

11. Cohn-Vossen, S. Anschauliche Geometri [Text] / S. Cohn-Vossen, D. Hilbert. – Berlin: Verlag von J. Springer, 1932. – 325 p.
12. Minkowski, Hermann Geometrie der Zahlen [Text] / Hermann Minkowski. – Leipzig-Berlin: R. G. Teubner, 1910. – 320 p.
13. Carmeli, Moshe Group Theory and General Relativity, Representations of the Lorentz Group and Their Applications to the Gravitational Field [Text] / Moshe Carmeli. – McGraw-Hill, New York, 1977. – 311 p.
14. Фашевский, А. Б. Графическое изображение четырехмерного пространства [Электронный ресурс] / А. Б. Фашевский. – Режим доступа <http://khd2.narod.ru/authors/fshvsky/spc4d.htm>. – Дата обращения 30.12.14.
15. Yukihito, Sakai Four-dimensional Mathematical Data Visualization via “Embodied Four-dimensional Space Display System” Faculty 2 Research of Information Sciences and Arts, Toyo University, 2100 Kujirai, Kawagoe, Saitama [Electronic resource] / Sakai Yukihito, Shuji Hashimoto. – Available at: <http://www.scipress.org/journals/forma/pdf/2601/26010011.pdf>. – Last access 30.04.2014.
16. Терехов, Л. Л. Производственные функции. Статистика [Текст] / Л. Л. Терехов. – М., 1974. – 53 с.
17. Михайлов, В. С. Теория управления [Текст] / В. С. Михайлов. – Киев: Выща школа. Головное издательство, 1988. – 312 с.

*У роботі був проведений аналіз змін кількості ущільнень у транспортних потоках на підходах до площі перехрестя зі світлофорним регулюванням за фазами та режимами регулювання продовж доби. Вказані зміни було формалізовано та запропоновано відповідну характеристику їх кількості у транспортних потоках на підходах до площі перехрестя зі світлофорним регулюванням на одному рівні*

*Ключові слова: потік транспортний, перехрестя, ущільнення додаткове, об'єкт світлофорний, сигнал заборонний*

*В работе был проведен анализ изменений количества уплотнений в транспортных потоках на подходах к площади перекрестка со светофорным регулированием по фазам и режимам регулирования в течение суток. Указанные изменения были формализованы и предложено соответствующую характеристику их количества в транспортных потоках на подходах к площади перекрестка со светофорным регулированием на одном уровне*

*Ключевые слова: поток транспортный, перекресток, уплотнение дополнительное, объект светофорный, сигнал запрещающий*

УДК 656.13.05

## ДОДАТКОВІ УЩІЛЬНЕННЯ ТРАНСПОРТНИХ ПОТОКІВ НА ПІДХОДАХ ДО РЕГУЛЬОВАНОГО ПЕРЕХРЕСТЯ

**А. В. Меженков**

Асистент, аспірант

Кафедра «Транспортні технології»

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ

„Донецький національний технічний університет”

вул. Кірова, 51, м. Горлівка,

Донецька обл., 84646

E-mail: [ekar8481@mail.ru](mailto:ekar8481@mail.ru)

### 1. Вступ

В Україні на сьогоднішній день за результатами обробки статистичних даних про дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) відбувається близько 2600 ДТП за рік [1, 2] на перехрестях доріг в одному рівні, що обумовлює актуальність рішення наукових задач, зв'язаних з удосконаленням безпеки руху транспортних засобів в області перехресть доріг.

Сучасні системи регулювання та управління дорожнім рухом на перехрестях доріг в одному рівні використовують інформацію про транспортні потоки, що наближаються до перехрестя, але більшість

ДТП відбувається в межах площі самого перехрестя. Вказане розкриває обмеженість відповідного збору та застосування вказаними системами інформації про рух транспортних засобів в області площі перехрестя, як місця концентрації ДТП та, як слідство, робота цих систем має обмежений ефект з точки зору безпеки руху.

Особливо вказані аспекти розкриваються в питаннях ефективності світлофорного регулювання з підвищення безпеки руху на перехрестях. Одним з найважливіших негативних явищ застосування світлофорного регулювання є створення ущільнень у транспортних потоках, за рахунок яких створюється

підвищення інтенсивності взаємодій транспортних потоків на площі пересічення та, як слідство, знижується безпека руху.

Зазначене розкриває необхідність вирішення науково-практичної задачі підвищення безпеки руху зменшенням інтенсивності взаємодій транспортних потоків за вимогами світлофорного регулювання на перехрестях.

Розповсюдженість світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням, яке має вказані вище суттєві недоліки з забезпечення безпеки руху, розкриває актуальність рішення задач у напрямку зменшення негативних явищ застосування зазначеного світлофорного регулювання.

---

## 2. Літературний огляд

---

Сучасні дослідження безпеки дорожнього руху у містах [3] з урахуванням загальних науково-практичних тенденцій з підвищення безпеки дорожнього руху [4] вказують на суттєву необхідність вдосконалення засобів регулювання дорожнім рухом особливо світлофорним регулюванням [5]. Сучасні заходи вдосконалення світлофорного регулювання спрямовані на створення інтелектуального світлофорного регулювання [5], на пов'язку алгоритмів регулювання з параметрами транспортного потоку [6], на оптимізацію регулювання шляхом моделювання транспортних потоків [7].

Вказані напрямки є безсумнівно актуальними з погляду розробки заходів з вдосконалення світлофорного регулювання, але вони не передбачають дуже важливого явища щодо істотних змін транспортних потоків на підходах до перехрестя на якому почало працювати світлофорне регулювання. Світлофорне регулювання має й негативні наслідки роботи в межах збільшення аварійності на підходах до перехрестя на фоні зменшення аварійності на площі перехрестя, це необхідно враховувати у загальних заходах [8].

Відповідно до попередніх досліджень [9], автором запропоновано для синтезу критерію оцінки безпеки руху на міських перехрестях доріг на одному рівні зі світлофорним регулюванням враховувати виникнення додаткових ущільнень транспортних потоків відносно тих, що утворюються при нерегульованому русі на перехресті.

Пропонувалось [9] ущільнення розглядати на підходах до перехрестя та визначати, як зменшення до мінімального безпечного з погляду відповідних водіїв значення дистанцій між послідовними транспортними засобами при їх русі на підходах до перехрестя зі світлофорним регулюванням з відповідним зниженням швидкості руху упритул до повної зупинки.

---

## 3. Постановка проблеми

---

Розглянуте вказує на наявність суттєвої необхідності вдосконалення заходів з забезпечення безпеки руху на перехрестях зі світлофорним регулюванням та розкриває відповідну актуальність теми.

Мета досліджень, які викладені у роботі, полягає у розгляді найбільш суттєвого з погляду безпеки руху

негативного явища застосування світлофорного регулювання з жорстким програмним управлінням. Вказане явище полягає у створенні додаткових ущільнень транспортних потоків на підходах до регульованого перехрестя за рахунок роботи відповідного світлофорного об'єкту.

Відповідно до мети дослідження будуть вирішені наступні задачі: формалізація процесу утворення додаткових ущільнень транспортних потоків на підходах до регульованого перехрестя за рахунок роботи відповідного світлофорного об'єкту у режимі регулювання; формалізація процесу утворення додаткових ущільнень транспортних потоків на підходах до регульованого перехрестя за рахунок роботи відповідного світлофорного об'єкту у режимі жовтого миготіння або вимкненого об'єкту.

---

## 4. Формалізація ущільнень транспортних потоків на підходах до площі перехрестя зі світлофорним регулюванням

---

Передбачається ущільнення транспортного потоку фіксувати у значному скороченні дистанцій між транспортними засобами з виконанням маневру службового гальмування, що створює відповідні передумови виникнення дорожньо-транспортної пригоди.

Пропонується вказані аспекти формалізувати наступним чином:

$$\sum_k W_k = \sum_k (n_k - 1), \quad (1)$$

де  $\sum_k W_k$  – кількість ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням у поточний момент часу, для  $k$  напрямків формування черг, од.;  $n_k$  – кількість транспортних засобів, які знаходяться у  $k$ -ій черзі на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням у поточний момент часу, од.

Черга транспортних засобів на підходах до перехрестя продовж горіння заборонного сигналу на відповідному напрямку формується за певними закономірностями прибуття транспортних засобів у певний перетин дороги на підходах до перехрестя. Існуючі дослідження [10, 11] вказують на наявність декількох стійких закономірностей прибуття транспортних засобів для умов міського руху. Всі залежності мають суттєву спільність, яка розкривається у використанні середнього значення інтенсивності руху транспортних засобів на підходах до перехрестя [12]. Продовж горіння червоного сигналу на відповідному напрямку перед лінією „стоп” формується черга транспортних засобів. Кількість транспортних засобів у черзі віднесена до довжини ділянки дороги, де вона сформувалася, дає усереднене значення щільності руху на відповідному напрямку після включення зеленого сигналу:

$$(N_k)_j = \frac{(n_k)_j}{(t_{q_k})_j}, \quad (2)$$

де  $(N_k)_j$  – середня інтенсивність прибуття транспортних засобів до черги, що зібралась продовж заборонного сигналу на  $k$ -тому напрямку руху, для  $j$ -тої фази регулювання, авт./с;  $(t_{чк})_j$  – тривалість горіння червоно сигналу на  $k$ -тому напрямку руху, для  $j$ -тої фази регулювання, с.

З урахуванням (1) та (2) отримуємо:

$$[(W_{чк})_k]_j = (N_k)_j \cdot (t_{чк})_j - 1, \quad (3)$$

де  $[(W_{чк})_k]_j$  – кількість ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням за  $k$ -тим напрямком під час відпрацювання на ньому заборонного сигналу, для  $j$ -тої фази регулювання, од.

У другому варіанті формування черги на підходах до перехрестя за рахунок наявності транспортних засобів на площі перехрестя, які рухаються у процесі роз'їзду черг, що сформувалися на попередній заборонний сигнал, значення кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням у поточний момент часу, для  $k$  напрямків формування черг, можливо визначити для  $j$ -тої фази регулювання за наступною залежністю:

$$[(W_{ок})_k]_j = (N_k)_j \cdot (t_{ок})_j \cdot \Delta_{oj} - 1, \quad (4)$$

де  $[(W_{ок})_k]_j$  – кількість ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням за  $k$ -тим напрямком під час відпрацювання на ньому зеленого сигналу, для  $j$ -тої фази регулювання, од.;  $(t_{ок})_j$  – тривалість основного такту за  $k$ -тим напрямком під час відпрацювання на ньому зеленого сигналу, для  $j$ -тої фази регулювання, с;  $\Delta_{oj}$  – частка неефективного часу основного такту за  $k$ -тим напрямком під час відпрацювання на ньому зеленого сигналу, для  $j$ -тої фази регулювання, (продовж вказаного часу у основний такт рухаються черги транспортних засобів, що сформувалися на попередній заборонний сигнал), од.

Необхідно врахувати, що вказані ущільнення транспортних потоків (3) та (4) мають відповідний час їх існування продовж роботи світлофорного об'єкту у режимі жорсткого програмного регулювання. Для вказаного періоду часу доби отримуємо наступний запис скорегованої кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням:

$$W_r = \sum_{j=1}^{\phi} \left[ \sum_k \left( (N_k)_j \cdot (t_{чк})_j + (N_k)_j \cdot (t_{ок})_j \cdot \Delta_{oj} - 2 \right) \right], \quad (5)$$

де  $W_r$  – усереднене значення кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням у період відпрацювання одного циклу світлофорного об'єкту, од.;  $\phi$  – кількість фаз регулювання світлофорного об'єкту, од.

Значення (5) необхідно скорегувати до рівня врахування частки часу роботи світлофорного об'єкту в режимі регулювання продовж доби:

$$W_{pr} = \frac{t_{pr} \cdot 3600}{T_{ц}} \cdot \sum_{j=1}^{\phi} \left[ \sum_k \left( (N_k)_j \cdot (t_{чк})_j + (N_k)_j \cdot (t_{ок})_j \cdot \Delta_{oj} - 2 \right) \right], \quad (6)$$

де  $W_{pr}$  – усереднене значення кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням за період роботи світлофорного об'єкту в продовж доби, од.;  $T_{ц}$  – тривалість циклу роботи світлофорного об'єкту, с;  $t_{pr}$  – час роботи світлофорного об'єкту в режимі жорсткого програмного регулювання продовж доби, год.

Для третього варіанта формування черги на підходах до перехрестя в умовах відсутності світлофорного регулювання продовж часу доби у вигляді вимкненого світлофорного об'єкту або у вигляді режиму жовтого миготіння розглянемо наступне.

У режимі відсутності світлофорного регулювання (жовте миготіння або вимкнений світлофорний об'єкт) на площі перехрестя формується одна схема дозволеного руху, що передбачена у існуючій схемі організації дорожнього руху та визначається дорожньою розміткою, дорожніми знаками та напрямними пристроями. У даному випадку утворення черг за відповідними напрямками дозволеного руху відбувається за рахунок появи необхідного часу виконання маневру на площі перехрестя.

Пропонується розглянути формування елементарних складових траєкторій маневрів окремо для з'ясування необхідних залежностей. Розглянемо формування траєкторії маневру руху вправо через площу перехрестя.

Загальна довжина траєкторії маневру включає до себе гальмівний шлях транспортного засобу, який повинен закінчуватися у лінії „стоп”, для випадку, що формує максимальну довжину гальмування. Довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_r = \Delta + 2 \cdot l_n + \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + L_{a_{max}}, \quad (7)$$

де  $L_r$  – загальна довжина траєкторії маневру руху вправо, м;  $\Delta$  – відстань між пішохідним переходом та лінією „стоп”, м;  $l_n$  – ширина пішохідного переходу, м;  $\alpha_r$  – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху вправо на площі перехрестя, град.;  $R_r$  – радіус правого повороту, м;  $L_{a_{max}}$  – максимальна габаритна довжина транспортного засобу у складі транспортного потоку на площі перехрестя, м.

Довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу дорівнює:

$$L_p = \Delta + 2 \cdot l_n + l_{nn} + L_{a_{max}}, \quad (8)$$

де  $L_p$  – загальна довжина траєкторії маневру руху прямо, м;  $l_{nn}$  – відстань між пішохідними переходами, м.

Довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_l = \Delta + 2 \cdot l_n + \frac{\alpha_l}{180} \pi \cdot R_l + l' + l'' + L_{a_{max}}, \quad (9)$$

де  $L_1$  – загальна довжина траєкторії маневру руху вліво, м;  $\alpha_1$  – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху вліво на площі перехрестя, град.;  $R_1$  – радіус лівого повороту, м;  $l', l''$  – відстань між пішохідним переходом та початком повороту вліво, м.

Довжина траєкторії маневру з урахуванням відсутності можливості виконання зупинки транспортного засобу буде дорівнювати:

$$L_{tr} = \Delta + 2 \cdot l_n + 2 \cdot \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + \frac{\alpha_{tr}}{180} \pi \cdot R_{tr} + L_{a_{max}}, \quad (10)$$

де  $L_{tr}$  – загальна довжина траєкторії маневру розвороту на площі перехрестя, м;  $\alpha'_r$  – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру руху по радіусу повороту вправо на площі перехрестя, до умов сполучення з кривою розвороту, град.;  $\alpha_{tr}$  – повний курсовий кут від початку до кінця руху по круговій частині траєкторії маневру розвороту на площі перехрестя, град.;  $R_{tr}$  – максимальний радіус розвороту на площі перехрестя, м.

З урахуванням основного рівняння транспортного потоку [4, 10], яке розкриває співвідношення між основними макроскопічними характеристиками транспортного потоку отримаємо залежність для розрахунку швидкості транспортного засобу на початку виконання маневру руху на підходах до перехрестя за  $k$ -ми напрямками:

$$V_k = \frac{N_k}{q_k}, \quad (11)$$

де  $V_k$  – швидкість руху транспортних засобів на підходах до перехрестя на  $k$ -тому напрямку руху, продовж вимкненого світлофорного об'єкту, м/с;  $q_k$  – щільність руху транспортних засобів на підходах до перехрестя на  $k$ -тому напрямку руху, продовж вимкненого світлофорного об'єкту, авт./м.

За схемами положення конфліктної точки розділення транспортних потоків при повороті вправо знаходиться на відстані від стоп-лінії, що дорівнює:

$$(L_{kr})_k = \Delta_k + l_{nk}, \quad (12)$$

де  $(L_{kr})_k$  – відстань від стоп-лінії до конфліктної точки розділення транспортних потоків за  $i$ -тим напрямком при повороті вправо, м.

Транспортні засоби у відповідному транспортному потоці рухаються зі швидкістю, яка розраховується за формулою (11), швидкість приймається постійною тому відповідний час руху:

$$(t_{kr})_k = \frac{(L_{kr})_k}{V_k}, \quad (t_{kr})_k = \frac{q_k \cdot (\Delta_k + l_{nk})}{N_k}, \quad (13)$$

де  $(t_{kr})_k$  – час руху транспортних засобів у відповідному транспортному потоці від стоп-лінії до конфліктної точки розділення транспортних потоків за  $k$ -тим напрямком при повороті вправо, с.

Необхідно врахувати зменшення інтенсивності руху на вказаній відстані за рахунок розділення транс-

портних потоків при повороті вправо. Розділення транспортних потоків передбачає збереження швидкостей транспортних засобів після проїзду відповідної точки на деякий час, а далі водії транспортних засобів прагнуть наздогнати попередні транспортні засоби в межах зменшеної щільності руху транспортних потоків, які пройшли відповідне розділення. З урахуванням вказаного, швидкість руху транспортного потоку, який рухає прямо після розділення з потоком, що повертає вправо, буде розраховуватися за наступною формулою зі значенням (11):

– зменшення інтенсивності транспортного потоку після розділення на повороті вправо:

$$(N_k - (N_r)_k);$$

– зменшення щільності транспортного потоку після розділення на повороті вправо:

$$q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k);$$

– значення швидкості транспортного потоку після розділення на повороті вправо з урахуванням (11):

$$(V_{apl})_k = (N_k - (N_r)_k) \cdot \frac{1}{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}, \quad (14)$$

де  $(V_{apl})_k$  – швидкість руху транспортного потоку, який рухає прямо після розділення з потоком, що повертає вправо, м/с;  $(N_r)_k$  – інтенсивність руху транспортного потоку на кривій повороту вправо, авт./с;  $(\Delta_r)_k$  – частка транспортних засобів з загального транспортного потоку, які здійснюють поворот вправо у відповідній точці розділення, од.

Приймаємо спрощення щодо постійності значення швидкості руху транспортних засобів у транспортному потоці між конфліктними точками розділення вправо та вліво (14), тоді час руху транспортних засобів на вказані ділянки буде дорівнювати:

$$(t_{pl})_k = \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}{1} \cdot \frac{l'}{(N_k - (N_r)_k)}, \quad (15)$$

де  $(t_{pl})_k$  – час руху транспортного потоку, який рухає прямо після розділення з потоком, що повертає вправо, с.

Надалі необхідно вивести значення швидкості руху транспортних засобів після розділення транспортних потоків при повороті вліво. Відповідно до попередніх результатів вивід формули проводимо аналогічно. Приймаємо спрощення щодо постійності значення швидкості руху транспортних засобів у транспортному потоці після відповідних точок розділення вправо та вліво (16), час руху транспортних засобів на вказані ділянки буде дорівнювати за  $k$ -м напрямком:

$$(t_p)_k = \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_l)_k)}{1} \cdot \frac{(l_{nn} - l' + l_n + L_{a_{max}})_k}{N_k - (N_r)_k - (N_l)_k}, \quad (16)$$

де  $(t_p)_k$  – час руху транспортного потоку, який рухає прямо після розділення з потоком, що повертає вправо, с.

Таким чином, значення часу для забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухають прямо з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до перехрестя, буде розраховуватися за наступною формулою:

$$\begin{aligned} (t_{pp})_k &= \frac{q_k \cdot (\Delta_k + l_{nk})}{N_k} + \\ &+ \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}{1} \cdot \frac{(l')_k}{(N_k - (N_r)_k)} + \\ &+ \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_l)_k)}{1} \cdot \frac{(l_{nn} - l' + l_n + L_{a_{max}})_k}{N_k - (N_r)_k - (N_l)_k}, \end{aligned} \quad (17)$$

де  $(t_{pp})_k$  – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухають прямо, з однієї смуги прямо, вправо та вліво на підходах до перехрестя, с.

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів повороту вправо, вліво або всіх вказаних, то у формулу (17) відповідні величини підставляються зі значенням 0. Для повороту вправо введемо аналогічну (17) залежність для часу виконання вказаного маневру. Значення такого часу має наступний запис:

$$(t_{rr})_k = (t_0)_k + (t_{kr})_k + (t_r)_k,$$

де  $(t_{rr})_k$  – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухають вправо з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до перехрестя, с;  $(t_r)_k$  – час руху транспортного потоку, який рухає вправо після розділення з потоком, що продовжує рух прямо, с.

У вказаній вище формулі відомі перша та друга складові, які визначаються за (13), необхідно визначити третю складову  $(t_r)_k$ .

Приймаємо спрощення щодо постійності значення швидкості руху транспортних засобів у транспортному потоці після відповідної точки розділення вправо, час руху транспортних засобів на вказані ділянки буде дорівнювати:

$$(t_r)_k = \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_{pl})_k)}{1} \cdot \frac{\left(\frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{max}}\right)_k}{N_k - (N_{pl})_k}, \quad (18)$$

де  $(t_r)_k$  – час руху транспортного потоку, який рухає вправо після розділення з потоком, що продовжує рух прямо, с.

Таким чином, значення часу для забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухають вправо з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до перехрестя, буде розраховуватися за наступною формулою з урахуванням (13) та (18):

$$\begin{aligned} (t_{rr})_k &= \frac{q_k \cdot (\Delta_k + (l_n)_k)}{N_k} + \\ &+ \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_{pl})_k)}{1} \cdot \frac{\left(\frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{max}}\right)_k}{N_k - (N_{pl})_k}, \end{aligned} \quad (19)$$

де  $(t_{rr})_k$  – час забезпечення роз'їзду транспортних засобів, які рухають вправо, з однієї смуги роз'їзду прямо, вправо та вліво на підходах до перехрестя, с.

У разі наявності у відповідній фазі регулювання відсутності маневрів продовження руху прямо, то у формулу (19) відповідні величини підставляються зі значенням 0.

Аналогічно до формули (19) проводимо вивід формул для інших маневрів. Пропонується врахувати час очікування появи необхідного інтервалу у транспортному потоці наступним коефіцієнтом:

$$1 + \frac{Z_k}{1 - Z_k}, \quad (20)$$

де  $Z$  – рівень завантаження транспортним потоком відповідних ділянок руху конфліктного напрямку на площі перехрестя, од.

В умовах затороутворення  $Z=1$  значення (20) дорівнює  $\infty$ , що вказує на нескінченний час руху на маневрі, тобто потік зупинено. В умовах вільного руху  $Z \rightarrow 0$  значення (20) наближується до одиниці, що вказує на збереження відповідного часу, який є мінімальним з розрахунку руху на маневрі одного транспортного засобу. З урахуванням значення (6) для режиму роботи світлофорного об'єкту у жовтому миготінні (або вимкнений світлофорний об'єкт) скореговане значення кількості ущільнень транспортних потоків за часом існування вказаного режиму протягом доби:

$$\begin{cases} W_g = \sum_k \left[ \int_0^{t_g} \left( N_k(t) - \frac{1}{(t_{pp,rr,ll,rv})_k} \right) dt - 1 \right], \\ N_k(t) \geq \frac{1}{(t_{pp,rr,ll,rv})_k}, \end{cases} \quad (21)$$

де  $W_g$  – середнє значення кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням продовж режиму жовтого миготіння (або вимкненого світлофорного об'єкту) у період доби, од;  $t_g$  – час роботи світлофорного об'єкту в режимі жовтого миготіння (або вимкненого світлофорного об'єкту) продовж доби, од.

Формули (6) та (24) дозволяють розрахувати загальне скореговане значення кількості ущільнень на підходах до перехрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням продовж доби.

Таким чином, у роботі були вирішені поставлені задачі щодо формалізації процесу утворення додаткових ущільнень транспортних потоків на підходах до регульованого перехрестя за рахунок роботи відповідного світлофорного об'єкту у режимі регулю-

вання; формалізації процесу утворення додаткових ущільнень транспортних потоків на підходах до регульованого перехрестя за рахунок роботи відповідного світлофорного об'єкту у режимі жовтого миготіння або вимкненого об'єкту.

хрестя на одному рівні зі світлофорним регулюванням продовж доби за відповідними режимами роботи світлофорів та фазами регулювання.

Результати роботи дозволяють проводити подальший розвиток теоретичних положень щодо

$$\left\{ \begin{aligned}
 W &= \frac{t_{pr} \cdot 3600}{T_u} \cdot \sum_{j=1}^{\phi} \left[ \sum_k \left( (N_k)_j \cdot (t_{q_k})_j + (N_k)_j \cdot (t_{o_k})_j \cdot \Delta_{oj} - 2 \right) \right] + \sum_k \left[ \int_0^{t_g} \left( N_k(t) - \frac{1}{(t_{pp,rr,ll,rv})_k} \right) dt - 1 \right], \\
 N_k(t) &\geq \frac{1}{(t_{pp,rr,ll,rv})_k}, \\
 (t_{pp})_k &= \left( 1 + \frac{Z_k}{1 - Z_k} \right) \left[ \frac{q_k \cdot (\Delta_k + l_{n_k})}{N_k} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}{1} \cdot \frac{(l'_k)}{(N_k - (N_r)_k)} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_l)_k)}{1} \cdot \frac{(l_{nn} - l' + l_n + L_{a_{max}})_k}{N_k - (N_r)_k - (N_l)_k} \right], \\
 (t_{rr})_k &= \left( 1 + \frac{Z_k}{1 - Z_k} \right) \left[ \frac{q_k \cdot (\Delta_k + (l_n)_k)}{N_k} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_{pl})_k)}{1} \cdot \frac{\left( \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{max}} \right)_k}{N_k - (N_{pl})_k} \right], \\
 (t_{ll})_k &= \frac{q_k \cdot (\Delta_k + (l_n)_k)}{N_k} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}{1} \cdot \frac{(l'_k)}{(N_k - (N_r)_k)} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_p)_k)}{1} \cdot \frac{\left( \frac{\alpha_r}{180} \pi \cdot R_r + l'' + l_p + L_{a_{max}} \right)_k}{(N_k - (N_r)_k - (N_p)_k)}, \\
 (t_{rv})_k &= \left( 1 + \frac{Z_i}{1 - Z_i} \right) \left[ \frac{q_k \cdot \left( \Delta_k + (l_n)_k + \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r \right)}{N_k} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k)}{1} \cdot \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{rr}}{(N_k - (N_r)_k)} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_p)_k)}{1} \right] \times \\
 &\times \frac{\frac{1}{2} \cdot \pi \cdot R_{rr}}{(N_k - (N_r)_k - (N_p)_k)} + \frac{q_k \cdot (1 - (\Delta_r)_k - (\Delta_p)_k - (\Delta_l)_k)}{1} \cdot \frac{\left( \frac{90}{180} \pi \cdot R_{rk} + \frac{\alpha'_r}{180} \pi \cdot R_r + l_n + L_{a_{max}} \right)_k}{(N_k - (N_r)_k - (N_p)_k - (N_l)_k)}.
 \end{aligned} \right. \tag{22}$$

**5. Висновки**

Отримані формули загального скорегованого значення кількості ущільнень на підходах до пере-

оцінки та відповідного зменшення негативних явищ при роботі світлофорного регулювання на перехресті доріг у вигляді синтезу кінематичного критерію оцінки безпеки руху на відповідних перехрестях.

Література

1. Статистика ДТП в Украине [Электронный ресурс] / Режим доступа: <http://forinsurer.com/news/12/10/10/28285>.
2. Наши дороги Статистика ДТП в Украине за 2013-14 года [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://dtpua.com/stat\\_dtp.html](http://dtpua.com/stat_dtp.html).
3. Рябчинский, А. И. Повышение безопасности дорожного движения в городских очагах аварийности республики беларусь [Текст] / А. И. Рябчинский, Д. В. Капский // Вестник ТОГУ. – 2012. – № 3 (26). – С. 91 – 98.
4. Improving global road safety: Note by the Secretary-General // United Nations General Assembly Norway. – 2011. [Электронный ресурс] / Режим доступа: [http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp1/Improving\\_Global\\_Roady\\_Safety\\_2011.pdf](http://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2011/wp1/Improving_Global_Roady_Safety_2011.pdf).
5. Sinhmar P. Intelligent Traffic Light and Density Control Using IR Sensors and Microcontroller [Text] / P. Sinhmar // International Journal of Advanced Technology & Engineering Research. – 2012. – Vol. 2, Issue 2. – P. 30–35.
6. Агуреев, И. Е. Исследование алгоритмов светофорного регулирования перекрестка при различных параметрах транспортного потока [Текст] / И. Е. Агуреев, А. Ю. Крегов, И. Ю. Мацур // Известия Тульского Государственного Университета. Технические Науки. – 2013. – № 7-2. – С. 54–59.

7. Ахмадинуров, М. М. Оптимизация светофорного регулирования с помощью программы моделирования транспортных потоков [Текст] / М. М. Ахмадинуров // Вестник Южно-Уральского Государственного Университета. Серия: Компьютерные Технологии, Управление, Радиоэлектроника. – 2010. – № 22 (198). – С. 78–89.
8. Mobility Week United Nations Global Road Safety Week [Text] / 6-12 May, 2013. – P. 18–32.
9. Дудніков, О. М. Формалізація зміни площі конфліктних областей регульованого перехрестя з урахуванням змін інтенсивності взаємодії транспортних потоків [Текст] / О. М. Дудніков, А. В. Меженков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: Науково-виробничий збірник. – 2012. – № 2 (15). – С. 96–105.
10. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими [Текст] / Д. Дрю; пер. с англ. – М: Транспорт, 1972. – 424 с.
11. Вол, М. Анализ транспортных систем [Текст] / М. Вол, Б. Мартин. – М: Транспорт, 1981. – 516 с.
12. Поліщук, В. П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху [Текст]: навч. пос. / В. П. Поліщук, О. П. Дзюба. – К.: Знання України, 2008. – 175 с.

*У роботі була проведена формалізація характеристик взаємодії транспортних засобів й пішоходів у відповідних конфліктних областях на площі перехрестя. Синтезовані енергетичні характеристики взаємодії транспортних засобів і пішоходів у відповідних конфліктних областях за запропонованими п'ятьма видами взаємодії транспортних та пішохідних потоків*

*Ключові слова: безпека руху, потік транспортний, потік пішохідний, перехрестя нерегульоване, конфліктна взаємодія*

*В работе была проведена формализация характеристик взаимодействия транспортных средств и пешеходов в соответствующих конфликтных областях на площади перекрестка. Синтезированы энергетические характеристики взаимодействия транспортных средств и пешеходов в соответствующих конфликтных областях по предложенным пятью видам взаимодействия транспортных и пешеходных потоков*

*Ключевые слова: безопасность движения, поток транспортный, поток пешеходный, перекресток нерегулируемый, конфликтное взаимодействие*

УДК 656.13.05

# ФОРМАЛІЗАЦІЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВЗАЄМОДІЇ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ ТА ПІШОХОДІВ У КОНФЛІКТНИХ ОБЛАСТЯХ НА ПЛОЩІ ПЕРЕХРЕСТЯ

**Н. О. Соколова**

Асистент, аспірант

Кафедра «Транспортні технології»

Автомобільно-дорожній інститут ДВНЗ

«Донецький національний технічний університет»

вул. Кірова, 51, м. Горлівка,

Донецька обл., 84646

E-mail: natawyna@yandex.ru

## 1. Вступ

Забезпечення безпеки руху є актуальною проблемою у більшості країнах світу. Лише за 2013 рік на дорогах України загинуло майже 5 тис. осіб і близько 46 тис. учасників дорожнього руху травмовано. Близько 60 % дорожньо-транспортних пригод від їх загальної кількості відбувається в містах [1].

В Україні з 2010 по 2013 роки на міських дорогах та вулицях було скоєно біля 69 % з усіх дорожньо-транспортних пригод [1, 2]. Більше половини з них – на міських перехрестях вулиць в одному рівні. Це підкреслює необхідність розроблення ефективних заходів забезпечення безпеки руху саме на перехрестях. За показниками тяжкості дорожньо-транспортних пригод найбільш небезпечними перехрестями