

ТРУШЕВСЬКИЙ В.Е.,
Запорізький національний технічний університет

ОСОБЛИВОСТІ ВВЕДЕННЯ ДОДАТКОВИХ СТОП-ЛІНІЙ НА РЕГУЛЬОВАНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ

У статті розглянуто існуючий підхід до введення додаткових стоп-ліній на регульованих перехрестях. Пропонується формальний підхід для визначення тривалості та структури складного перехідного інтервалу, що утворюється в світлофорному циклі при введенні на перехресті додаткових стоп-ліній. Запропоновано розрахункову методичку щодо обґрунтування необхідності введення додаткових стоп-ліній з міркувань безпеки дорожнього руху для гарантування проїзду найвіддаленіших конфліктних точок транспортними засобами, що завершують рух. Також визначено порядок розрахунку режиму роботи світлофорних сигнальних груп за напрямками, що перетинають додаткові стоп-лінії з метою забезпечення пропуску транспортного потоку розрахункової інтенсивності.

Ключові слова: світлофор, стоп-лінія, швидкість, напрям, фаза

Постановка проблеми

Перехрестя з рознесеними стоп-лініями утворюються при перетинанні вулиць бульварами та при віднесенні пішохідних переходів, коли пішохідні потоки перетинають проїзну частину у віддаленні від перехрестя або у випадках організації віднесених поворотів ліворуч, а також на перехрестях зі складним плануванням.

Режим роботи світлофорів, що регулюють рух за напрямками, для яких проектується додаткові стоп-лінії, необхідно узгоджувати зі зміною сигналів на інших напрямках регулювання цього перехрестя [1]; при цьому в структурах світлофорних циклів часто утворюються складні перехідні інтервали [2]. Крім того, збільшення геометричних розмірів зон перехрестя призводить до збільшення часу, необхідного для залишення транспортними засобами, що завершують рух у фазі регулювання цієї зони. Необхідність врахування означених факторів вимагає уточнення теоретичного підходу до визначення необхідності додаткових стоп-ліній на регульованих перехрестях.

Аналіз останніх досліджень

У підручнику [3] зазначається, що тривалість перехідного інтервалу у світлофорному циклі не повинна перевищувати $8s$. Таким чином, якщо під час розрахунку тривалості додаткового такту регулювання залежно від відстані руху та швидкості 85-% забезпечення [4], отримуємо тривалість такту більше за $8s$, необхідно розглянути можливість введення додаткових стоп-ліній.

Мета статті

Необхідно визначити, в яких випадках, окрім великої тривалості перехідних інтервалів, необхідно вводити додаткові стоп-лінії на регульованих перехрестях, чисельно визначити доцільність їх введення та сформулювати підхід до визначення часових характеристик роботи світлофорних сигнальних груп на перехрестях з рознесеними стоп-лініями.

Основний розділ

З точки зору принципу конфігурації перехрестя з рознесеними стоп-лініями можна поділити на 2 групи:

- з синхронним відпрацюванням циклограми сигнальними групами в перерізах рознесених стоп-ліній;
- із затримкою зеленого сигналу на вихідних стоп-лініях;
- з іншими схемами регулювання (наприклад, затримками в одному з напрямів).

Розглянемо особливості конфігурування та запису до програми схем пофазових роз'їздів перехресть означених типів. На рис. 1 наведено схему пофазового роз'їзду типового перехрестя з бульваром. Напрями, що розпочинають рух від рознесених стоп-ліній в одному напрямку мають різні номери для забезпечення можливості відпрацювання різних циклограм сигнальними групами одного напрямку, що працюють на рознесених стоп-лініях. Через це до першої фази включено 4 напрями, які попарно складають прямий та зворотній напрямки для магістралі загалом. До другої фази включено напрями з проїзних частин бульвару. Водії, що рухаються цими напрямками, на виконання вимоги Правил дорожнього руху, зупиняються перед стоп-лініями напрямів 5 та 6. Ця вимога розповсюджується і на водіїв, що прямують за напрямками 1 та 2.

Якщо перехрестя відноситься до першої з означених вище груп за схемою організації роботи світлофорного об'єкту, то для введення даних по ньому до програми треба користуватися звичайними принципами утворення конфліктної матриці. Геометричне визначення напрямів до дальших конфліктних точок (ДКТ) наведено на рис. 2. У випадку, якщо бульварні проїзди матимуть однакову ширину, відстані до дальніх точок для напрямів 1, 2, 5, 6 будуть однакові, або попарно однакові відповідно розташуванню рознесених стоп-ліній. Тому мінімальні проміжки для означених напрямів будуть однакові, а відпрацювання переходів «зелений – червоний» в перехідному інтервалі з першої на другу фазу також однаковим.

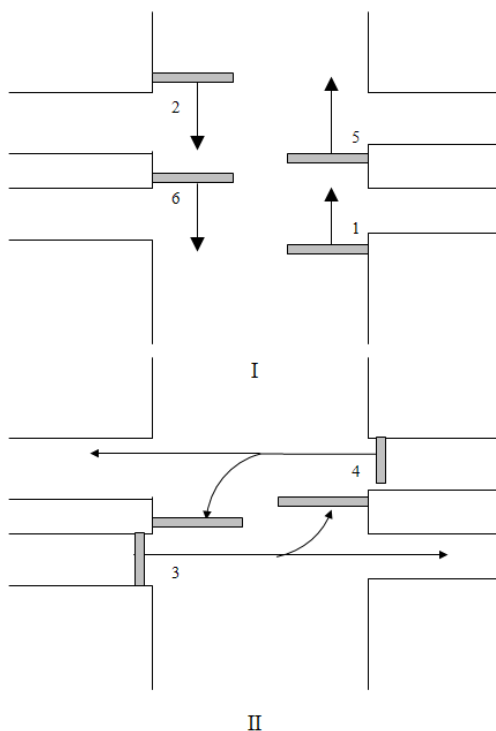


Рис. 1. Групи неконфліктних напрямів на перехресті з рознесеними стоп-лініями

У випадку, коли інтенсивність руху ліворуч на напрямках 3 та 4 буде високою, на виконання вимоги [1] про обов'язкову локальну координацію світлофорів на лініях регулювання необхідно буде забезпечити відсутність сталої черги в перехідному інтервалі з першої на другу фазу перед лініями регулювання напрямів 5 та 6, а при подальшому зростанні інтенсивності і змінити схему пофазового роз'їзду.

Для забезпечення відсутності залишкової черги необхідно, аби транспортні засоби першого та другого напрямків не зупинялися перед стоп-лініями напрямів 5 та 6, а значить, проїздили перехрестя повністю.

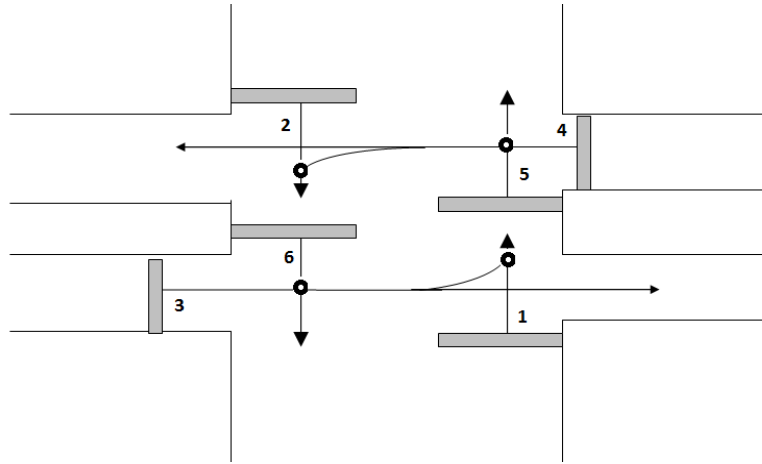


Рис. 2. Схема для визначення відстаней до дальніх конфліктних точок

Таким чином, найвіддаленіші конфліктні точки цих напрямів змінять своє положення та постануть на місцях дальніх конфліктів відповідно п'ятого та шостого напрямів. Таким чином, особливістю програмування режимів для перехресть другого виду з рознесеними стоп-лініями є зміна відстаней до ДКТ для напрямів перших стоп-ліній. На перехрестях з іншими схемами регулювання розрахунок відстаней до ДКТ провадиться в залежності від розташування місць на складному перехресті, де необхідна зупинка на заборонний сигнал, або виходячи з припущення, що в певних напрямках транспортний потік мусить проходити перехрестя без зупинки.

Таким чином, введення додаткових стоп-ліній дозволяє гарантувати безпечний проїзд транспортними засобами перехрестя у напрямі регулювання, за яким відстань до ДКТ є великою.

На основі матриці відстаней до дальніх конфліктних точок напрямів регулювання розраховується матриця мінімальних часових проміжків, елементи якої, окрім елементів головної діагоналі, що дорівнюють нулю, визначаються за формулою:

$$t[i, j] = t_p + \frac{V_i}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_i} - \frac{B'[j, i]}{V'_j} \quad (1)$$

де t_p – термін реакції водія, с (0,8...1,2 с),

V – швидкість руху, м/с

V' – максимально дозволена швидкість руху, м/с

a – прискорення уповільнення, $a^k = 2,5...3,0$ м/с²;

$B[i, j]$ – елемент матриці відстаней до ДКТ, м;

$B'[i, j]$ – елемент матриці відстаней до БКТ, м;

l_a – довжина зведеного автомобіля, м ($l_a = 5$ м).

При цьому за швидкість руху приймається швидкість 85-% забезпечення. У випадку, якщо транспортний засіб рухається з меншою швидкістю, він може не встигнути доїхати до дальньої конфліктної точки до моменту приїзду туди транспортного засобу з конфліктуючого напрямку. Назвемо швидкість, рухаючись з якою, автомобіль не встигне досягти конфліктної точки, критичною швидкістю $V_{кр}$.

$$t_p + \frac{V_{кр.i}}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_{кр.i}} - \frac{B'[j, i]}{V'_j} > t_p + \frac{V_i}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_i} - \frac{B'[j, i]}{V'_j} \quad (2)$$

$$\frac{V_{кр.i}}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_{кр.i}} > \frac{V_i}{2a} + \frac{B[i, j] + l_a}{V_i} \quad (3)$$

Після перетворень отримуємо:

$$V_i V_{кр}^2 - (V_i^2 + 2a(B[i, j] + l_a))V_{кр} + 2aV_i(B[i, j] + l_a) > 0 \quad (4)$$

$$V_{кр}^2 - \left(V_i + \frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i} \right) V_{кр} + 2a(B[i, j] + l_a) > 0 \quad (5)$$

Оскільки всі швидкості додатні та рівняння зведене, то, за теоремою Вієта:

$$(V_{кр} - V_i) \left(V_{кр} - \frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i} \right) > 0 \quad (6)$$

Отже,

$$\text{якщо } V_i^2 > 2a(B[i, j] + l_a), \text{ то } V_{кр} \in \left(-\infty; \frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i} \right) \cup (V_i; +\infty)$$

$$\text{якщо } V_i^2 < 2a(B[i, j] + l_a), \text{ то } V_{кр} \in (-\infty; V_i) \cup \left(\frac{2a(B[i, j] + l_a)}{V_i}; +\infty \right)$$

Оскільки миттєві швидкості руху транспортних засобів розподіляються за нормальним законом, то можна визначити ймовірність того, що миттєва швидкість будь-якого транспортного засобу не буде критичною, тобто не потрапить до наведених вище інтервалів.

$$P(\alpha \leq V \leq \beta) = \Phi\left(\frac{\beta - \bar{V}}{\sigma}\right) - \Phi\left(\frac{\alpha - \bar{V}}{\sigma}\right) \quad (7)$$

де α та β – межі інтервалу;

\bar{V} – середнє значення швидкості, м/с;

Φ – функція Лапласа;

σ – стандартне відхилення швидкості руху, м/с.

В нашому випадку, якщо $V_i^2 > 2a(B[i, j] + L_a)$, то $\alpha = \frac{2a(B[i, j] + L_a)}{V_i}$; $\beta = V_i$ та навпаки: якщо

$$V_i^2 < 2a(B[i, j] + L_a), \text{ то } \alpha = V_i; \beta = \frac{2a(B[i, j] + L_a)}{V_i}.$$

Крім того, за наявності додаткових стоп-ліній, перед ними протягом часу дії заборонного сигналу накопичується транспорт, що виїхав з другорядних напрямів (на рис. 2 це напрями 3 і 4) ліворуч. Ширина бульвару та кількість смуг за напрямими 5 і 6 повинні відповідати довжині черги, що утворюється, інакше вказані транспортні засоби заблокують перехрестя. Крім того, у ви-

падку, якщо перехрестя відноситься до першої групи за наведеною вище класифікацією, то між вхідними та додатковими стоп-лініями буде накопичуватися черга із числа тих транспортних засобів, що в'їхали на перехрестя в кінці дозволяючих сигналів за напрямками 1 та 2.

Зважаючи на зазначене, віднесення перехрестя до однієї з груп за режимом роботи напрямів регулювання вхідних і додаткових стоп-ліній слід виконувати в тому числі із урахуванням розміщення черги транспортних засобів перед додатковими стоп-лініями.

У випадку повністю насиченої фази транспортні засоби проїздять переріз стоп-лінії з інтенсивністю, що дорівнює потоку насичення під'їзду до перехрестя.

Оскільки черга перед додатковою стоп-лінією формується з числа транспортних засобів, що проїхали вхідну на дозволяючий сигнал та зупинилися перед додатковою на заборонний, а щільність потоку є часткою інтенсивності та швидкості руху [5], то її довжина становитиме:

$$l_q = \frac{\frac{B}{V} \sum_{j=1}^k M_j - \Delta t \sum_{o=1}^n M_p}{3600 p} \sum_{i=1}^m \frac{\alpha_i (l_{ai} + \Delta l)}{k_{npi}} \quad (8)$$

де B – відстань між вхідною та вихідною стоп-лініями, м;

V – швидкість руху 85-% забезпечення за вхідним напрямом, м/с;

M_j – потік насичення j -ої смуги на під'їзді, од./год.;

M_p – потік насичення p -ої смуги на виїзді, од./год.;

n, k – кількість смуг на виїзді та в'їзді відповідно;

Δt – зсув між вимкненням дозволяючих сигналів світлофорів за вхідним та додатковим напрямом регулювання, с;

α_i – частка в потоці транспортних засобів i -го типу;

k_{npi} – коефіцієнт зведення транспортного засобу до легкового автомобіля;

l_{ai} – габаритна довжина автомобіля i -го типу, м;

Δl – мінімальна дистанція між автомобілями, що зупинилися один за одним, м.

Фактична довжина ділянки проїзної частини, на якій буде розташовуватись черга, повинна перевищувати розрахункове значення довжини черги.

Висновки

Пропонований підхід дозволяє формально визначити необхідність введення додаткових стоп-ліній на регульованих перехрестях за вимогами безпеки дорожнього руху та встановити режим роботи світлофорних сигнальних груп напрямів регулювання, що проходять через додаткові стоп-лінії.

Список літератури

1. ДСТУ4092-2002. Безпека дорожнього руху. Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки. – на заміну ГОСТ 25695-91; введ. 10.06.2002р. – К.: Держстандарт України, 2002. – 31с.
2. Руководство по регулированию дорожного движения в городах.– М.: Стройиздат,1974. –96с.
3. Кременец Ю.А. Технические средства организации дорожного движения: учебник для вузов/ Ю.А. Кременец, М.П. Печерский, М.Б. Афанасьев; – М.: ИКЦ «Академкнига», 2005. – 279с.
4. Левашев А.Г. Проектирование регулируемых пересечений: учеб. пособие / А.Г. Левашев, А.Ю. Михайлов, И.М. Головных; – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007.– 208 с.
5. Иносе Х. Управление дорожным движением/ Х. Иносе, Т. Тамада; М. –Транспорт, 1983. – 247с.

Трушевский В.Э. Особенности введения дополнительных стоп-линий на регулируемом перекрестке

***Аннотация.** В статье рассмотрен существующий подход к введению дополнительных стоп-линий на регулируемых перекрестках. Предлагается формальный подход для определения продолжительности и структуры сложного переходного интервала, образующегося в светофорном цикле при введении на перекрестке дополнительных стоп-линий. Предложена расчетная методика по обоснованию необходимости введения дополнительных стоп-линий по соображениям безопасности дорожного движения для обеспечения проезда дальних конфликтных точек транспортными средствами, которые завершают движение. Также определен порядок расчета режима работы светофорных сигнальных групп по направлениям, пересекающих дополнительные стоп-линии с целью обеспечения пропуска транспортного потока расчетной интенсивности.*

***Ключевые слова:** светофор, стоп-линия, скорость, направление, фаза*

Trushevsky V.E. Features of the additional stop-lines introduction on the crossroads with traffic lights

***Abstract.** The article reviews the current approach to the introduction of additional brake lines at intersections controlled. Formal approach is proposed to determine the length and structure of the complex transition interval formed in cycle traffic light at the intersection with the introduction of additional brake lines. The calculated method of the rationale for the introduction of additional brake lines for reasons of road safety to ensure travel the farthest points of conflict in vehicles that complete the movement. There is a procedure for calculating the mode of the traffic light signal groups in areas that intersect additional brake line to ensure the traffic flow crossing the calculated intensity.*

***Keywords:** traffic lights, stop-line, speed, direction, phase*

Стаття надійшла до редакції 09.12.2013 р.