

УДК656.13.05

Дудніков О.М., к.т.н., Пелих А.В.
АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКУ ПРОМІЖНОГО ТАКТУ СВІТЛОФОРНОГО РЕГУЛЮВАННЯ З ЖОРСТКИМ ПРОГРАМНИМ УПРАВЛІННЯМ НА МІСЬКИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ

Вдосконалено формування проміжних тактів світлофорного регулювання з метою забезпечення звільнення площі перехрестя від транспортних засобів, що продовжують рухатися за дозволеними напрямками відповідної фази регулювання.

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Наявна статистика дорожньо-транспортних подій (ДТП) в Україні [1, 2], проведений авторами аналіз позитивних та негативних аспектів світлофорного регулювання вказує на необхідність вдосконалення заходів з метою підвищення рівня безпеки руху на перехрестях доріг, особливо на тих перехрестях, де здійснюється світлофорне регулювання. До того ж проведений аналіз статистики вказує на необхідність приділення основної уваги безпеці руху на міських перехрестях доріг в одному рівні, де відбувається більшість ДТП. Найбільш небезпечним періодом роботи світлофорного об'єкта є період відпрацювання проміжних тактів, продовж яких площа перехрестя звільнюється від транспортних засобів, що закінчують рух у відповідній фазі.

Огляд основних методів та методик розрахунку тривалості проміжних тактів [3] вказує на необхідність застосування емпіричних досліджень з метою найбільш об'єктивного та точного визначення факторів і чинників, які впливають на рух транспортних засобів площею перехрестя після відповідної заборони руху у фазі. Найбільш використовуваним слід вважати метод Вебстера [3], оснований на натурних спостереженнях за рухом на перехресті. Даний метод має суттєві недоліки, бо має обмеження в застосуванні – прив'язку до результатів безпосереднього дослідження часу та умов його проведення, що з урахуванням змінності характеристик транспортного потоку має дуже важливе значення.

Більш об'єктивні методики дозволяють проводити узагальнені розрахунки [3], але мають наступні недоліки у вигляді: неврахування дозволених напрямків руху у попередній фазі регулювання; відсутності рекомендацій визначення розрахункової швидкості руху через площу перехрестя за відповідними маневрами; відсутності рекомендації щодо прийняття рішення до інтенсивності гальмування перед лінією стоп.

Таким чином з'являється можливість сформулювати об'єкт, предмет, мету та задачі наукового дослідження. Об'єкт дослідження: світлофорне регулювання з жорстким програмним управлінням на міських перехрестях. Предмет дослідження: параметри проміжного такту світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням на міських перехрестях.

Мета роботи

Метою роботи є розробка методики визначення параметрів проміжних тактів світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням на міських перехрестях з більш ефективним виключенням конфліктних ситуацій при зміні фаз регулювання.

Основна частина

Відповідно до розробок Ю.А. Кременця світлофорне регулювання може бути двофазним та трьохфазним. Є й деякі індивідуальні випадки [3]. Двофазне світлофорне регулювання передбачає виокремлення двох схем пофазного роз'їзду транспортних засобів. Як пра-

вило, схеми передбачають роз'їзд за трьома напрямками транспортних засобів одної дороги, а потім іншої. В умовах двохфазного світлофорного регулювання організація лівоповоротного руху виконується шляхом просочування відповідного потоку крізь транспортний потік, що виконує маневр руху прямо та повертаючи праворуч [3].

Для належної організації проміжних тактів у циклі роботи двохфазного світлофорного регулювання необхідно дослідити яким чином формуються траєкторії руху окремих транспортних засобів на площі перехрестя. При цьому необхідно враховувати наявні пішохідні переходи, де виконується світлофорне регулювання з застосуванням пішохідних світлофорів. В залежності від компонування перехрестя в реальних умовах руху кількість та розташування пішохідних переходів може бути різним, тому приймемо, що пішохідні переходи будуть наявні за всіма напрямками руху.

Окремим питанням є організація руху транспортних засобів за смугами. Найбільш складними умовами руху є умови, де виконання трьох маневрів руху – прямо, праворуч та ліворуч виконується з однієї смуги.

Таким чином, для розкриття умов формування відповідних фаз руху та необхідних для них проміжних тактів буде розглядатися для перехрестя доріг з двома смугами руху та з наявністю пішохідних переходів зі світлофорним регулюванням за всіма напрямками руху, рисунок 1.

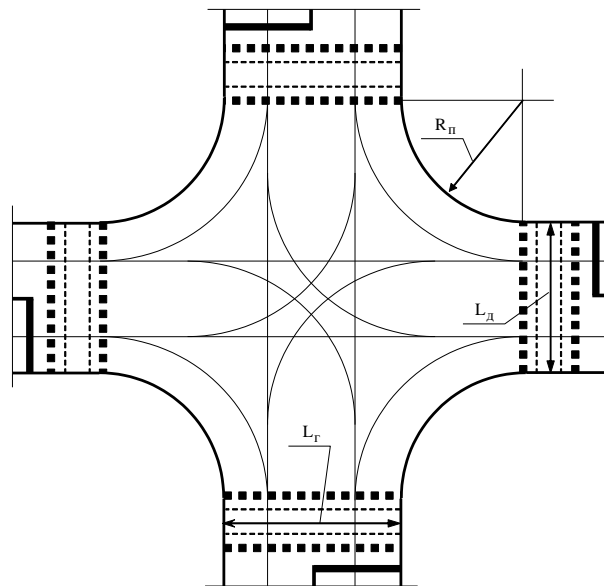


Рисунок 1 – Схема перехрестя для проведення досліджень траєкторій руху у відповідних фазах регулювання, на якому дозволений руху в усіх напрямках, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів на площі перехрестя;
- · · · · траєкторія руху пішоходів через дороги, що примикають;
- розмітка 1.12 відповідного напрямку руху транспортних засобів;
- ■ ■ ■ розмітка 1.14.3 – пішохідний перехід на примиканні дороги;
- розмітка 1.1 – розділ транспортних потоків протилежного напрямку.

На рисунку 1 зображено траєкторії руху на площі перехрестя сумісно з траєкторіями руху пішоходів та мінімальною кількістю дорожньої розмітки, яка організує відповідний рух. Пофазний роз'їзд транспортних засобів у відповідних фазах світлофорного регулювання передбачає відповідну сукупність траєкторій, рисунок 2.

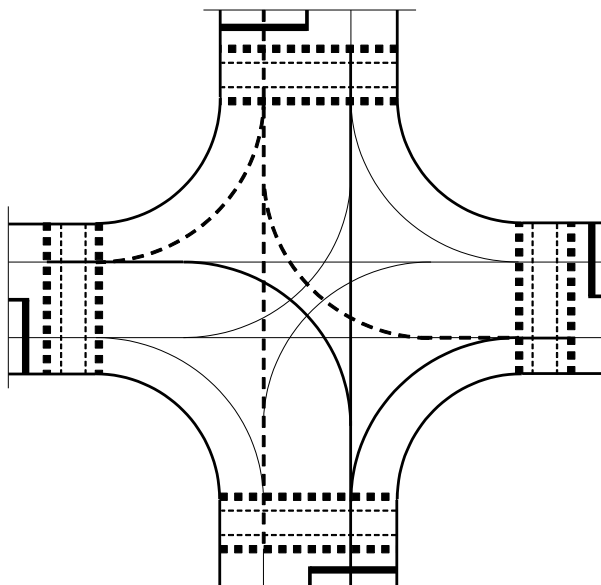


Рисунок 2 – Схема напрямків руху на площі перехрестя для умов формування двохфазного світлофорного регулювання. Наведений приклад фази регулювання. Рух дозволений прямо, праворуч та ліворуч, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів з першого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;
- - - траєкторія руху транспортних засобів з другого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя.

Час роз'їзду транспортних засобів, що перетнули розмітку 1.12 при переключенні зеленого сигналу на жовтий, передбачає розрахунок часу руху відповідних транспортних засобів за траєкторіями руху, що були наявні в основному такті регулювання. Для проведення вказаних розрахунків необхідно виконати два основних етапи:

- визначення маневрів та відповідних форм траєкторій руху транспортних засобів упродовж основних тактів фаз регулювання;
- визначення характеристик руху транспортних засобів на відповідних траєкторіях.

Надалі виконаємо поетапно сформульовані завдання.

Кожний основний такт передбачає схему пофазного роз'їзду у вигляді сукупності елементарних траєкторій руху. Сукупність траєкторій може мати наступну кількість маневрів під час руху через площу перехрестя:

- маневр руху праворуч через площу перехрестя;
- маневр руху прямо через площу перехрестя;
- маневр руху ліворуч через площу перехрестя;
- маневр розвороту на площі перехрестя.

Кожний з перерахованих маневрів передбачає рух транспортних засобів по визначеній траєкторії. Передбачається розрізнити чотири траєкторії. Кожна траєкторія є складеною кривою, яка складається з визначених елементарних частин, (рисунок 2). Відповідно до вказаної схеми траєкторії маневрів мають у своєму складі прямі складові та складові дуг кіл. Схема пересічення розкриває наявну взаємозалежність геометричних характеристик площі перехрестя з геометричними характеристиками елементарних частин траєкторій. Пропонується розглянути формування елементарних складових траєкторій маневрів окремо для з'ясування необхідних залежностей.

Розглянемо формування траєкторії маневру руху праворуч через площу перехрестя, схема вказана на рисунку 3.

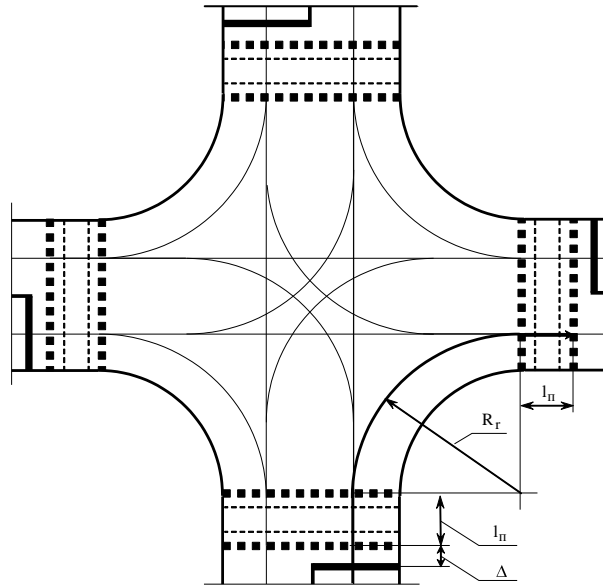


Рисунок 3 – Схема траєкторії правого повороту на площі перехрестя для умов формування двохфазного світлофорного регулювання, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів з першого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;
- - - траєкторія руху транспортних засобів з другого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;

R_r – радіус правого повороту;

l_n – ширина пішохідного переходу;

Δ – відстань між розміткою 1.14.3 та 1.12.

Маневр руху праворуч відповідно до рисунка 2.3 містить три елементарних складових: рух прямолінійний через пішохідний перехід, рух по радіусу, рух прямолінійний через пішохідний перехід. Відповідно до поведінки водія, який виконує вказаний маневр, необхідно відмітити, що перша прямолінійна ділянка відповідає зниженню швидкості, друга ділянка – рух з постійною швидкістю, третя ділянка – рух зі збільшенням швидкості. Загальна довжина траєкторії маневру містить гальмівний шлях транспортного засобу, який повинен закінчуватися біля розмітки 1.12, для випадку, що формує максимальну довжину гальмування. Таким чином, довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_r = L_0 + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + L_{a_{\max}}, \quad (1)$$

де L_r – загальна довжина траєкторії маневру руху праворуч, м;

α_r – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху праворуч на площі перехрестя, град.;

$L_{a_{\max}}$ – максимальна габаритна довжина транспортного засобу у складі транспортного потоку на площі перехрестя, м;

L_0 – гальмівний шлях транспортного засобу, м [4]:

$$L_0 = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot V_{ar} + \frac{(V_{ar})^2}{2 \cdot g \cdot \phi_x}, \quad (2)$$

де t_1 – час реакції водія на зміну сигналів світлофора, с [4];

t_2 – час спрацювання гальмівної системи, с [4];

t_3 – час зростання швидкості транспортного засобу, c [4];

V_{ar} – швидкість транспортного засобу на початку виконання маневру руху праворуч на площі перехрестя, m/c ;

g – прискорення вільного падіння, m/c^2 ;

φ_x – поздовжній коефіцієнт зчеплення дорожнього покриття на площі перехрестя, $од$.

З урахуванням (1) та (2) загальна необхідна довжина траєкторії виконання маневру руху праворуч через площу перехрестя в умовах зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий:

$$L_r = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot V_{ar} + \frac{(V_{ar})^2}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + L_{a_{max}}. \quad (3)$$

Маневр руху прямо, відповідно до рисунка 4, містить три елементарних складових: рух прямолінійний через пішохідний перехід, рух прямолінійний через площу перехрестя, рух прямолінійний через пішохідний перехід. Відповідно до поведінки водія, який виконує вказаний маневр, необхідно відмітити, що перша прямолінійна ділянка відповідає зниженню швидкості, друга ділянка – рух зі збільшенням швидкості, третя ділянка – також рух з більш інтенсивним збільшенням швидкості. Загальна довжина траєкторії маневру містить гальмівний шлях транспортного засобу, який повинен закінчуватися у розмітці 1.12, для випадку, що формує максимальну довжину гальмування.

Таким чином, довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_p = L_0 + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot l_{mn} + L_{a_{max}}, \quad (4)$$

де L_p – загальна довжина траєкторії маневру руху прямо, m .

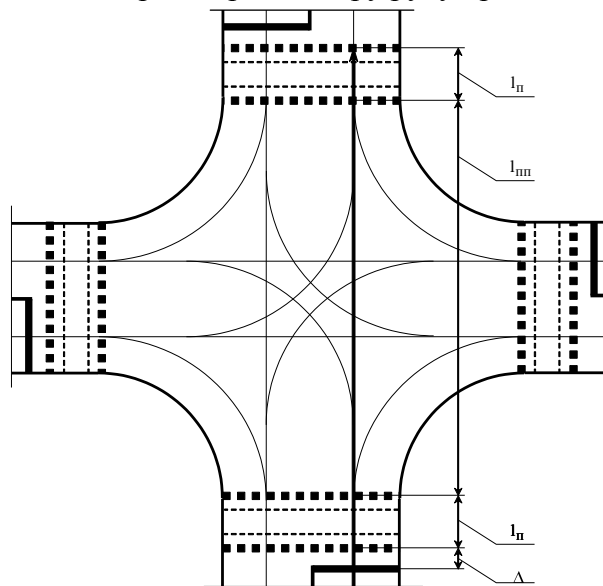


Рисунок 4 – Схема траєкторії руху прямо через площу перехрестя для умов формування двофазного світлофорного регулювання, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів з першого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;
- - - траєкторія руху транспортних засобів з другого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;

l_{mn} – відстань між пішохідними переходами;

l_n – ширина пішохідного переходу;

Δ – відстань між розміткою 1.14.3 та 1.12.

З урахуванням (2) та (4) загальна необхідна довжина траєкторії виконання маневру руху прямо через площу перехрестя в умовах зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий:

$$L_p = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot V_{ar} + \frac{(V_{ap})^2}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot R_n + L_\partial + L_{a_{\max}}, \quad (5)$$

де V_{ap} – швидкість транспортного засобу на початку виконання маневру руху прямо на площі перехрестя, м/с.

Маневр руху ліворуч, відповідно до рисунка 5, містить три елементарних складових: рух прямолінійний через пішохідний перехід, рух по радіусу, рух прямолінійний через пішохідний перехід. Відповідно до поведінки водія, який виконує вказаний маневр, необхідно відмітити, що перша прямолінійна ділянка відповідає зниженню швидкості, друга ділянка – рух з постійною швидкістю, третя ділянка – рух зі збільшенням швидкості. Загальна довжина траєкторії маневру містить гальмівний шлях транспортного засобу, який повинен закінчуватися біля розмітки 1.12 для випадку, що формує максимальну довжину гальмування.

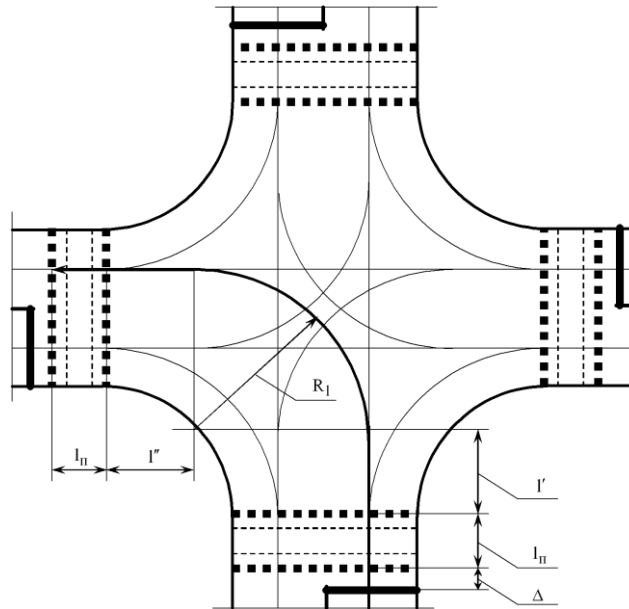


Рисунок 5 – Схема траєкторії руху ліворуч через площу перехрестя для умов формування двофазного світлофорного регулювання, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів з першого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;
- - - траєкторія руху транспортних засобів з другого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;

R_l – радіус лівого повороту;

l' , l'' – відстань між пішохідним переходом та початком повороту ліворуч;

l_n – ширина пішохідного переходу;

Δ – відстань між розмітками 1.14.3 та 1.12.

Таким чином, довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_l = L_0 + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_l}{180} \pi \cdot R_l + l' + l'' + L_{a_{\max}}, \quad (6)$$

де L_l – загальна довжина траєкторії маневру руху ліворуч, м;

α_l – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху ліворуч на площі перехрестя, град.;

L_0 – гальмівний шлях транспортного засобу, м.

З урахуванням (2) та (6) загальна необхідна довжина траєкторії виконання маневру руху ліворуч через площу перехрестя в умовах зміни сигналу світлофора із зеленого на жовтий:

$$L_l = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 \cdot V_{al} + \frac{(V_{al})^2}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_l}{180} \pi \cdot R_l + l' + l'' + L_{a_{\max}}, \quad (7)$$

де V_{al} – швидкість транспортного засобу на початку виконання маневру руху ліворуч на площі перехрестя, м/с.

Маневр руху ліворуч, відповідно до рисунка 6, містить п'ять елементарних складових: рух прямолінійний через пішохідний перехід, рух по радіусу, який формується на правому повороті, рух по радіусу, який максимально охоплює площу перехрестя, рух по радіусу, який формується на правому повороті, рух прямолінійний через пішохідний перехід.

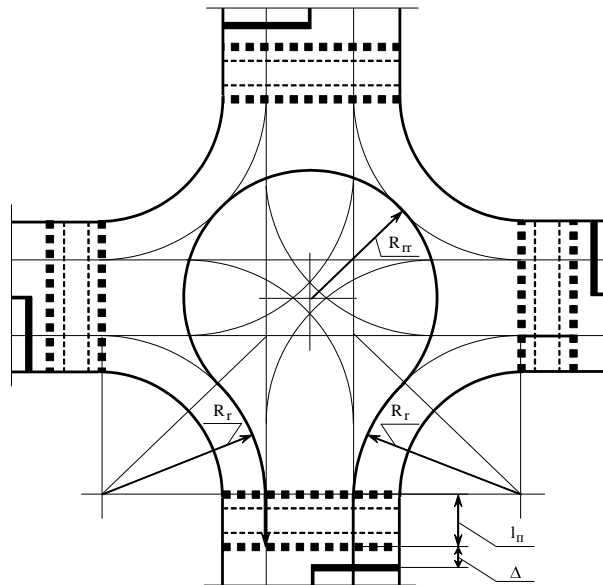


Рисунок 6 – Схема траєкторії маневру розвороту на площі перехрестя для умов формування двохфазного світлофорного регулювання, з позначенням:

- траєкторія руху транспортних засобів з першого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;
- - - траєкторія руху транспортних засобів з другого напрямку до точок повного проїзду конфліктної території перехрестя;

R_{rr} – максимальний радіус розвороту на площі перехрестя;

R_r – радіус правого повороту;

l_n – ширина пішохідного переходу;

Δ – відстань між розміткою 1.14.3 та 1.12;

R_{rr} – максимальний радіус виконання маневру розвороту на площі перехрестя, м.

Відповідно до поведінки водія, який виконує вказаний маневр, необхідно відмітити, що перша прямолінійна ділянка відповідає зниженню швидкості, друга ділянка – рух з пос-

тійною швидкістю, третя ділянка – рух з постійною швидкістю, четверта ділянка – рух з постійною швидкістю, п'ята ділянка – рух зі збільшенням швидкості. Загальна довжина траєкторії маневру містить гальмівний шлях транспортного засобу, який повинен закінчуватися біля розмітки 1.12 для випадку, що формує максимальну довжину гальмування.

Таким чином, довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_{rr} = L_0 + \Delta + 2 \cdot l_n + 4 \cdot \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + 2 \cdot \frac{\alpha_{rr}}{180} \pi \cdot R_{rr} + L_{a_{\max}}, \quad (8)$$

де L_{rr} – загальна довжина траєкторії маневру розвороту на площі перехрестя, м;

α'_r – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху по радіусу повороту праворуч на площі перехрестя, до умов сполучення з кривою розвороту, град.;

α_{rr} – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру розвороту на площі перехрестя, град.

З урахуванням (2) та (8) загальна необхідна довжина траєкторії виконання маневру розвороту через площу перехрестя в умовах зміни сигналу світлофора з зеленого на жовтий:

$$L_{rr} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_{arr} + \frac{V_{arr}^2}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \Delta + 2 \cdot l_n + 4 \cdot \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + 2 \cdot \frac{\alpha_{rr}}{180} \pi \cdot R_{rr} + L_{a_{\max}}, \quad (9)$$

де V_{arr} – швидкість транспортного засобу на початку виконання маневру розвороту на площі перехрестя, м/с.

З урахуванням проведених досліджень довжин траєкторій руху транспортних засобів у відповідних напрямках записується необхідна сукупність значень з (3), (5), (7) та (9).

Для формування проміжного такту необхідне значення часу виконання найбільш довгого маневру з дозволених у попередній фазі регулювання, тому отримані залежності (3), (5), (7) та (9) запишемо у наступному вигляді, з припущенням, що продовж маневру існує усереднена швидкість транспортного засобу:

$$T_r = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) + \frac{V_{ar}}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \frac{\Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + L_{a_{\max}}}{V_{ar}}, \quad (10)$$

$$T_p = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) + \frac{V_{ap}}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \frac{\Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot R_n + L_0 + L_{a_{\max}}}{V_{ap}}, \quad (11)$$

$$L_l = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) + \frac{V_{al}}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \frac{\Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha_l}{180} \pi \cdot R_l + l' + l'' + L_{a_{\max}}}{V_{al}}, \quad (12)$$

$$L_{rr} = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) + \frac{V_{arr}}{2 \cdot g \cdot \varphi_x} + \frac{\Delta + 2 \cdot l_n + 4 \cdot \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + 2 \cdot \frac{\alpha_{rr}}{180} \pi \cdot R_{rr} + L_{a_{\max}}}{V_{arr}}. \quad (13)$$

Швидкість транспортного засобу на початку виконання маневру руху на площі перехрестя пропонується визначати за формулою:

$$V_{ai} = \frac{n_{a\sigma_i}}{t_{\kappa_i}} \cdot \frac{100}{q_i}, \quad (14)$$

де $n_{авi}$ – кількість транспортних засобів у черзі, що зібралась продовж горіння сигналу червоного кольору на відповідному напрямку руху, *од.*;

$t_{кi}$ – тривалість горіння сигналу червоного кольору на відповідному напрямку руху, *с*;

q_i – щільність розташування транспортних засобів у черзі, що зібралась під час горіння червоного сигналу на відповідному напрямку руху, *авт/100 м*.

Значення (10)...(14) уособлюють розроблену методику визначення тривалості проміжного такту для відповідної фази світлофорного регулювання, яка передбачає обрання максимального часу необхідного для завершення серед дозволених маневрів руху через площу перехрестя.

Висновок

У роботі розглянуто проблему підвищення безпеки руху на перехрестях доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням, в межах якої вирішувалася наукова задача вдосконалення формування проміжних тактів регулювання, з метою забезпечення звільнення площі перехрестя від транспортних засобів, що продовжують рухатися за дозволеними напрямками відповідної фази регулювання. Розроблено необхідні залежності для розрахунку часу виконання маневрів повороту праворуч, руху прямо, повороту ліворуч, руху на розворот. З урахуванням відповідної схеми дозволених напрямів руху у попередній фазі регулювання приймається, серед розрахованих за розробленою методикою, максимальний час виконання відповідного дозволеного маневру.

Подальший розвиток досліджень

Запропонована методика розрахунку тривалості проміжних тактів світлофорного регулювання потребує відповідної експериментальної перевірки.

Список літератури

1. Редзюк А.М. Концепція державної програми підвищення безпеки дорожнього руху / А.М. Редзюк // Автошляховик України. Окремий випуск, 2007. – № 10. – С. 3 – 8.
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.
3. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения / Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев - М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 255 с.
4. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В.А. Иларионов. – М.: Транспорт, 1989. – 255 с.

Рецензент к.с.н., доц. Т.Є. Василенко, АДІ ДВНЗ «ДонНТУ».

Стаття надійшла до редакції 12.10.11
© Дудніков О.М., Пелих А.В., 2011