

Литвин А.О., магістрант, Дудніков О.М., к.т.н.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

ОЦІНКА БЕЗПЕКИ РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ МІСЬКОГО ТИПУ НА ОДНОМУ РІВНІ ЗА РЕЖИМАМИ РОБОТИ СВІТЛОФОРНОГО ОБ'ЄКТА

У роботі розглядається проблема підвищення безпеки руху на перехрестях доріг на одному рівні зі світлофорним регулюванням. Сформульовані підходи до оцінки станів руху на перехресті доріг відповідно до режимів роботи світлофорного об'єкту. Запропонована методика розрахунку імовірної кількості дорожньо-транспортних подій продовж року відповідно до режимів роботи світлофорного об'єкту на пересіченні.

Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Сучасний стан безпеки руху на пересіченнях доріг є досить складним, на що вказує загальнодержавна статистика аварійності [1]. Найбільш впливовим заходом з організації руху та підвищення його безпеки на перехрестях доріг в одному рівні прийнято вважати введення світлофорного регулювання [2]. На сьогодні державними стандартами визначена необхідність застосування світлофорного регулювання так званими критеріями введення світлофорного регулювання, яких існує п'ять [3]: протягом восьми годин робочого дня середньогодинна інтенсивність руху транспортних засобів (авт./год.) не менша зазначеної в [2]; протягом восьми годин робочого дня середньогодинна інтенсивність руху транспортних засобів (авт./год.) не менша зазначеної з урахуванням інтенсивності руху пішоходів в [2]; існує проміжок часу в одну годину, протягом якого виконується попередня умова в [2]; перша та друга умови одночасно виконуються за кожним окремим нормативом не менше ніж на 80%; за останні 12 місяців на перехресті скоєно не менше трьох дорожньо-транспортних подій, яких можна було б запобігти за наявності світлофорної сигналізації, до того ж умови 1 та 2 повинні виконуватись не менше ніж на 80%.

Вказані критерії введення світлофорного регулювання враховують два основних фактори: інтенсивність руху транспортних засобів й пішоходів та кількісні характеристики аварійності. Введення світлофорного регулювання відносно вказаних факторів повинно забезпечувати підвищення пропускну здатності перехрестя та безпеки руху на ньому. Існує методика щодо оцінки безпеки руху на перехресті доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням [4]. Прийнято вважати, що рівень аварійності на таких перехрестях визначається в основному дисципліною водіїв [4]. Безпеку руху на перехрестях на одному рівні зі світлофорним регулюванням оцінюють по небезпеці наявних конфліктних точок. На відміну від нерегульованих перехресть на регульованих виділяють шість конфліктних точок, характеристики яких наведені у таблиці 1 [4]. Небезпека конфліктних точок (за виключенням попутних зіткнень транспортних засобів) на перехрестях зі світлофорним регулюванням [4]:

$$q_i = K_i M_i N_i \cdot 10^{-2}, \quad (1)$$

де q_i — імовірна аварійність у i -тій конфліктній точці, ДТП/рік;

K_i — небезпека i -тої конфліктної точки, ДТП на 10 млн. авт. [4];

M_i, N_i — інтенсивності транспортних потоків у i -тій конфліктній точці, авт./год.

Таблиця 1

Характеристики конфліктних точок на перехрестях зі світлофорним регулюванням

Взаємодія потоків	Схеми руху	Небезпека конфліктної точки, ДТП на 10 млн. авт.
Розділення: повороти без перешкод зі смуги прямого або поворотного руху		0,000100
Лівий поворот з присутністю перешкод з інших смуг руху		0,000102
Пересічення лівоповоротного потоку з прямим		0,000048
Пересічення автомобільних потоків з трамвайним рухом		0,000207
Злиття на одній смузі		0,000968
Наїзд на автомобілі на підході до стоп-лінії		0,012425*

*При оцінці небезпеки цієї конфліктної точки використовують суму всіх потоків, які підходять до перехрестя.

Імовірне число попутних зіткнень транспортних засобів [3]:

$$q_n = K_n (M_{t\Sigma} + N_{t\Sigma}) \cdot 10^{-2} q_H = K_n \cdot (M_{t\Sigma} + N_{t\Sigma}) \cdot 10^{-2}, \quad (2)$$

де q_n — імовірне число попутних зіткнень транспортних засобів, ДТП/рік;

K_n — небезпека наїзду, ДТП на 10 млн. авт. [3];

$M_{t\Sigma}, N_{t\Sigma}, M_{t\Sigma}$ — сумарні інтенсивності руху біля перехрестя доріг, авт./год.

Імовірну аварійність на перехресті доріг можна розрахувати відповідно до методики [4] за емпіричною формулою:

$$G_p = -0,468 + q_n + \sum_{i=1}^n q_i, \quad (3)$$

де G_p — імовірна аварійність на регульованому перехресті доріг, ДТП/рік;

n — число конфліктних точок на перехресті доріг.

Вказана методика має ряд суттєвих недоліків. Головний недолік закладений у відсутності врахування методикою практично всіх характеристик роботи світлофорного об'єкту на перехресті. Не враховуються: тривалість циклу регулювання, кількість фаз регулювання та їх тривалість, характеристики схем пофазного роз'їзду. Додатково відсутнє врахування тривалості режимів роботи світлофорного об'єкту продовж доби у стані програмного регулювання, жовтого миготіння та у режимі повністю виключеного світлофорного об'єкту.

Зазначене вище розкриває наукову задачу щодо визначення впливу режимів роботи світлофорного об'єкту на безпеку руху через перехрестя доріг на одному рівні.

Мета роботи

Метою роботи є розробка методики врахування впливу режимів роботи світлофорного об'єкту на безпеку руху через перехрестя доріг на одному рівні.

Основна частина

Процес руху транспортних засобів через перехрестя доріг на одному рівні зі світлофорним регулюванням продовж доби є якісно різним, що пов'язане насамперед з двома основними факторами: коливання інтенсивності прибуття транспортних засобів до перехрестя за часом доби та за напрямками руху; режими роботи світлофорного об'єкту за часом доби, у режимі регулювання за відповідними програмами або у режимі адаптивного регулювання, у режимі жовтого миготіння за всіма напрямками та у режимі вимкненого світлофорного об'єкту.

Відповідно до перерахованих режимів роботи світлофорного об'єкту на перехресті доріг на одному рівні формуються продовж доби якісно різні процеси руху транспортних засобів на території перехрестя. Пропонується вести оцінку безпеки руху на перехресті доріг зі світлофорним регулюванням у напрямках відповідно до вказаних режимів роботи світлофорного об'єкту. Пропонується вести оцінку безпеки процесу роз'їзду транспортних засобів на території перехрестя за методом оцінки імовірної аварійності у конфліктних точках [5].

У режимі вимкненого світлофорного об'єкту та у режимі жовтого миготіння світлофорів на всіх напрямках руху роз'їзд транспортних засобів на території перехрестя відбувається за всіма дозволеними напрямками руху, що передбачені конструкцією проїзної частини перехрестя, застосованими напрямними пристроями, дорожніми знаками та розміткою й відповідно до вимог Правил дорожнього руху. Приклад формування конфліктних точок на території перехрестя у вказаних режимах роботи світлофорного об'єкта наведений на рис. 1.

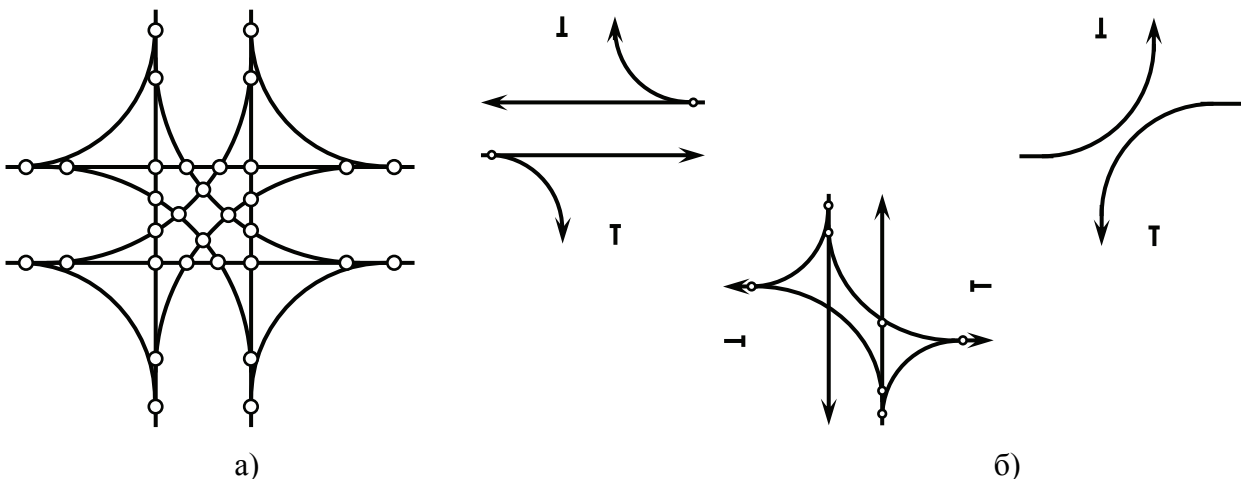


Рис. 1. Формування конфліктних точок на території перехрестя відповідно до режимів роботи світлофорного об'єкта:

а) формування конфліктних точок на території перехрестя в режимі вимкненого світлофорного об'єкта та при режимі роботи жовтого миготіння на всіх напрямках;

б) формування конфліктних точок на території перехрестя в режимі роботи світлофорного об'єкта у відповідній фазі регулювання (наведено приклад для трьохфазного циклу світлофорного регулювання).

Режим роботи світлофорного об'єкта при виконанні циклу регулювання з погляду формування конфліктних точок на території перехрестя можливо розглядати, як послідовну зміну певної кількості конфліктних точок, визначену схемами пофазного роз'їзду, (рис. 1 б).

Пропонується змодельовати процес роз'їзду транспортних засобів на перехресті доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням на протязі доби, як послідовну зміну станів руху за наведеними схемами (рис. 1).

Для проведення оцінки безпеки руху на перехрестях доріг в одному рівні зі світлофорним регулюванням необхідно до сформованих схем роз'їзду додати час їхнього існування з відповідною на цей час інтенсивністю руху.

Загальний час роз'їзду транспортних засобів на території перехрестя можна формалізувати наступним чином:

$$T = t_r + t_m + t_0 = \frac{\alpha T_u}{3600} + t_m + t_0 = \frac{\alpha}{3600} \left(\sum_{j=1}^{\phi} (t_{zj} + t_{nj}) \right) + t_m + t_0, \quad (4)$$

де T — загальний час роз'їзду транспортних засобів на території перехрестя, дорівнює часу доби, год.; $T = 24$ год.;

t_r — час знаходження світлофорного об'єкта в режимі програмного регулювання, год.;

t_m — час знаходження світлофорного об'єкта в режимі жовтого миготіння, год.;

t_0 — час знаходження світлофорного об'єкта в вимкнутому стані, год.;

α — кількість повторів циклів світлофорного регулювання продовж часу t_r , од.;

T_u — тривалість циклу світлофорного регулювання, с;

ϕ — кількість фаз світлофорного регулювання, од.;

t_{zj} — тривалість основного такту у j -й фазі світлофорного регулювання, с;

t_{nj} — тривалість проміжного такту у j -й фазі світлофорного регулювання, с.

Відповідно до формули (4) значення частки часу існування роз'їздів транспортних засобів на території перехрестя можна визначити за наступними формулами:

$$\begin{aligned} \Delta t_1 &= \frac{\alpha}{3600} (t_{z1} + t_{n1}) = \frac{\alpha}{86400} (t_{z1} + t_{n1}), \dots\dots\dots, \\ \Delta t_j &= \frac{\alpha}{3600} (t_{zj} + t_{nj}) = \frac{\alpha}{86400} (t_{zj} + t_{nj}), \dots\dots\dots, \\ \Delta t_\phi &= \frac{\alpha}{3600} (t_{z\phi} + t_{n\phi}) = \frac{\alpha}{86400} (t_{z\phi} + t_{n\phi}), \quad \Delta t_{\phi+1} = \frac{t_0 + t_m}{24}, \end{aligned} \quad (5)$$

де $\Delta t_1 \dots \Delta t_j \dots \Delta t_\phi$ — доля часу існування роз'їзду транспортних засобів в режимі роботи світлофорного об'єкта за фазами регулювання (відповідає рис. 1 б), од.;

$\Delta t_{\phi+1}$ — доля часу існування роз'їзду транспортних засобів в режимі роботи вимкненого світлофорного об'єкта або жовтого миготіння, (відповідає рис. 1 а), од.

За методикою [5] прийнято оцінювати небезпеку конфліктної точки за наступною формулою:

$$q_i = K_i M_i N_i \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7}, \quad (6)$$

де q_i — імовірна аварійність у конфліктній точці, ДТП/рік;

K_i — небезпека конфліктної точки, ДТП на 10 млн. авт. [5];

M_i, N_i — інтенсивності транспортних потоків, що пересікаються у конфліктній точці, авт./доб.;

K_r — коефіцієнт річної нерівномірності руху, це відношення середньодобової інтенсивності руху до річної середньодобової інтенсивності руху [5];

25 — коефіцієнт, що враховує кількість робочих днів за місяць [5].

Аналіз методики розрахунку імовірної кількості ДТП в точці за формулами (1) та (6) дозволив розкрити особливості експериментального визначення небезпеки конфліктної точки та з'ясувати невідповідність одиниць виміру K_i , що заявляються у методиці як ДТП на 10 млн.авт. Значення K_i для відповідного типу конфліктної точки визначалося, як кількість ДТП за даними топографічного аналізу на перехресті за рік, котре було поділено на 365 з метою отримання усередненої кількості ДТП на добу, потім отримане значення було поділено на інтенсивність одного транспортного потоку, що проходить через точку за добу, та на інтенсивність другого транспортного потоку, що проходить через точку за добу, на реальних перехрестях доріг з подальшим усередненням й помноженням значення на 10 мільйонів. Тоді K_i має наступні одиниці виміру:

$$[K_i] = \frac{\text{ДТП}}{\text{доб.}} \cdot \frac{\text{доб.}}{\text{авт.}} \cdot \frac{\text{доб.}}{\text{авт.}} \cdot 10^7 = \frac{\text{ДТП}}{\text{доб.}} \left(\frac{\text{доб.}}{\text{авт.}} \right)^2 10^7.$$

Підстановка одиниць виміру K_i у (6) дає можливість отримати у результаті імовірну кількість ДТП у конфліктній точці за рік:

$$[q_i] = \left(\frac{\text{ДТП}}{\text{доб.}} \left(\frac{\text{доб.}}{\text{авт.}} \right)^2 10^7 \right) \cdot \frac{\text{авт.}}{\text{доб.}} \cdot \frac{\text{авт.}}{\text{доб.}} \cdot \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7} = \frac{\text{ДТП}}{\text{доб.}} \cdot \frac{25}{K_r} = \frac{\text{ДТП}}{\text{рік}}.$$

З урахуванням отриманого, необхідно зазначити, що K_i можна застосовувати сумісно з годинною інтенсивністю руху, яка застосовується при побудові схем, що зображені рис. 1. Додатково у межах застосування K_i для оцінки імовірної аварійності у конфліктних точках (рис. 1) необхідно враховувати час (5) існування кожного з роз'їздів транспортних засобів у відповідних режимах роботи світлофорного об'єкта.

Пропонується вести розрахунок ступеня небезпеки кожної конфліктної точки у відповідних режимах роботи світлофорного об'єкта:

$$\begin{aligned} q_{li} &= K_{li} \Delta t_1 \left(\frac{M_{li}}{0,076} \right) \left(\frac{N_{li}}{0,076} \right) \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7} = K_{li} \frac{\alpha}{86400} (t_{z1} + t_{p1}) \frac{M_{li} N_{li}}{0,076^2} \frac{25}{K_r} \cdot 10^{-7}, \\ q_{li} &= K_{li} \alpha (t_{z1} + t_{p1}) \frac{M_{li} N_{li}}{0,076^2} \frac{1}{K_r} \frac{10^{-7}}{3456}, \dots\dots\dots, \\ q_{ji} &= K_{ji} \alpha (t_{zj} + t_{pj}) \frac{M_{ji} N_{ji}}{0,076^2} \frac{1}{K_r} \frac{10^{-7}}{3456}, \dots\dots\dots, \\ q_{\phi i} &= K_{\phi i} \alpha (t_{z\phi} + t_{p\phi}) \frac{M_{\phi i} N_{\phi i}}{0,076^2} \frac{1}{K_r} \frac{10^{-7}}{3456}, \\ q_{(\phi+1)i} &= K_{(\phi+1)i} (t_0 + t_m) \frac{M_{(\phi+1)i} N_{(\phi+1)i}}{0,076^2} \frac{1}{K_r} \frac{10^{-7}}{82944}, \end{aligned} \quad (7)$$

де 0,076 — коефіцієнт переведення годинної інтенсивності руху у середню добову інтенсивність [6].

Імовірна кількість ДТП за рік у конфліктних точках на перехресті доріг зі світлофорним регулюванням з урахуванням режимів роботи світлофорного об'єкта розраховується за наступною формулою:

$$G = \sum_{j=1}^{\phi+1} \left(\sum_{i=1}^{n_j} q_{ji} \right), \quad (8)$$

де $(\phi + 1)$ — загальна кількість схем роз'їзду транспортних засобів відповідно до режимів роботи світлофорного об'єкта, *од.*;

n_j — кількість конфліктних точок у j -тій схемі роз'їзду транспортних засобів відповідного режиму роботи світлофорного об'єкта, *од.*

З урахуванням існуючих розробок відносно оцінки імовірної кількості попутних зіткнень транспортних засобів (2) та залежності (3) пропонується імовірну кількість ДТП на перехресті доріг зі світлофорним регулюванням розрахувати за наступною формулою:

$$G_p = q_0 + K_n (M_{t\Sigma} + N_{t\Sigma}) \cdot 10^{-2} + \sum_{j=1}^{\phi+1} \left(\sum_{i=1}^{n_j} q_{ji} \right), \quad (9)$$

де G_p — імовірна кількість ДТП на перехресті доріг зі світлофорним регулюванням за рік, *ДТП/рік*;

q_0 — емпіричний коефіцієнт, що дозволяє корегувати розрахунки відповідно до відсутності врахування супутніх впливових факторів на виникнення ДТП у запропонованій методиці, *ДТП/рік*.

Висновок

Таким чином, у роботі досягнута мета щодо формалізації впливу режимів роботи світлофорного об'єкту на безпеку руху через перехрестя доріг на одному рівні, що дозволило сформулювати відповідну розрахункову методику визначення імовірної кількості ДТП на перехресті доріг зі світлофорним регулюванням за рік. Сформульована методика дозволяє проводити прогноз кількості ДТП за рік, що відповідають видам 1,2,3,4 без урахування ДТП, що пов'язані з наїздом на пішохода та інших до 9-го типу.

Подальший розвиток досліджень

Розроблена методика потребує емпіричних досліджень з метою визначення необхідних констант та подальшої експериментальної перевірки формалізованого впливу режимів роботи світлофорного об'єкту на безпеку руху на перехресті доріг. Також надалі потрібно сформулювати порогові значення прогнозу кількості ДТП з метою розробки заходів щодо підвищення безпеки руху.

Список літератури

1. Редзюк А.М. Проблема безпеки дорожнього руху в Україні та заходи щодо суттєвого зменшення загиблих і постраждалих у ДТП // Автошляховик України. — 2005. — №5. — С. 6-10.
2. Кременец Ю.А., Печерський М.П., Афанасьєв М.Б. Технические средства организации дорожного движения. — М.: ИКЦ "Академкнига", 2005. — 250 с.
3. ДСТУ 4092-2002 Світлофори дорожні. Загальні технічні вимоги, правила застосування та вимоги безпеки. — К.: Держстандарт України, 2002. — 31 с.
4. Лобанов Е.М. Транспортная планировка городов: Учебник для студентов вузов. — М.: Транспорт, 1990. — 240 с.
5. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения. — М.: Транспорт, 1993. — 271 с.
6. Сильянов В.В. Теория транспортных потоков в проектировании дорог и организации движения. — М.: Транспорт, 1977. — 303 с.

Стаття надійшла до редакції 05.03.08

© Литвин А.О., Дудніков О.М., 2008