24	22,1
			проміжний	–	1,3	7	8,8
		3	основний	18	15,8	18	16,0
			проміжний	–	2,7	12	14,9
		4	основний	18	10,4	24	23,4
			проміжний	–	1,3	7	7,5
2	Леніна – Комсомольська	1	основний	17	21,2	17	13,4
			проміжний	–	4,0	16	17,5
		2	основний	17	10,3	20	20,4
			проміжний	–	1,3	7	10,5
		3	основний	17	21,2	17	13,4
			проміжний	–	4,0	16	17,5
		4	основний	17	10,3	20	17,2
			проміжний	–	1,3	9	13,7
3	Пушкінська – Комсомольська	1	основний	20	10,3	20	19,8
			проміжний	–	1,3	7	9,1
		2	основний	20	10,3	20	18,8
			проміжний	–	1,3	8	10,1
		3	основний	20	10,3	20	16,7
			проміжний	–	1,3	9	12,2
		4	основний	20	10,3	20	19,9
			проміжний	–	1,3	8	9,0

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5	6	7	8
4	Кузнецова– Зубарева – Молодіжна	1	основний	16	15,8	18	16,0
			проміжний	3	2,7	12	13,9
		2	основний	16	10,3	16	18,8
			проміжний	3	2,7	7	11,1
		3	основний	16	15,8	18	18,0
			проміжний	3	2,7	12	11,9
5	Леніна, магазин «Солнечный»	1	основний	14	15,8	20	20,1
			проміжний	8	2,7	12	15,8
6	Пересипкіна, ринок «Александрія»	1	основний	16	15,8	20	20,1
			проміжний	7	2,7	16	25,7

Результати розрахунку тривалості основних та проміжних тактів були порівняні з наявними значеннями тривалості проміжних тактів, які були виміряні за сигналами переключення світлофорів, за реальним часом руху пішохідних потоків площею пересічення після включення зеленого сигналу за відповідними напрямками поточної фази регулювання. Графічні залежності наведені на рисунку 1 та рисунку 2.

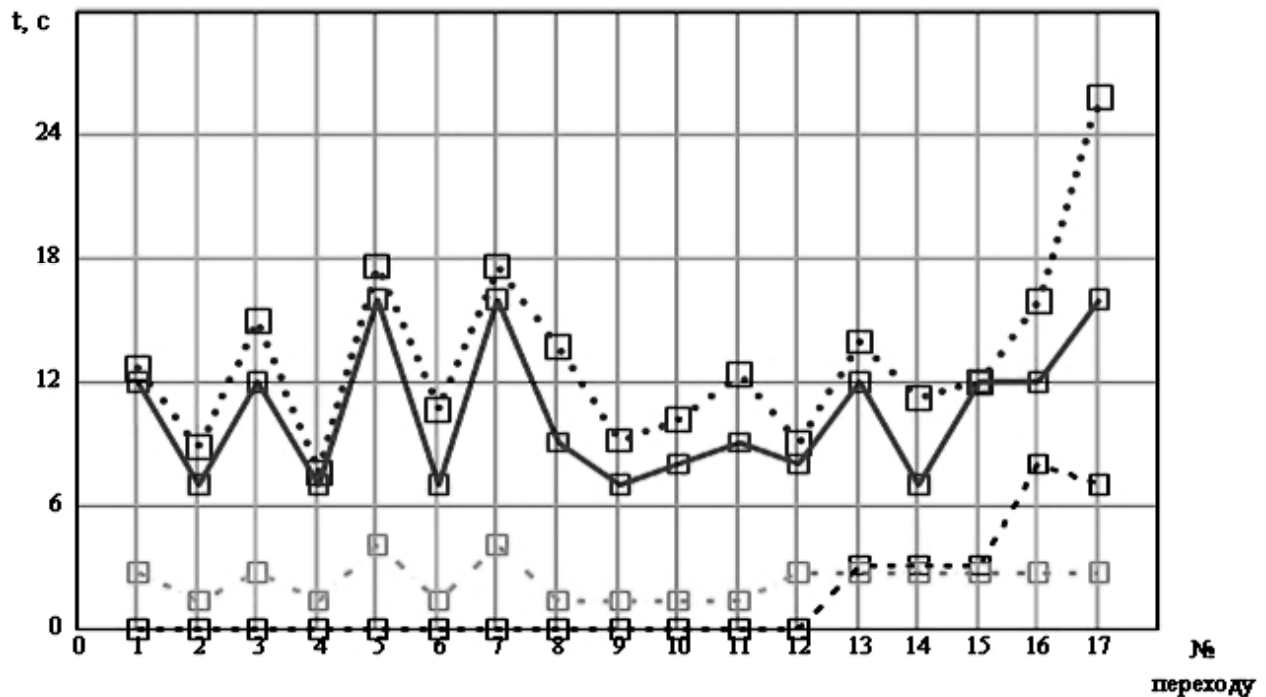


Рисунок 1 – Значення тривалості проміжних тактів, які були отримані в результаті експерименту:

- розраховані за запропонованою методикою;
- виміряні натурними спостереженнями за пішохідним рухом;
- - - - розраховані за методикою Ю. А. Кременця;
- - - - виміряні за наявними сигналами пішохідних світлофорів

Для даних, що зображені на рисунку 1 значення коефіцієнта лінійної кореляції склали 0,865, при 17 парах точок та довірчою ймовірністю $\alpha = 0,95$ нормативне значення коефіцієнта кореляції складає 0,432 [7,8], таким чином $0,865 > 0,432$, що вказує на адекватність розрахункових даних даним, які отримані за натурними спостереженнями.

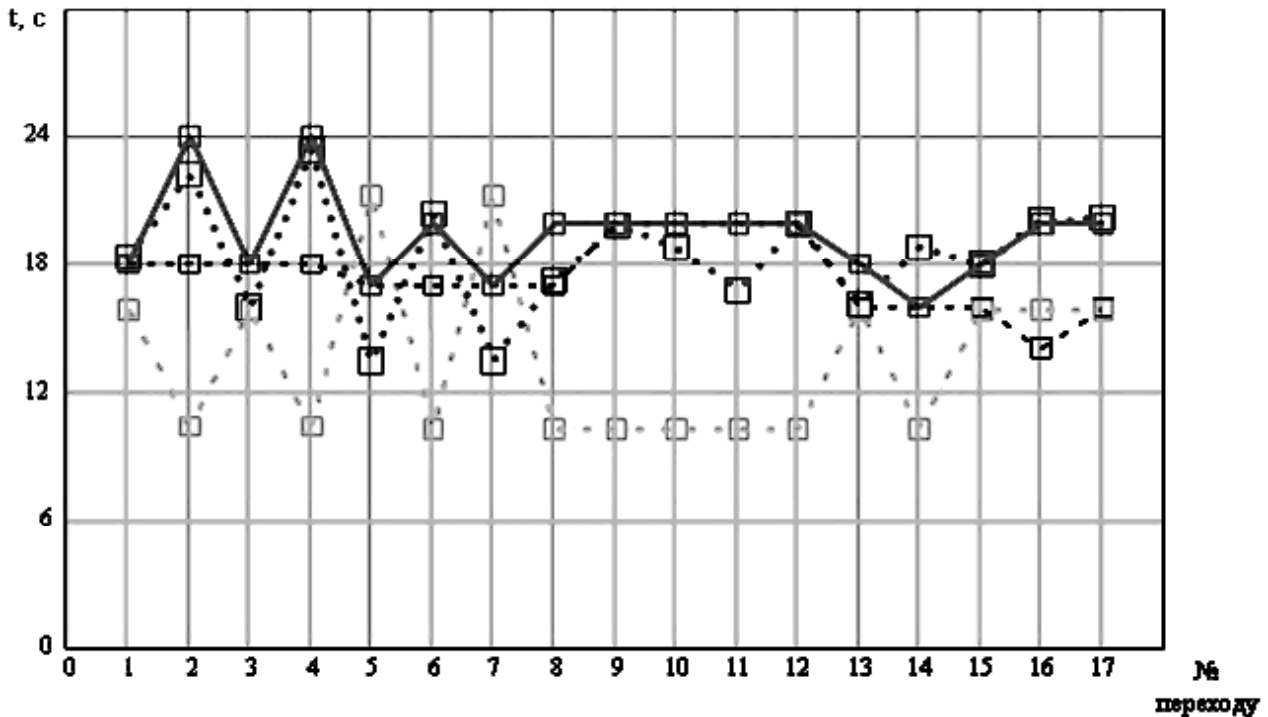


Рисунок 2 – Значення тривалості основних тактів, які були отримані в результаті експерименту:

- розраховані за запропонованою методикою;
- виміряні натурними спостереженнями за пішохідним рухом;
- — — розраховані за методикою Ю. А. Кременця;
- — — виміряні за наявними сигналами пішохідних світлофорів

Для даних, що зображені на рисунку 2 значення коефіцієнта лінійної кореляції склали 0,772, при 17 парах точок та довірчою ймовірністю $\alpha = 0,95$ нормативне значення коефіцієнта кореляції складає 0,432 [7,8], таким чином $0,772 > 0,432$, що вказує на адекватність розрахункових даних даним, які отримані за натурними спостереженнями.

Професор Є. М. Лобанов у своїх роботах дослідив безпеку руху пішоходів. Оцінка безпеки руху пішоходів на регульованому перехресті розраховується безпосередньо за запропонованою методикою [9] із застосуванням формули в наступному вигляді:

$$G_n = 0,0025 + 0,92 \cdot 10^{-3} \cdot \sum_{i=1}^n \left(I_n^4 \cdot I_m \right), \quad (18)$$

де G_n – число ДТП на пішохідних переходах пересічення, ДТП/рік;

I_n – інтенсивність руху пішоходів по відповідному переходу, піш/год;

I_m – інтенсивність руху транспортних потоків через пішохідний перехід, авт/год;

n – число пішохідних переходів на пересіченні, од.

Припустимо, що константа у формулі (18) 0,0025, що отримана в [9], з урахуванням запропонованих вище заходів зберігається та характеризує випадкове ДТП із пішоходом, а інша складова при застосуванні розробленої методики буде виключатися, так як пов'язана лише з тими взаємодіями, виключення яких розглядалися в роботі. Для інших рівних умов

інтенсивність руху пішоходів по переходу (I_n) та сумарну інтенсивність руху транспортних потоків через пішохідний перехід (I_m) приймаємо рівними 1, а також кількість переходів приймаємо 1, щоб розрахувати долю числа ДТП з пішоходами в рік на регульованому перехресті, яка залишиться на пересіченні при застосуванні розробленої методики, запишемо наступне співвідношення:

$$\Delta = \frac{G_n^n}{G_n^d} = \frac{0,0025}{0,0025 + 0,92 \cdot 10^{-3} \cdot 1} = \frac{0,0025}{0,00342} \approx 0,730994, \quad (19)$$

де G_n^n – очікуване число ДТП із пішоходами після застосування методики, ДТП/рік;

G_n^d – очікуване число ДТП із пішоходами до застосування методики, ДТП/рік.

Згідно з результатом (19), при інших рівних умовах, з урахуванням застосування розробленої методики, що передбачає виключення транспортних і пішохідних взаємодій, очікується підвищення безпеки руху на пішохідних переходах пересічень зі світлофорним регулюванням за дослідженнями аварійності Є. М. Лобанова [9] на $1 - 0,73 = 0,17, \text{од.} = 17\%$.

Додатково проведемо дослідження на предмет оцінки підвищення безпеки дорожнього руху врахуванням кінематичних характеристик пішохідного руху в трьохфазному світлофорному регулюванні на пересіченнях у цілому на прикладі пересічень м. Горлівка, що були обрані в якості об'єкта експериментальних досліджень. Результати обробки статистичних даних зведені до таблиці 2.

Таблиця 2 – Кількість ДТП на пересіченнях зі світлофорним регулюванням

Найменування пересічення	Леніна – Безпощадного	Леніна – Комсомольська	Пушкінська – Комсомольська	Кузнєцова – Зубарева – Молодіжна	Леніна, магазин «Солнечный»	Пересипкіна, ринок «Александрія»
$N_{dtn}^>$ за 5 років	9	24	7	18	4	3
N_{dtn}^n за 5 років	1	1	1	5	1	2
% «5», за 5 років	11,1 %	4,2 %	14,3 %	27,8 %	–	–
Середній % ДТП	14 %					

З урахуванням результатів обробки статистичних даних (таблиця 2) бачимо, що в умовах виключення ДТП за участю пішоходів за рахунок впровадження розробленої методики буде очікуватися зниження загальної кількості ДТП на пересіченнях зі світлофорним регулюванням у середньому на 14 %.

Запропонована методика підвищення безпеки дорожнього руху врахуванням кінематичних характеристик пішохідного руху в трьохфазному світлофорному регулюванні вказує на адекватність розрахункових даних, які отримані за методикою професора Є. М. Лобанова, даним натурних спостережень за пересіченнями м. Горлівка.

Висновки

Синтезовано методику визначення тривалостей основних та проміжних тактів пішохідної фази для трьохфазного світлофорного регулювання. Проведено експериментальну перевірку методики на предмет визначення тривалостей основного та проміжного тактів за характеристиками пішохідного руху в пішохідній фазі трьохфазного світлофорного регулювання.

Проведений кореляційний аналіз довів відповідність отриманих за методикою розрахункових результатів отриманим натурними спостереженнями даним, що підтверджує

розроблені теоретичні положення та розкриває можливість застосування розробленої методики на практиці.

З'ясовано, що врахування кінематичних характеристик пішохідного руху в трьох-фазному світлофорному регулюванні в межах розробленої методики призведе до підвищення безпеки дорожнього руху на пішохідних переходах у середньому на 17 %, а на перехресті – у середньому на 14 %.

Список літератури

1. Кременец Ю. А. Технические средства организации дорожного движения / Ю. А. Кременец, М. П. Печерский, М. Б. Афанасьев. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 255 с.
Kremenets Yu. A. Tekhnicheskiye sredstva organizatsii dorozhnogo dvizheniya (Technical means of traffic management) / Yu. A. Kremenets, M. P. Pecherskiy, M. B. Afanasyev. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 255 с.
2. Собакарь А. О. Освітня діяльність у сфері безпеки дорожнього руху: проблеми та напрямки удосконалення системи підготовки водіїв / А. О. Собакарь // Вісник Луганського державного університету внутрішніх справ. – 2006. – № 3. – С. 216–224.
Sobakar A. O. Osvitnya diyalnist u sferi bezpeky dorozhnyogo rukhu: problemy ta napryamky udoskonalennya systemy pidgotovky vodiiv (Educational activity in the sphere of traffic safety: problems and the trends of driver training system improvement) / A. O. Sobakar // Visnyk Luganskogo derzhavnogo universytetu vnutrishnikh sprav. – 2006. – № 3. – С. 216–224.
3. Безпека руху автомобільного транспорту: довідник / Д. В. Зеркалов, П. Р. Левковец, О. І. Мельниченко, О. М. Дмитрієв. – К.: Основа, 2002. – 360 с.
Bezpeka rukhu avtomobilnogo transportu: dovidnyk (Traffic safety: reference book) / D. V. Zerkalov, P. R. Levkovets, O. I. Melnichenko, O. M. Dmytriyev. – К.: Osнова, 2002. – 360 s.
4. Кисляков В. М. Математическое моделирование и оценка условий движения автомобилей и пешеходов / В. М. Кисляков, В. В. Филиппов, И. А. Школяренко. – М.: 1977. – 51 с.
Kislyakov V. M. Matematicheskoye modelirovaniye i otsenka usloviy dvizheniya avtomobiley i peshekhodov dvizheniya (Mathematical modeling and evaluation of road traffic and pedestrians) / V. M. Kislyakov, V. V. Filippov, I. A. Shkolyarenko. – М.: 1977. – 51 s.
5. Методические рекомендации по регулированию пешеходного движения // Всесоюзный научно-исследовательский институт безопасности дорожного движения МВД СССР. – М., 1977. – 51 с.
Metodicheskkiye rekomendatsii po regulirovaniyu peshekhodnogo dvizheniya (Methodological recommendations on pedestrian control) // Vsesoyuznyi nauchno-issledovatel'skiy institut bezopasnosti dorozhnogo dvizheniya MVD SSSR. – М.: 1977. – 51 s.
6. Иларионов В. А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В. А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.
Parionov V. A. Ekspertiza dorozhno-transportnykh proissheshtviy (Road-transport accident expert review) / V. A. Parionov. – М.: Transport, 1989. – 255 s.
7. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика для инженеров и научных работников / А. И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.
Kobzar A. I. Prikladnaya matematicheskaya statistika dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov (Applied mathematical statistics for engineers and research workers) / A. I. Kobzar. – М.: FIZMATLIT, 2006. – 816 s.
8. Горкавий В. К. Математична статистика: навчальний посібник / В. К. Горкавий, В. В. Ярова. – К.: Професіонал, 2004. – 384 с.
Gorkaviy V. K. Matematychna statystyka: navchalnyi posibnyk (Mathematical statistics: study guide) / V. K. Gorkaviy, V. V. Yarova. – К.: Profesional, 2004. – 384 s.
9. Лобанов Е. М. Транспортная планировка городов: учебник для студентов вузов / Е. М. Лобанов. – М.: Транспорт, 1990. – 240 с.
Lobanov Ye. M. Transportnaya planirovka gorodov: uchebnyk dlya studentov vuzov (Transport urban planning: coursebook for students of higher educational institutions) / Ye. M. Lobanov. – М.: Transport, 1990. – 240 s.

Рецензент: канд. техн. наук, доц. Т. Є. Василенко, АДІ ДонНТУ.

Стаття надійшла до редакції 05.10.12

А. Н. Дудников, К. А. Пархоменко
Автомобильно-дорожный институт ГВУЗ
«Донецкий национальный технический университет», г. Горловка
**Повышение безопасности движения учетом кинематических характеристик
 пешеходного движения в трехфазном светофорном регулировании**

Рассмотрена проблема повышения безопасности движения на перекрестках дорог на одном уровне со светофорным регулированием, которая включает в себя одну из главных задач: учет кинематических характеристик пешеходного движения в светофорном регулировании на городских пересечениях. Сформулированы теоретические основы организации пешеходного движения по его кинематическим характеристикам в трехфазном светофорном регулировании на городских пересечениях на одном уровне с пешеходной фазой, а также сформулировано понятие потока насыщения пешеходного движения через пешеходный переход определенной ширины. Синтезирована соответствующая расчетная методика параметров пешеходной фазы и экспериментально проверена.

ПЕРЕКРЕСТКИ ДОРОГ, ДВИЖЕНИЕ ПЕШЕХОДНОЕ, РЕГУЛИРОВАНИЕ СВЕТОФОРНОЕ, ФАЗА РЕГУЛИРОВАНИЯ

A. N. Dudnikov, K. A. Parkhomenko
Automobile Transport and Highway Engineering Institute of
Donetsk National Technical University, City of Gorlovka
**Traffic Safety Improving Considering the Pedestrian Traffic Kinematic
 Characteristics in Three Phase Traffic Light Control**

The scientific problem of traffic safety improving at at-grade intersections with traffic light control is under consideration. The present day statistic data on traffic collisions at at-grade intersections shows the significant reduction of collisions number after traffic light control introducing. The detailed study of the questions about traffic safety improving by means of traffic light control has shown the discrepancy of conflict points exclusion level within the intersection area and passage safety increase of remained points with the traffic collision rate decrease, i. e. there are aspects decreasing traffic safety at intersections with traffic light control introducing. The carried out analysis of the existing three phase traffic light control with the pedestrian phase arrangement technique has shown its significant disadvantages especially in the sphere of the corresponding pedestrian traffic kinematics consideration. Pedestrian traffic kinematic characteristics consideration within the pedestrian phase design, taking into account the pedestrian crossing saturation flow is suggested and the design dependences for pedestrian phase intermediate tact are generated in this work. The theoretical study results have been combined into the design technique for pedestrian phase parameters specification. The technique has been experimentally proved.

ROAD INTERSECTIONS, PEDESTRIAN TRAFFIC, TRAFFIC LIGHT CONTROL, CONTROL PHASE