

УДК 656.13.05

Лапутин Р.О., інж.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## МЕТОДИКА УПРАВЛІННЯ ТРАНСПОРТНИМИ ПОТОКАМИ НА НЕРІВНОЗНАЧНИХ ПЕРЕХРЕСТЯХ НА ОДНОМУ РІВНІ

*Розроблено методику управління транспортними потоками головного напрямку на нерівнозначних нерегульованих світлофорними об'єктами перехрестях на одному рівні, яка підвищує безпеку руху на вказаних перехрестях під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку. Запропоновано схему та технологію роботи системи управління транспортними потоками, яка реалізує наведену методику.*

### **Вступ та постановка наукової задачі**

За останні роки в Україні значно зросла кількість та тяжкість дорожньо-транспортних подій (ДТП). Це приводить до збільшення кількості травмованих та загиблих людей у ДТП, що спричиняє значний матеріальний збиток державі. З усіх ДТП, які трапляються на вулично-дорожній мережі (ВДМ) України, 70% припадає на ВДМ міст, з яких 75% ДТП відбувається на перехрестях на одному рівні [1], тому питання підвищення безпеки руху у вказаних місцях є актуальним.

В сучасних умовах для забезпечення безпеки руху на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні застосовуються наступні технічні засоби організації дорожнього руху (ТЗОДР): дорожні знаки (як правило, дорожні знаки пріоритету), дорожня розмітка та напрямні пристрої [2]. На зазначених перехрестях при наявності вказаних ТЗОДР та достатньо інтенсивного транспортного потоку головного напрямку, як правило, утворюються черги транспортних засобів на другорядному напрямку.

Процес роз'їзду транспортних засобів на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні відбувається у відомій послідовності [3]: транспортні засоби головного напрямку здійснюють роз'їзд без затримок з незначним зниженням швидкості руху; транспортні засоби другорядного напрямку, під'їжджаючи до перехрестя, знижують швидкість руху практично до нуля, очікуючи прийняттого інтервалу в транспортному потоці головного напрямку, після появи якого здійснюють проїзд перехрестя. Водії транспортних засобів другорядного напрямку здебільшого приймають рішення щодо виконання маневру на інтуїтивно-му рівні, тому, найчастіше, вони недостатньо впевнені в безпеці цього маневру, що інколи приводить до виникнення ДТП в зоні перехрестя (порушення водіями вимог дорожнього знаку 2.1).

Для безпечного проїзду нерівнозначним нерегульованим перехрестям на одному рівні транспортними засобами другорядного напрямку необхідне одночасне виконання двох умов роз'їзду:

- 1) необхідна умова безпечного роз'їзду – наявність розриву у транспортному потоці головного напрямку;
- 2) достатня умова безпечного роз'їзду – розрив у транспортному потоці головного напрямку повинен дорівнювати як мінімум часу повного проїзду смуги руху транспортним засобом другорядного напрямку.

Таким чином, *метою даної роботи* є розробка методики управління транспортними потоками головного напрямку на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні, принципом якої є штучне створення наведених вище умов безпечного роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку.

### Основний матеріал дослідження

В основу запропонованої методики покладено штучне формування розриву у транспортному потоці головного напрямку на підходах до нерівнозначного нерегульованого перехрестя на одному рівні, шляхом зміни швидкісного режиму транспортних засобів цього потоку з метою безпечного роз'їзду автомобілів другорядного напрямку.

У якості реалізації наведеної методики пропонується система управління транспортними потоками на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні, схема якої наведена на рис. 1.

Порядок роботи запропонованої системи полягає у наступному:

- детектори транспорту 5, які встановлені на відстані 13 перед головним напрямком, фіксують транспортні засоби  $n_1$  за деякий час  $\Delta t$ , що рухаються по другорядному напрямку до перехрестя на одному рівні, інформація про які передається через електроз'єднання 9 на керуючий пристрій 12;

- у випадку відсутності можливості безперешкодного проїзду перехрестя транспортні засоби  $n_1$  зупиняються перед детектором транспорту 4 для пропуску транспортних засобів головного напрямку;

- на відстанях  $L_1$  та  $L_2$  перед перехрестям на одному рівні у головних напрямках встановлюються дорожні знаки 3 та 3' змінної інформації, які обмежують максимальну швидкість руху. Вказані дорожні знаки встановлюються послідовно один за одним з метою поступової зміни швидкості руху без провокування попутних аварійних ситуацій у транспортному потоці головного напрямку;

- детектори транспорту 4 фіксують транспортні засоби другорядного напрямку  $n_2$ , які роз'їжджаються на перехресті за час  $\Delta t$ , якщо  $n = n_1 - n_2 > 0$ ,  $n_1 \neq 0$ , керуючий пристрій 12 змінює інформацію через електроз'єднання 11 на дорожньому знаку 3 у бік зменшення швидкості;

- водій транспортного засобу 1, який бачить зміну сигналу на дорожньому знаку 3 з  $V_0$  до  $V_1$ , знижує швидкість до  $V_1$ . Транспортні засоби, які рухаються попереду, продовжують рухатися зі швидкістю  $V_2 = V_0$ . В результаті чого, через різницю швидкостей руху транспортних засобів 1 і 2 в транспортному потоці формується початковий розрив  $l_{p_1}$ , необхідний водію для розпізнання інформації на дорожньому знаку 3' та вчасного прийняття відповідного до цієї інформації рішення;

- через час  $t = (L_1 - l_0) / V_2$ , з моменту зміни інформації на дорожньому знаку 3, керуючий пристрій 12 змінює інформацію через електроз'єднання 11 на дорожньому знаку 3' у бік зменшення швидкості з  $V_0$  до  $V_3$ ;

- водій транспортного засобу 1'', який бачить зміну сигналу дорожнього знаку 3' з  $V_0$  до  $V_3$ , знижує швидкість з  $V_1$  до  $V_3$ . Транспортні засоби, які рухаються попереду, продовжують рухатися зі швидкістю  $V_2$ . В результаті чого, через різницю швидкостей транспортних засобів 1 і 2, у транспортному потоці остаточно формується розрив  $l_{p_2}$  достатній для безпечного проїзду перехрестя транспортними засобами другорядного напрямку;

- під час першого спрацьовування детектору транспорту 4 (початок роз'їзду черги) керуючий пристрій 12 змінить інформацію на дорожніх знаках 3 та 3' відповідно з  $V_1$  на  $V_0$  та з  $V_3$  на  $V_0$ ;

- якщо транспортні засоби другорядного напрямку продовжують прибувати до перехрестя й  $n$  залишається позитивним, керуючий пристрій 12 змінить інформацію на

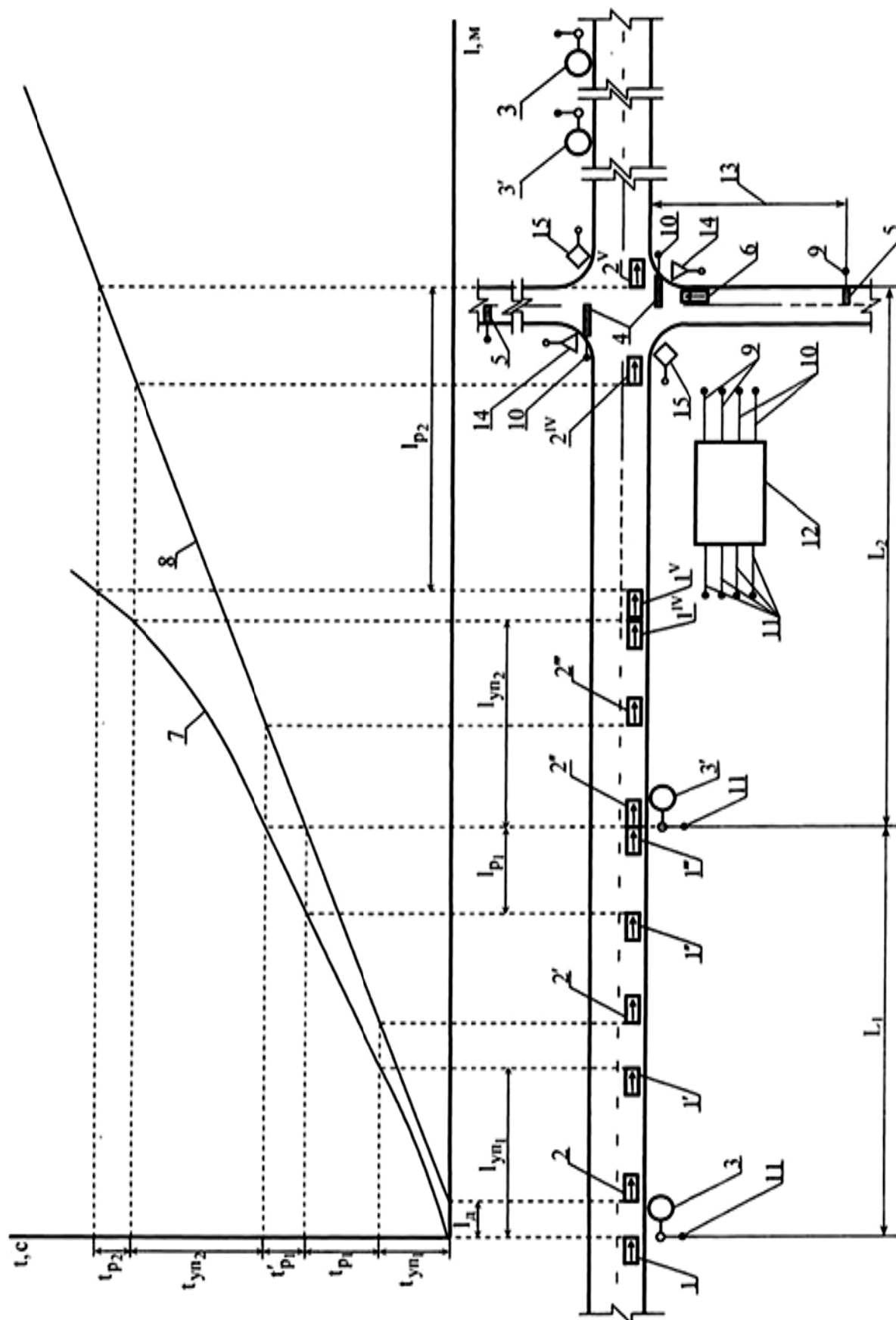


Рис. 1. Схема системи управління транспортними потоками на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні:

1, 2 — пара транспортних засобів, які рухаються по головному напрямку до перехрестя в момент зміни інформації про максимальну швидкість руху на дорожньому знаку 3; 1', 2' — положення пари транспортних засобів у момент виконання вимог дорожнього знаку 3 про зниження швидкості водієм 1-го транспортного засобу; 1'', 2'' — положення пари транспортних засобів у момент сформованого початкового розриву  $l_{p_1}$  в транспортному потоці головного напрямку; 1''', 2''' — положення пари транспортних засобів у момент зміни інформації про максимальну швидкість руху на дорожньому знаку 3'; 1''', 2''' — положення пари транспортних засобів у момент виконання вимог дорожнього знаку 3' про зниження швидкості водієм 1-го транспортного засобу; 1'', 2'' — положення пари транспортних засобів у момент сформованого необхідного для безпечного роз'їзду розриву  $l_{p_2}$  в транспортному потоці головного напрямку; 3, 3' — дорожні знаки змінної інформації, які обмежують максимальну швидкість руху; 4, 5 — детектори транспорту, відповідно, транспорту другорядного напрямку, який безпосередньо здійснює роз'їзд на перехресті та транспорту, який під'їжджає до перехрестя; 6 — транспортний засіб, який рухається по другорядному напрямку; 7, 8 — графіки зміни швидкості руху пари транспортних засобів 1, 2; 9, 10, 11 — електроз'єднання, відповідно детекторів 4, 5 та дорожніх знаків змінної інформації 3, 3'; 12 — керуючий пристрій; 13 — відстань між детекторами транспорту 4, 5; 14 — дорожній знак 2.1 "Дати дорогу"; 15 — дорожній знак "Головна дорога";  $l_0$  — дистанція між парою транспортних засобів 1, 2 головного напрямку в момент увімкнення дорожнього знаку 3;  $l_{y_1}$  — шлях, який пройшов транспортний засіб 1 за час уповільнення  $t_{y_1}$  у положення 1';  $l_{p_1}$  — початковий розрив у транспортному потоці головного напрямку, який дозволяє водію транспортного засобу 1 розпізнати інформацію на дорожньому знаку 3' та вчасно прийняти відповідне до цієї інформації рішення;  $l_{y_2}$  — шлях, який пройшов транспортний засіб 1 за час уповільнення  $t_{y_2}$  у положення 1'';  $l_{p_2}$  — сформований розрив у парі транспортних засобів 1, 2 в транспортному потоці головного напрямку, необхідний для безпечного роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку;  $t_{p_1}$  — час формування початкового розриву  $l_{p_1}$  у парі транспортних засобів 1, 2;  $t'_{p_1}$  — час, за який водій транспортного засобу 1 розпізнає інформацію на дорожньому знаку 3' та приймає рішення щодо виконання його вимог;  $t_{p_2}$  — час остаточного формування розриву в парі транспортних засобів 1, 2 у транспортному потоці головного напрямку.

дорожньому знаку 3 з  $V_0$  на  $V_1$  через  $\Delta t = \frac{L_1}{V_1} + \frac{L_2}{V_3}$  (наступний цикл роботи системи), де  $L_1$  — відстань встановлення дорожнього знаку 3 перед дорожнім знаком 3';  $L_2$  — відстань встановлення дорожнього знаку 3' перед перехрестям на одному рівні;  $V_1$  — швидкість руху транспортних засобів після зміни інформації на дорожньому знаку 3 з  $V_0$  на  $V_1$ ;  $V_3$  — швидкість руху транспортних засобів після зміни інформації на дорожньому знаку 3' з  $V_0$  на  $V_3$ .

Знайдемо відстані  $L_1$  та  $L_2$ , на яких формується розрив  $l_{p_2}$  у транспортному потоці головного напрямку, який забезпечує безпеку руху транспортних засобів другорядного напрямку під час їх роз'їзду на перехресті на одному рівні.

Згідно рис. 1 відстань  $L_1$  встановлення дорожнього знаку 3 перед дорожнім знаком 3' можна визначити за формулою:

$$L_1 = l_0 + V_2 t_{y_1} + V_2 t_{p_1} = l_0 + V_2 (t_{y_1} + t_{p_1}). \quad (1)$$

Процес формування початкового розриву  $l_{p_1}$  на відстані  $L_1$  в транспортному потоці головного напрямку складається з двох етапів (рис. 1):

- формування розриву в транспортному потоці за рахунок різниці пройдених шляхів 1-м та 2-м транспортними засобами при уповільненні 1-го за час  $t_{y_1}$ ;
- формування розриву в транспортному потоці за рахунок різниці пройдених шляхів 1-м та 2-м транспортними засобами за час  $t_{p_1}$ .

Вищезазначене надає можливість записати формулу, за якою буде визначатися  $l_{p_1}$ :

$$l_{p_1} = l_{\delta} + (V_2 t_{y_{m_1}} - l_{y_{m_1}}) + (V_2 t_{p_1} - V_1 t_{p_1}). \quad (2)$$

У свою чергу, сформований розрив  $l_{p_1}$  у транспортному потоці головного напрямку повинен надати можливість водію транспортного засобу 1 розпізнати інформацію на дорожньому знаку 3' та прийняти рішення відповідно до цієї інформації, тому розрив  $l_{p_1}$  повинен дорівнювати відстані, з якої водій розпізнає дорожній знак [2]:

$$l_{p_1} = \frac{h_{zn}}{\operatorname{tg} \alpha_{nop}}, \quad (3)$$

де  $h_{zn}$  — діаметр кола дорожнього знаку 3' ;

$\alpha_{nop}$  — кутовий поріг розпізнання водіями дорожнього знаку 3' .

З урахуванням (2) та (3) можна записати:

$$l_{\delta} + (V_2 t_{y_{m_1}} - l_{y_{m_1}}) + t_{p_1} (V_2 - V_1) = \frac{h_{zn}}{\operatorname{tg} \alpha_{nop}}. \quad (4)$$

Із виразу (4) знайдемо  $t_{p_1}$  :

$$t_{p_1} = \frac{h_{zn} - l_{\delta} \operatorname{tg} \alpha_{nop} - (V_2 t_{y_{m_1}} - l_{y_{m_1}}) \operatorname{tg} \alpha_{nop}}{(V_2 - V_1) \operatorname{tg} \alpha_{nop}}. \quad (5)$$

З урахуванням (5), (1) прийме наступний вигляд:

$$L_1 = l_{\delta} + V_2 \left( t_{y_{m_1}} + \frac{h_{zn} - l_{\delta} \operatorname{tg} \alpha_{nop} - (V_2 t_{y_{m_1}} - l_{y_{m_1}}) \operatorname{tg} \alpha_{nop}}{(V_2 - V_1) \operatorname{tg} \alpha_{nop}} \right). \quad (6)$$

Відстань  $L_2$  встановлення дорожнього знаку 3' перед перехрестям на одному рівні, згідно з рис. 1, визначається за формулою:

$$L_2 = l_{p_1} + \left( \frac{l_{p_1}}{V_1} V_2 - \frac{l_{p_1}}{V_1} V_1 \right) + V_2 (t_{y_{m_2}} + t_{p_2}) = V_2 \left( \frac{h_{zn}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} + t_{y_{m_2}} + t_{p_2} \right), \quad (7)$$

де  $\frac{l_{p_1}}{V_1} = t'_{p_1}$  — час, за який водій транспортного засобу 1 розпізнає інформацію на дорожньому знаку 3' та приймає відповідне рішення до цієї інформації;

$\left( \frac{l_{p_1}}{V_1} V_2 - \frac{l_{p_1}}{V_1} V_1 \right)$  — різниця шляхів, які пройшли транспортні засоби 1, 2 за час  $t'_{p_1}$  .

Формування розриву  $l_{p_2}$  у транспортному потоці головного напрямку відбувається також у два етапи (рис. 1):

– формування розриву в транспортному потоці за рахунок різниці пройдених шляхів 1-м та 2-м транспортними засобами під час уповільнення 1-го за час  $t_{y_{m_2}}$  ;

– формування розриву в транспортному потоці за рахунок різниці пройдених шляхів 1-м та 2-м транспортними засобами за час  $t_{p_2}$  .

З урахуванням наведеного та сформованого початкового розриву

$\left( l_{p_1} + \left( \frac{l_{p_1}}{V_1} V_2 - \frac{l_{p_1}}{V_1} V_1 \right) \right)$  у транспортному потоці головного напрямку в парі транспортних засобів 1, 2  $l_{p_2}$  має вигляд:

$$l_{p_2} = \frac{V_2 h_{3n}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} + (V_2 t_{yn_2} - l_{yn_2}) + t_{p_2} (V_2 - V_3). \quad (8)$$

В свою чергу, для повного забезпечення безпеки руху на нерівнозначних нерегульованих перехрестях на одному рівні під час роз'їзду транспортних засобів необхідно, щоб розрив у транспортному потоці головного напрямку давав можливість виконати екстрене гальмування транспортному засобу даного потоку, у випадку конфліктної ситуації з транспортним засобом другорядного напрямку, до краю проїзної частини другорядного напрямку, тому,  $l_{p_2}$  повинен дорівнювати сумі зупиночного шляху 1-го транспортного засобу (рис. 1), ширині проїзної частини другорядної дороги, різниці шляху, який пройшли 1-й та 2-й транспортні засоби за час необхідний для проїзду транспортних засобів другорядного напрямку області перехрестя:

$$l_{p_2} = S_{zyn} + B_{np}^{op} + (V_2 - V_3) \sum_{i=1}^n t_{\min.i}, \quad (9)$$

де  $S_{zyn}$  — зупиночний шлях 1-го транспортного засобу;

$B_{np}^{op}$  — ширина проїзної частини другорядної дороги;

$t_{\min}$  — мінімальний час, необхідний для проїзду перехрестя на одному рівні одним транспортним засобом другорядного напрямку;

$n$  — кількість транспортних засобів другорядного напрямку, які роз'їжджаються на перехресті під час сформованого розриву  $l_{p_2}$  у транспортному потоці головного напрямку.

З урахуванням (8) та (9) маємо:

$$\frac{V_2 h_{3n}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} + (V_2 t_{yn_2} - l_{yn_2}) + t_{p_2} (V_2 - V_3) = S_{zyn} + B_{np}^{op} + (V_2 - V_3) \sum_{i=1}^n t_{\min.i}. \quad (10)$$

Із (10) виразимо  $t_{p_2}$ :

$$t_{p_2} = \frac{S_{zyn} + B_{np}^{op} + (V_2 - V_3) \sum_{i=1}^n t_{\min.i} - \frac{V_2 h_{3n}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} - V_2 t_{yn_2} + l_{yn_2}}{V_2 - V_3}. \quad (11)$$

З урахуванням (11) та математичних перетворень, (7) прийме наступний вигляд:

$$L_2 = V_2 \left( \frac{h_{3n}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} + \frac{S_{zyn} + B_{np}^{op} + (V_2 - V_3) \sum_{i=1}^n t_{\min.i} - \frac{V_2 h_{3n}}{V_1 \operatorname{tg} \alpha_{nop}} - V_3 t_{yn_2} + l_{yn_2}}{V_2 - V_3} \right). \quad (12)$$

### **Висновки та перспективи подальших досліджень**

Таким чином, запропоновано методику управління транспортними потоками головного напрямку на нерівнозначних нерегульованих світлофорними об'єктами перехрестях на одному рівні, яка дозволяє, за умови використання її у якості алгоритму, підвищити безпеку

руху під час роз'їзду транспортних засобів другорядного напрямку. Розроблено схему та технологію роботи системи управління транспортними потоками, яка реалізує вказану методику.

До перспективи подальших досліджень слід віднести розробку робочого проекту системи управління транспортними потоками головного напрямку на перехрестях на одному рівні з відповідним програмним забезпеченням для керуючого пристрою.

### *Список літератури*

1. Полозенко П. М. Комплексна оцінка режимів світлофорного регулювання на перехрестях: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.22.01 "Транспортні системи" / П.М. Полозенко; Український транспортний ун-т. - К., 1999. - 19с.
2. Поліщук В.П. Інформаційне забезпечення учасників дорожнього руху / В.П. Поліщук, Н.Т. Кунда. – К.: ІЗИН, 1998. – 132 с.
3. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.М. Визгалов, А.П. Шевяков и др. – М.: Транспорт, 1972. – 232 с.

Стаття надійшла до редакції 24.10.08  
© Лапутин Р.О., 2008