



• © Р.О. Лапунин, канд. техн. наук (АДІ ДВНЗ “Донецький національний технічний університет”)

## ТЕХНОЛОГІЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕКИ ДОРОЖНЬОГО РУХУ НА ПЕРЕХРЕСТЯХ В РЕЖИМІ РЕАЛЬНОГО ЧАСУ

***Анотація.** Присвячено проблемі підвищення безпеки руху на нерегульованих перехрестях на одному рівні. Розроблено технологію та принципову схему системи забезпечення безпеки дорожнього руху на перехрестях на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок в режимі реального часу.*

***Ключові слова:** перехрестя, потік транспортний, безпека дорожнього руху, пригода дорожньо-транспортна.*

***Аннотация.** Посвящено проблеме повышения безопасности движения на нерегулируемых перекрестках на одном уровне. Разработана технология и принципиальная схема системы обеспечения безопасности дорожного движения на перекрестках в одном уровне при сосредоточенном расположении конфликтных точек в режиме реального времени.*

***Ключевые слова:** перекресток, поток транспортный, безопасность дорожного движения, происшествие дорожно-транспортное.*

***Annotation.** The work is devoted to improving traffic safety on unregulated intersections. Developed the technology and the concept provision of road safety at intersections on the one level with the concentrated location of conflict points in real-time.*

***Keywords:** crossroads, traffic flow, traffic safety, traffic accident.*

### Вступ

Відомо, що перехрестя на одному рівні є найаварійнішими місцями вулично-дорожньої мережі [1]. В Україні на нерегульованих перехрестях на одному рівні відбувається 12,2 % дорожньо-транспортних пригод (далі – ДТП), а якщо розглядати тільки міста країни, на вулично-дорожню мережу яких припадає близько 70 % ДТП, то на перехрестях відбувається в середньому 75 % ДТП. Висока аварійність у вказаних місцях передусім пов'язана з безпосередньою взаємодією транспортних засобів (далі – ТЗ) на площі перехрестя, негативні наслідки якої особливо відчутні в умовах щільних та інтенсивних транспортних потоків.

У методології дослідження безпеки дорожнього руху можна виокремити три найпоширеніших групи методів, а саме [2]: статистичні, конфліктні ситуації, потенційна небезпека. У вказаних методах безпека руху розглядається як характеристика дорожнього руху, що виражається аварійністю. Тож ці методи дають змогу оцінити та спрогнозу-

вати безпеку руху на підставі аналізу аварійності та характеристик дорожніх умов і транспортних потоків. Серед вказаних методів також не враховано дуже важливу особливість, а саме те, що ДТП виникає у конкретний час, в який формуються особливі умови руху, що призвели до його виникнення. Отже, забезпечення безпеки руху ТЗ у режимі реального часу дасть змогу ефективніше впливати на аварійність із метою її зниження.

У роботі [3] запропоновано враховувати мінливість дорожньо-транспортної ситуації у часі, пов'язаної з нестаціонарністю транспортних потоків, та розроблено критерії оцінки поточної безпеки руху ТЗ на підходах та площі нерегульованого перехрестя на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок. Зазначені критерії надають можливість оперативного забезпечення безпеки руху на підходах та площі перехрестя.

*Мета роботи* полягає у розробці технології та принципової схеми системи забезпечення безпеки



дорожнього руху на перехрестях на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок в режимі реального часу.

**Основна частина**

У роботі [3] запропоновано поняття поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні та кількісна характеристика її оцінки – поточний коефіцієнт конфліктності (далі – ПКК), математична модель якого має такий вигляд:

$$\left\{ \begin{aligned} \alpha(t) &= \frac{(\lambda(t_0) + \lambda^+(t) - \lambda^-(t)) \cdot \left( \sum_{i=1}^{k_{\Pi}} S_{\Pi,i} + \sum_{i=1}^{k_3} S_{3,i} + \sum_{i=1}^{k_p} S_{p,i} \right)}{S_{\text{пр}} \cdot \lambda_{k,\text{max}}}; \\ \alpha^{\text{гр}} &= \frac{\lambda_{k,\text{min}}}{\lambda_{k,\text{max}}}. \end{aligned} \right. \quad (1)$$

де  $\alpha(t)$  – поточний коефіцієнт конфліктності;  $\lambda(t)$  – початкова поточна кількість транспортних засобів на площі перехрестя;  $\lambda^+(t)$  – кількість ТЗ,

що в'їхали на площу перехрестя за час  $t$ ;  $\lambda^-(t)$  – кількість ТЗ, що виїхали з площі перехрестя за час  $t$ ;  $S_{\Pi}$ ,  $S_3$ ,  $S_p$  – площі конфліктних зон відповідно перетину, злиття та розгалуження смуг руху ТЗ;  $k_{\Pi}$ ,  $k_3$ ,  $k_p$  – кількість конфліктних точок відповідно перетин, злиття та розгалуження імовірних траєкторій транспортного потоку на перехресті на одному рівні;  $S_{\text{пр}}$  – загальна площа поїзної частини перехрестя на одному рівні;  $\alpha^{\text{гр}}$  – граничне значення ПКК перехрестя;  $\lambda_{k,\text{max}}$  – максимально можлива конфліктна кількість ТЗ на площі перехрестя;  $\lambda_{k,\text{min}}$  – мінімально необхідна кількість ТЗ для виникнення ДТП на площі перехрестя.

За допомогою вказаного коефіцієнта можна оцінити безпеку руху на перехрестях у режимі реального часу шляхом порівняння його поточного значення з граничним.

Скориставшись експериментальними даними залежності максимальної інтенсивності транспортних потоків другорядного напрямку від інтенсивності транспортних потоків головного напрямку

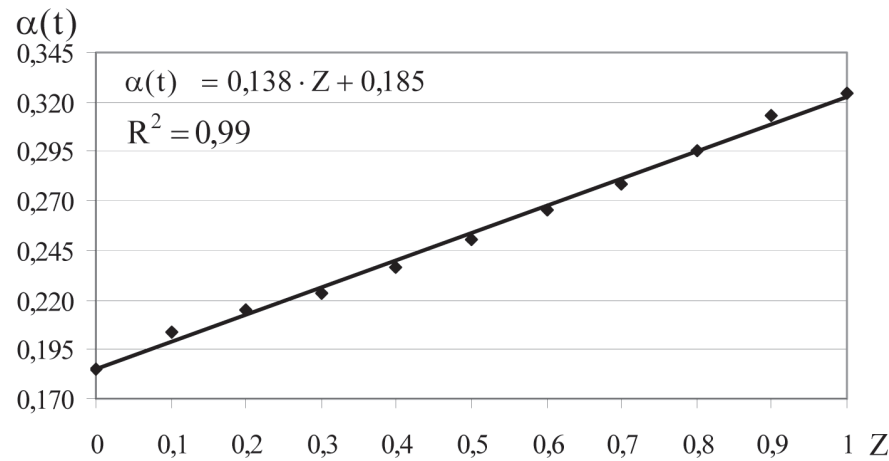


Рис. 1. Графік лінійної регресії зміни  $\alpha(t)$  від  $Z$ : 1 – графік експериментальних даних; 2 – графік лінійної регресії

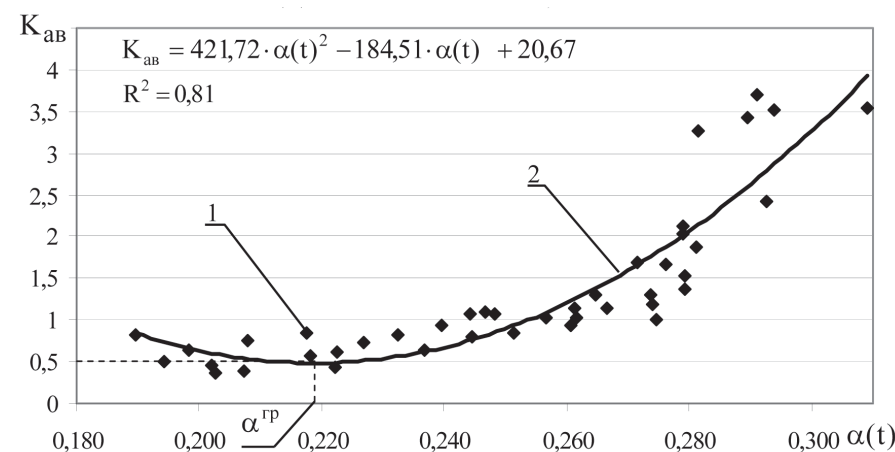


Рис. 2. Графік поліноміальної регресії зміни відносної кількості ДТП від  $\alpha(t)$ : 1 – експериментальні дані [5]; 2 – графік поліноміальної регресії з показником ступеня 2

[4], доведено лінійний зв'язок між ПКК та рівнем завантаження дороги рухом  $Z$  на підходах до перехрестя (рис. 1).

Такий доведений зв'язок між ПКК та  $Z$  дає можливість встановити залежність відносної кількості ДТП на площі перехрестя від ПКК, використовуючи експериментальні дані залежності кількості ДТП від  $Z$  [5] (рис. 2).

Аналіз вказаної залежності (рис. 3) дає змогу зробити такі висновки. При значеннях  $\alpha(t)$  близьких до 0 транспортні потоки на підходах перехрестя є вільними, що відповідає рівню зручності  $A$  [5]. За таких умов ДТП на площі перехрестя відбувається головним чином через високі швидкості руху ТЗ на підходах перехрестя та несподіваною появою ТЗ на конфліктному напрямку. Саме такі ДТП мають випадковий характер. Однак їх можна уникнути шляхом контролю різниці вхідного часу [3] між конфліктними ТЗ. При збільшенні  $\alpha(t)$  до значення  $\alpha^{\text{гр}}$  кількість ДТП починає зменшуватись через те, що транспортні потоки на підходах

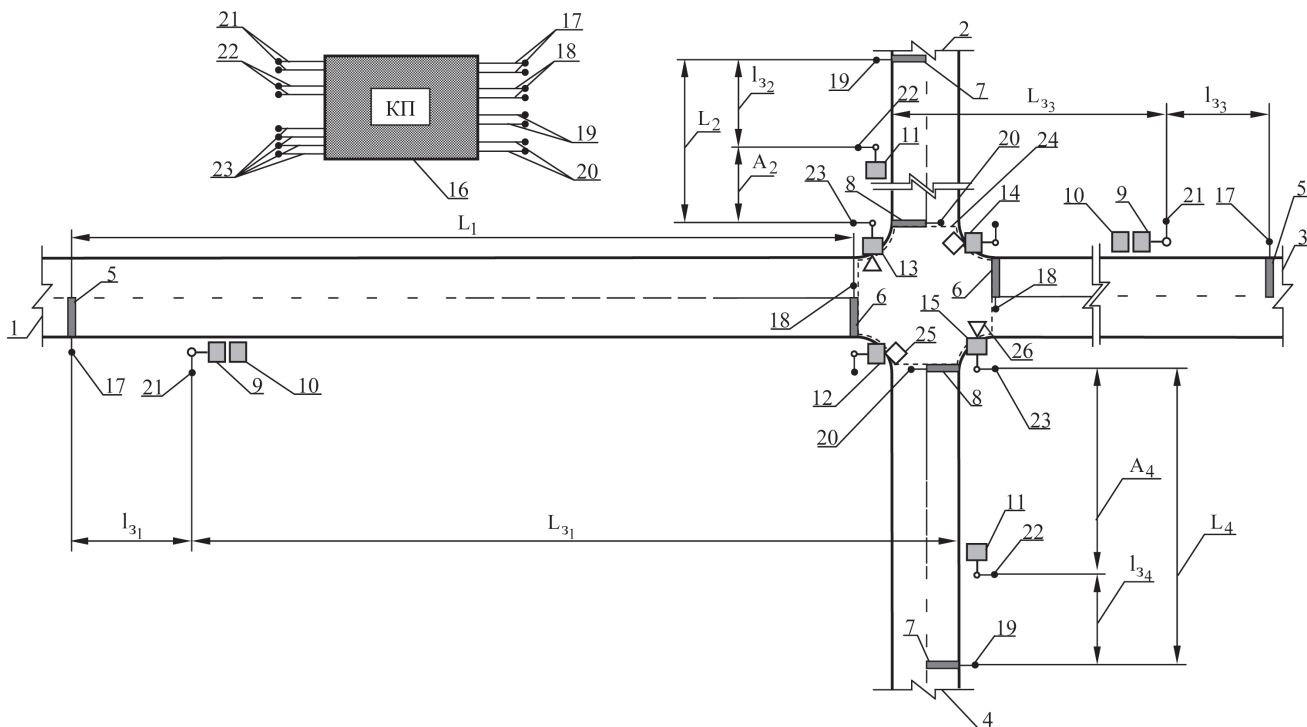


Рис. 3. Схема системи забезпечення безпеки дорожнього руху на перехресті на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок

перехрестя переходять у стан частково пов'язаних (рівень зручності Б). Швидкість руху ТЗ на підходах зменшується, водії стають уважнішими. При збільшенні  $\alpha(t)$  від  $\alpha^{TP}$  починає зростати кількість ДТП на площі перехрестя. Це викликано тим, що на підходах перехрестя транспортні потоки є пов'язаними (рівень зручності В), дистанція між ТЗ головного напрямку зменшується. Водії ТЗ другорядного напрямку, за відсутності відповідних засобів управління дорожнім рухом, здебільшого приймають рішення про виконання маневру на інтуїтивному рівні. Найчастіше вони недостатньо впевнені щодо безпеки цього маневру і це призводить до виникнення ДТП на площі перехрестя, уникнути які можливо шляхом контролю дистанції між ТЗ головного напрямку [6].

Доведений зв'язок вказує на загальний характер зміни кількості ДТП на площі перехрестя від зміни ПКК із певним мінімумом, який для конкретного перехрестя необхідно знаходити індивідуально емпіричним шляхом. Існування мінімуму функції  $K_{ав} = f(\alpha(t))$  вказує на можливість отримання граничного значення ПКК із подальшим його використанням, у системі забезпечення безпеки дорожнього руху на перехрестях на одному рівні.

Результати наведених вище теоретичних досліджень та опублікованих у роботах [3, 6] щодо оцінки поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні дають змогу розробити узагальнену технологію та систему забезпечення безпеки дорожнього руху на перехрестях при зосередженому розташуванні конфліктних точок.

Робота системи забезпечення безпеки дорожнього руху на нерегульованому перехресті на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок, схема якої зображена на рис. 3, має таку послідовність:

- протягом заданого часу  $\Delta t$  детектори транспорту 5, 7, 6, 8 фіксують ТЗ, що в'їжджають  $\lambda^+(\Delta t)$  та виїжджають  $\lambda^-(\Delta t)$  з підходів перехрестя, інформація про кількість яких передається через електроз'єднання (Е) 17, 19, 18, 20 на керівний пристрій (далі – КП) 16, де після закінчення проміжку часу  $\Delta t$  розраховується ПКК  $\alpha(\Delta t)(1)$ ;

- у КП 16 проводиться порівняння отриманого значення  $\alpha(\Delta t)$  з граничним  $\alpha^{TP}$ , відповідно до якого обирається режим роботи системи.

Якщо  $0 \leq \alpha(\Delta t) < \alpha^{TP}$  (на підходах перехрестя здебільшого спостерігаються транспортні потоки у вільному стані), – система відслідковує на підходах конфліктних напрямків попарні взаємодії ТЗ шляхом контролю їх різниці вхідного часу [3] на межі площі перехрестя, обмеженої лінією 24. Алгоритм роботи системи за вказаним режимом такий:

- детектори транспорту 5, 7 фіксують конфліктні ТЗ відповідно у час  $t_1$  та  $t_2$  зі швидкістю руху,  $V_{0,i}$   $V_{0,j}$ , вказана інформація передається по Е 17, 19 у КП 16;

- якщо  $t_2 > t_1$ , у КП 16 розраховується для відповідної конфліктної пари ТЗ значення різниці вхідного часу  $\Delta t_{Bi,j}$  [3] на межі площі перехрестя, обмеженої лінією 24, з відповідним граничним значенням  $\Delta t_{Bi,j}^{TP}$  [3];



– у КП 16 проводиться порівняння значення  $\Delta t_{b,i,j}$  з  $\Delta t_{b,i,j}^{TP}$ :

1) якщо  $\Delta t_{b,i,j} > \Delta t_{b,i,j}^{TP}$  – система продовжує працювати за обраним режимом без будь-яких змін;

2) якщо  $\Delta t_{b,i,j} < \Delta t_{b,i,j}^{TP}$  – в КП 16 розраховується швидкість руху  $V_{6,j}$  [3], що рекомендується для ТЗ другорядного напрямку, інформація по Е 22 передається на інформаційні табло (ІТ) 11, на яких зображується дорожній знак 3.29 “Обмеження максимальної швидкості” зі значенням швидкості руху  $V_{6,j}$ .

Якщо  $\alpha^{TP} \leq \alpha(\Delta t) < 1$  (на підходах перехрестя здебільшого спостерігаються транспортні потоки у пов’язаному стані), – система працює на зменшення конфліктних ситуацій на площі перехрестя.

Алгоритм роботи системи за вказаним режимом такий:

– КП 16 передає інформацію про небезпечну дорожньо-транспортну ситуацію на площі перехрестя по Е 21, 22 на ІТ 10, 11, які зображують дорожній знак 1.39 “Інша небезпека (аварійно небезпечна ділянка)”;

– протягом заданого часу  $\Delta t_n$  на підходах 1, 3 та 2, 4 відповідно детектори транспорту 5, 7 фіксують ТЗ, які в’їжджають на підходи  $\lambda^+(\Delta t_n)$  у відповідний час  $t_k$ , інформація про кількість яких передається через Е 17, 19 на КП 16;

– у КП 16 за кожним підходом кожні  $\Delta t_n$  розраховується значення середнього інтервалу руху між ТЗ  $\bar{t}_{in}$  [3], що перебувають на відповідному підході;

– у КП 16 проводиться за кожним підходом порівняння значення  $\bar{t}_{in}$  з граничним  $t_{in}^{TP}$ :

1) якщо  $\bar{t}_{in} > t_{in}^{TP}$  – система продовжує працювати за обраним режимом без будь-яких змін;

2) якщо  $\bar{t}_{in} < t_{in}^{TP}$  – КП 16 передає інформацію про заборону лівого повороту через Е 23 на ІТ, яке зображує дорожній знак 3.23 “Поворот ліворуч заборонено”. Якщо, умова  $\bar{t}_{in} > t_{in}^{TP}$  виконується для 1-го підходу ДЗ 3.23 зображується на ІТ 14, для 2-го підходу – 15, для 3-го підходу – 12, для 4-го підходу – 13;

– протягом заданого часу  $\Delta t$  на другорядних напрямках детектори транспорту 8 фіксують присутність черги з  $n$  ТЗ, інформація про яку передається через Е 20 у КП 16;

– у разі присутності черги КП 16 через Е21 передає інформацію про обмеження швидкості руху ТЗ головного напрямку на ІТ 9, які зображують дорожній знак 3.29 “Обмеження максимальної швидкості” зі значенням швидкості руху на 20 км/год нижчим від дозволеної [6];

– при першому спрацьовуванні детекторів транспорту 8 (початок роз’їзду черги) КП 16 припинить зображувати дорожній знак 3.29 на ІТ 9;

– якщо ТЗ другорядного напрямку продовжують прибувати до площі перехрестя й  $n$  залишається позитивним, КП 16 передасть інформацію на ІТ 9 про обмеження швидкості руху ТЗ через  $\Delta t = L_3 / V_1$ , де  $L_3$  – відстань встановлення ІТ перед перехрестям;  $V_1$  – дозволена швидкість руху ТЗ на підходах перехрестя.

– якщо черга відсутня, система продовжує працювати за обраним режимом без будь-яких змін.

### Висновки

Отже, розроблена технологія дає змогу в оперативному режимі зменшувати кількість потенційних конфліктів між ТЗ у дорожньо-транспортних ситуаціях, що виникають на перехресті.

Таким чином у роботі розроблено технологію та принципову схему системи забезпечення безпеки дорожнього руху на перехрестях на одному рівні при зосередженому розташуванні конфліктних точок у режимі реального часу. Перспективою подальших досліджень є врахування у математичній моделі критерію управління поточною безпекою руху на перехрестях, багатосмуговість руху на їх підходах.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Полозенко П.М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях: дис. ... канд. техн. наук: 05.22.01 / Полозенко Павло Миколайович. – К., 1999. – 136 с.
2. Пугачёв И.Н. Организация и безопасность дорожного движения / И.Н. Пугачёв, А.Э. Горев, Е.М. Олещенко. – М.: Издательский центр “Академия”, 2009. – 272 с.
3. Лапутин Р.О. Оцінка поточної безпеки руху на перехрестях на одному рівні в режимі реального часу при зосередженому розташуванні конфліктних точок / Р.О. Лапутин // Автошляховик України. – 2012. – № 5. – С. 16-18.
4. Лобанов Е.М. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.М. Визгалов, А.П. Шевяков. – М.: Транспорт, 1972. – 232 с.
5. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
6. Лапутин Р.О. Методика управління транспортними потоками на нерівнозначних перехрестях на одному рівні / Р.О. Лапутин // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – Горлівка, 2008. – № 2(7). – С. 19-25.