

Лапутин Р.О., Куєвда Д.В.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ ПРОГНОЗУВАННЯ КІЛЬКОСТІ ДТП НА ПЕРЕСІЧЕННІ АВТОМОБІЛЬНИХ ДОРІГ НА ОДНОМУ РІВНІ

Розроблено математичну модель прогнозування кількості дорожньо-транспортних подій на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні на підставі застосування імовірності виникнення конфліктних ситуацій між транспортними засобами в конфліктних точках та на пересіченні в цілому.

Вступ та постановка наукової задачі

Найнебезпечнішим місцем мережі автомобільних доріг є їх пересічення, про що свідчить статистика дорожньо-транспортних подій (ДТП) України [1]. На нерегульованих пересіченнях доріг на одному рівні відбувається 12,2% ДТП, з загальної їх кількості [1], що розкриває актуальність наукових досліджень щодо підвищення безпеки руху на вказаних місцях мережі автомобільних доріг.

Питаннями щодо оцінки та підвищення безпеки руху на пересіченнях автомобільних доріг на одному рівні займалися як вітчизняні, так і закордонні вчені, а саме: Бабков В.Ф., Дівочкін О.А., Єресов В.І., Лобанов Є.М., Поліщук В.П., Рапопорт Г.А., Страментов А.Є., Фішельсон М.С. та інші [2-6]. В Україні набув широкого розповсюдження метод потенційної небезпеки, який заснований на прогнозуванні імовірної кількості ДТП на пересіченні за набором чинників, що впливають на аварійність, які можливо або виміряти на реальному пересіченні, або задати на проєктованому. Вказаний метод дозволяє робити висновки щодо безпеки існуючих чи проєктних рішень, а також порівнювати варіанти схем організації дорожнього руху на пересіченні на одному рівні [5].

Першим таким підхід щодо оцінки та підвищення безпеки руху на пересіченнях на одному рівні запропонував Г.А. Рапопорт у вигляді методу оцінки складності пересічення автомобільних доріг, який був удосконалений А.Є. Страментовим та М.С. Фішельсоном [4]. Вказаний метод полягає в розрахунку ступеня складності пересічення за сумарною кількістю трьох типів конфліктних точок (пересічення, злиття, розгалуження).

Більш загальний метод оцінки ступеня небезпеки пересічення автомобільних доріг, який заснований на визначенні імовірної кількості ДТП у конфліктних точках та на пересіченні в цілому, запропонував професор Лобанов Є.М. [3]:

$$q_i = \frac{K_i N_i M_i \cdot 25}{10^7 K_2}; \quad (1)$$

$$G = \sum_{i=1}^n q_i, \quad (2)$$

де q_i — імовірна кількість ДТП в i -й конфліктній точці;

K_i — величина відносної аварійності i -ї конфліктної точки;

N_i, M_i — добова інтенсивність транспортних потоків, що пересікаються в i -й конфліктній точці;

K_2 — коефіцієнт річної нерівномірності руху;

G — можлива кількість дорожньо-транспортних подій на пересіченні за один рік;

n — кількість конфліктних точок.

На підставі значення G розробляються заходи щодо підвищення безпеки руху на пересіченні на одному рівні з метою зменшення можливої кількості дорожньо-транспортних подій на пересіченні.

Вказані методи оперують сталими показниками дорожнього руху та враховують поняття конфліктної точки, як точки пересічення, злиття та розгалуження траєкторій руху транспортних засобів у геометричному сенсі. До того ж, методи враховують добову фізичну інтенсивність транспортних потоків, що охоплює всі транспортні засоби, які здійснюють роз'їзд на пересіченні за добу без відокремлення тих, що безпосередньо були задіяні в конфліктних ситуаціях. Отже, методи не враховують можливість виникнення конфлікту транспортних засобів в конфліктній точці, який може спричинити ДТП, тому не розкривають процес конфліктування між транспортними засобами як в конфліктній точці, так і на пересіченні в цілому, що є суттєвим їх недоліком.

Отже, прогнозування кількості ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні повинно походити від вивчення фізичної взаємодії транспортних засобів у конфліктних точках, яка проявляється в конфліктних ситуаціях між вказаними транспортними засобами.

Відомі на сьогоднішній день детерміністичні макро-й мікромоделі транспортних потоків не дозволяють спрогнозувати появу конфліктної ситуації між транспортними засобами на пересіченні. Процес утворення конфліктної ситуації на пересіченні на одному рівні між транспортними засобами у певній конфліктній точці в певний момент часу достатньо складний, тому застосування детермінованого підходу щодо його моделювання без суттєвого вивчення етапів наведеного процесу та їх формалізації потребує великих припущень з суттєвим зниженням результату, що вказує на імовірнісний підхід щодо прогнозування кількості ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні. Безумовно, що за перспективою подальших досліджень у вивченні процесу конфліктування між транспортними засобами на пересіченні на одному рівні залишається детермінований підхід.

Мета роботи

Створення математичної моделі прогнозування кількості ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні з застосуванням імовірності виникнення конфліктних ситуацій між транспортними засобами в конфліктній точці та на пересіченні в цілому.

Основний матеріал дослідження

Під конфліктом між транспортними засобами в конфліктній точці на пересіченні доріг на одному рівні будемо розуміти таку дорожньо-транспортну ситуацію, під час якої транспортні засоби конфліктних напрямків, траєкторії руху яких пересікаються, зливаються або розгалужуються, рухаються на відстані менш зупиночного шляху до конфліктної точки. Отже, необхідною умовою виникнення конфлікту в конфліктній точці є наявність пари транспортних засобів конфліктних напрямків на підходах до перехрестя, траєкторії руху яких пересікаються, зливаються або розгалужуються в конфліктній точці. Достатньою умовою виникнення конфлікту в конфліктній точці є одночасна поява вказаних транспортних засобів у зоні впливу конфліктної точки (на відстані до конфліктної точки менш зупиночного шляху) [7] (рис. 1).

Виникнення конфлікту між транспортними засобами, що прибувають до пересічення з конфліктних напрямків, у i -й конфліктній точці залежить від імовірності появи вказаних транспортних засобів у зоні впливу конфліктної точки.

Вказану імовірність можливо розрахувати, якщо припустити, що транспортні засоби прибувають до досліджуваного перетину дороги, в нашому випадку до конфліктної точки, за законом Пуассона.

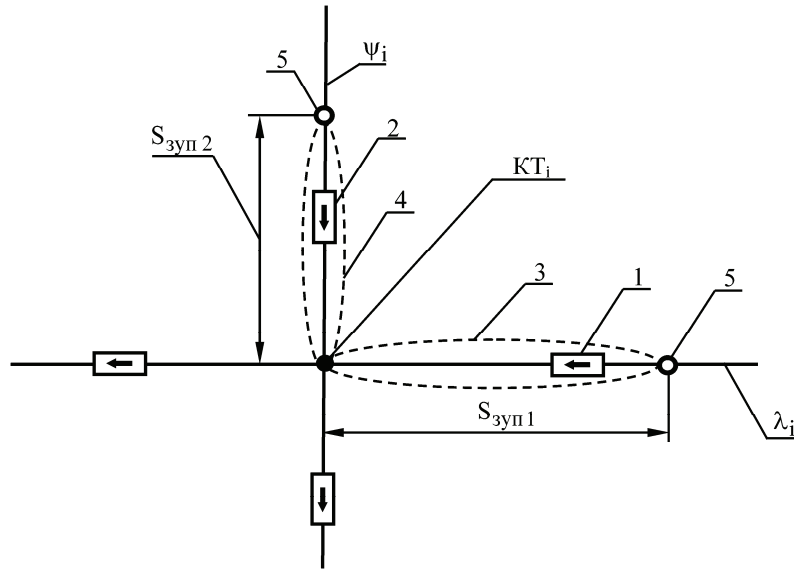


Рис. 1. Схема конфліктної ситуації в конфліктній точці на прикладі точки пересічення: KT_i — i -та конфліктна точка на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні; 1, 2 — транспортні засоби конфліктних транспортних потоків інтенсивністю, відповідно, λ_i та ψ_i ; 3, 4 — зони впливу KT_i відповідно за конфліктними напрямками, які дорівнюють зупиночним шляхам $S_{зуп1}$ і $S_{зуп2}$, відповідно, 1 і 2 транспортних засобів; 5 — початок зон впливу КТ

Розподіл ймовірностей, відповідно до Пуассона, має вигляд [6]:

$$P(m) = \frac{(\bar{N})^m e^{-\bar{N}}}{m!}, \quad (1)$$

де $P(m)$ — ймовірність того, що в інтервалі тривалістю τ з'явиться $m = 1, 2, 3, \dots, k$ транспортних засобів;

\bar{N} — середня інтенсивність транспортного потоку, $авт/с$ [6]

$$\bar{N} = \frac{N \tau}{3600}, \quad (2)$$

де N — інтенсивність транспортного потоку, $авт/год$;

τ — інтервал часу, $с$.

Згідно рис. 1 та формули (3) ймовірність того, що за час τ тривалістю в $1 с$ з'явиться на початку зони впливу конфліктної точки хоча б один транспортний засіб має вигляд:

$$P_{\lambda}(1)_i = \bar{\lambda}_i e^{-\bar{\lambda}_i}; \quad (3)$$

$$P_{\psi}(1)_i = \bar{\psi}_i e^{-\bar{\psi}_i}, \quad (4)$$

де $\bar{\lambda}_i$, $\bar{\psi}_i$ — середня інтенсивність ($авт/с$) відповідних конфліктних транспортних потоків, траєкторії яких пересікаються, зливаються або розгалужуються в i -й конфліктній точці.

Згідно наведеного вище поняття конфліктної ситуації між транспортними засобами в конфліктній точці, тобто одночасної їх появи в зоні впливу конфліктної точки, ймовірність виникнення конфлікту буде визначатися як добуток ймовірностей появи хоча б одного транспортного засобу на початку зони впливу конфліктної точки конфліктних напрямків за час τ тривалістю в $1 с$:

$$Q_{\lambda, \psi}_i = P_{\lambda}(1)_i \cdot P_{\psi}(1)_i, \quad (5)$$

де Q_{λ_i, ψ_i} — імовірність виникнення конфліктної ситуації (одночасна поява конфліктної пари транспортних засобів в зоні впливу конфліктної точки) в i -й конфліктній точці за час τ тривалістю в 1 с.

Якщо імовірність одночасної появи за час тривалістю в 1 с конфліктної пари транспортних засобів в зоні впливу конфліктної точки помножити на час у секундах (період дослідження), отримаємо імовірну кількість вказаних пар транспортних засобів, тобто конфліктних ситуацій, у i -й конфліктній точці за вказаний період. Для періоду тривалістю в один рік імовірна середньорічна кількість конфліктних ситуацій в i -й конфліктній точці з урахуванням формул (3), (4) та (5) буде дорівнювати:

$$K_i = \frac{3600 \cdot 365}{0,076} \cdot Q_{\lambda_i, \psi_i} = 1,73 \cdot 10^7 \cdot \bar{\lambda}_i \bar{\psi}_i e^{-(\bar{\lambda}_i + \bar{\psi}_i)}. \quad (6)$$

Для пересічення автомобільних доріг в цілому

$$K = \sum_{i=1}^n K_i, \quad (7)$$

де K — імовірна середньорічна кількість конфліктних ситуацій на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні в цілому;

n — кількість конфліктних точок.

Якщо застосувати постфактумний аналіз аварійності на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні з урахуванням імовірної середньорічної кількості конфліктних ситуацій на пересіченні, яку можна розглядати як максимально можливу середньорічну кількість ДТП, то можна отримати імовірність виникнення ДТП на пересіченні, яку будемо визначати за наступною формулою:

$$P_{\text{ДТП}} = \frac{n_{\text{ДТП}}}{K}, \quad (8)$$

де $P_{\text{ДТП}}$ — імовірність виникнення ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні;

$n_{\text{ДТП}}$ — середньорічна кількість ДТП на пересіченні, яка отримана в результаті аналізу статистики ДТП минулих років.

Імовірна середньорічна кількість конфліктних ситуацій на пересіченні залежить насамперед від інтенсивності транспортних потоків, що конфліктують. Інтенсивність руху, як характеристика транспортного потоку, є змінною функцією за часом. Дослідження зміни інтенсивності руху за роками вказує на постійне її зростання, що характеризується щорічним ростом обсягів руху[6].

Інформація про перспективну інтенсивність руху на розрахунковий рік t на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні надасть можливість прогнозування імовірної середньорічної кількості конфліктних ситуацій, а разом з тим і імовірної кількості ДТП на пересіченні з урахуванням імовірності виникнення ДТП $P_{\text{ДТП}}$:

$$n_{\text{ДТП}}^t = P_{\text{ДТП}} K^t, \quad (9)$$

де $n_{\text{ДТП}}^t$ — прогнозована імовірна середньорічна кількість ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні на розрахунковий рік t ;

K^t — прогнозована імовірна середньорічна кількість конфліктних ситуацій на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні на розрахунковий рік t .

Найбільш перспективним методом прогнозування інтенсивності руху на автомобільних дорогах є прийнятий в Україні метод за формулою складних відсотків [6]:

$$N^t = N_0 (1 + \beta)^{(t-t_0)}, \quad (10)$$

де N^t — перспективна інтенсивність руху на розрахунковий рік, t ;

N_0 — інтенсивність руху в поточному році, t_0 ;

β — коефіцієнт щорічного приросту інтенсивності руху.

Загальна математична модель прогнозування імовірної середньорічної кількості ДТП на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні з урахуванням імовірної кількості конфліктних ситуацій як у конфліктній точці так і на пересіченні в цілому, якщо брати до уваги рис. 1 та формули (3) — (10), має наступний вигляд:

$$n_{ДТП}^t = 1,73 \cdot 10^7 P_{ДТП} \sum_{i=1}^n \left[\lambda_{0i} \Psi_{0i} (1 + \beta)^{2 \cdot (t-t_0)} e^{-(1+\beta)^{(t-t_0)} (\lambda_{0i} + \Psi_{0i})} \right]. \quad (11)$$

Аналіз прогнозованої середньорічної кількості дорожньо-транспортних подій на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні дасть можливість надалі розробляти практичні рекомендації щодо заходів з підвищення безпеки руху з метою зниження аварійності.

Висновки та перспективи подальших досліджень

Таким чином, у роботі розроблена математична модель прогнозування середньорічної кількості дорожньо-транспортних подій на пересіченні автомобільних доріг на одному рівні на підставі застосування імовірності виникнення конфліктних ситуацій між транспортними засобами в конфліктних точках та на пересіченні в цілому.

Перспективою подальших досліджень є перевірка запропонованої математичної моделі на адекватність та розробка практичних рекомендацій щодо заходів з підвищення безпеки руху на пересіченнях автомобільних доріг на одному рівні.

Список літератури

1. Григор'єв В.І. Дослідження обставин, факторів та причин, які впливають на виникнення дорожньо-транспортних пригод з вини водіїв транспортних засобів. Заходи профілактики та шляхи уникнення дорожньо-транспортних пригод / В.І. Григор'єв // Безпека дорожнього руху України. — 2005. — №1-2. — С. 43-50.
2. Бабков В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения / В.Ф. Бабков. — М.: Транспорт, 1993. — 271 с.
3. Лобанов Е.М. Проектирование и изыскания пересечений автомобильных дорог / Е.М. Лобанов, В.М. Визгалов, А.П. Шевяков, В.А. Гохман, В.Б. Завадский, Ю.М. Ситников. — М.: Транспорт, 1972. — 232 с.
4. Карась Ю.В. Транспортные потоки и безопасность движения на автомобильных дорогах / Ю.В. Карась. — Казань: КХТИ, 1987. — 80 с.
5. Єресов В.І. Удосконалення методики оцінки потенційної небезпеки дорожнього руху / В.І. Єресов, Я.В. Рябець // Безпека дорожнього руху України. — 2005. — №1-2 (20). — С. 54-59.
6. Поліщук В.П. Теорія транспортного потоку: методи та моделі організації дорожнього руху / В.П. Поліщук, О.П. Дзюба. — К.: Знання України, 2008. — 175 с.
7. Дудніков О.М. Процес формування аварійності в конфліктних точках перехресть доріг в одному рівні / О.М. Дудніков, Р.О. Лапутин // Вісник Національного транспортного університету. — 2006. — №11. — С. 294-296.

Стаття надійшла до редакції 07.10.09

© Лапутин Р.О., Куєвда Д.В., 2009