

Дудніков О.М., к.т.н., Бабанін І.В.

АДІ ДВНЗ «ДонНТУ», м. Горлівка

## РОЗРОБКА КРИТЕРІЇВ БЕЗПЕКИ РУХУ НА ЧОТИРИСМУГОВИХ АВТОМАГІСТРАЛЯХ ЗА ІНТЕНСИВНІСТЮ ТА СКЛАДОМ РУХУ

*Розглянуто проблему безпеки руху на автомагістралях, що мають чотири смуги руху. Запропоновано та експериментально обґрунтовано критерії оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортних потоків за смугами.*

### Постановка наукової проблеми та задачі, що вирішується

Зростання чисельності парку автомобілів призводить до поступового збільшення інтенсивності руху на дорогах із побіжним зростанням кількості та тяжкості дорожньо-транспортних подій (ДТП) на них. Серед усіх доріг найбільш інтенсивний рух спостерігається на автомагістралях. Збільшення інтенсивності руху на ділянках автомагістралей виражається у вигляді її різної зміни за смугами одного напрямку, що повинно впливати на умови руху з точки зору безпечного виконання водіями маневрів зміни смуги руху та обгону [1].

Найпоширенішими у дорожній мережі України є магістралі, що мають по дві смуги руху у кожному напрямку, що пояснює зрозумілий інтерес, проявлений до них. Статистика дорожньо-транспортних подій на цих дорогах дозволяє виділити такий вид ДТП як побіжне зіткнення, що складає значну частку в загальній їх кількості (55 % за дослідженнями авторів).

У роботах [2] та [3] були розроблені моделі процесу зміни смуги руху на ділянці автомагістралі відповідно з правої на ліву смугу та з лівої на праву з імовірним виникненням побіжного зіткнення.

Формалізація моделі виникнення побіжного зіткнення на ділянках чотирисмугової автомагістралі, під час виконання маневру зміни смуги руху з правої на ліву, дозволила отримати залежність щодо співвідношення інтенсивності щільних транспортних потоків за смугами руху [2]:

$$\frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} = \frac{1}{v_n} \left( \frac{\left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2 - (\bar{v}_n)^2}{2\bar{a}} - \bar{l}_{a_n} - 6,5e^{0,09 \left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]} \right) -$$

$$- \frac{\left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2 - (\bar{v}_n)^2}{2\bar{a} v_l} + \frac{\bar{l}_{a_n}}{v_l} + \bar{t} - \frac{(\bar{v}_l)^2 - (v_n)^2}{2\varphi_x g v_l} + \frac{(v_n)^2 - \left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2}{2\bar{a} v_l} +$$

$$+ \left( \frac{B_n}{2,55g\varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{v_l} \left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right] \cdot \left( \frac{8B_n}{g\varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (1)$$

де  $\bar{N}_n$  — інтенсивність щільного транспортного потоку на правій смузі, авт./с;

$\overline{N}_l$  — інтенсивність щільного транспортного потоку на лівій смузі, *авт./с*;

$\overline{v}_n$  — середня швидкість щільного транспортного потоку на правій смузі, *м/с*;

$v_n$  — швидкість транспортних засобів, що стали учасниками ДТП, на момент зіткнення, *м/с*;

$\overline{a}$  — прискорення транспортного засобу, що виконує маневр зміни смуги, *м/с<sup>2</sup>*;

$\overline{t}$  — сумарний час реакції водія, час спрацювання гальмівної системи та половина часу наростання сповільнення [4], *с*;

$\overline{v}_l$  — середня швидкість щільного транспортного потоку на лівій смузі, *м/с*;

$\phi_x$  — поздовжній коефіцієнт зчеплення;

$g$  — прискорення вільного падіння, *м/с<sup>2</sup>*;

$\overline{l}_{a_n}$  — середня довжина транспортного засобу на правій смузі, *м*;

$B_n$  — ширина смуги руху, *м*;

$\phi_y$  — поперечний коефіцієнт зчеплення.

Формалізація моделі виникнення побіжного зіткнення на ділянках чотирисмугової автомагістралі, під час виконання маневру зміни смуги руху з лівої на праву, дозволила отримати наступну залежність [3]:

$$\begin{cases} \frac{1}{\overline{N}_l} = \frac{1}{\overline{v}_l} \cdot 6,5e^{0,09 \cdot \overline{v}_l}, \\ \frac{1}{\overline{N}_n} = \frac{\overline{v}_l}{\overline{v}_n} \left( \frac{8B_n}{g\phi_y} \right)^{\frac{1}{2}} - \left( \frac{8B_n}{g\phi_y} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\overline{l}_{a_n}}{\overline{v}_n} + \overline{t} \frac{\overline{v}_l}{\overline{v}_n} + \frac{(\overline{v}_l)^2 - (v_n)^2}{2\phi_x g \overline{v}_n} - \overline{t} - \frac{\overline{v}_l - v_n}{2\phi_x g} + \frac{\overline{l}_{a_n}}{\overline{v}_l}, \end{cases} \quad (2)$$

де  $\overline{l}_{a_n}$  — середня довжина транспортного засобу на лівій смузі, *м*.

Наведені вище математичні моделі (1), (2) дозволяють розробити критерії оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом руху, які надалі потрібно експериментально перевірити.

Постає наукова задача щодо розробки та експериментальної перевірки критеріїв оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку.

### **Мета роботи**

Розробка та проведення експериментальної перевірки критеріїв оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку за смугами.

### **Основна частина**

За критерій оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку під час виконання маневру зміни смуги руху з правої на ліву обрано характеристику, що розкриває співвідношення частин рівняння (1) на предмет скоєння ДТП. Критерій пропонується позначити  $\Delta_1$  та визначити за наступною формулою:

$$\begin{aligned}
\Delta_1 = & \frac{1}{\bar{v}_n \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} \left( \frac{\left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2 - (\bar{v}_n)^2}{2\bar{a}} - \bar{l}_{a_n} - 6,5e^{0,09 \left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]} \right) - \\
& - \frac{\left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2 - (\bar{v}_n)^2}{2\bar{a} \bar{v}_l \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} + \frac{\bar{l}_{a_n}}{\bar{v}_l \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} + \frac{\bar{t}}{\left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} - \frac{(\bar{v}_l)^2 - (v_n)^2}{2\varphi_x g \bar{v}_l \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} + \\
& + \frac{(v_n)^2 - \left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right]^2}{2\bar{a} \bar{v}_l \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} + \frac{1}{\left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} \left( \frac{B_n}{2,55 g \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} - \frac{1}{\bar{v}_l \left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)} \times \\
& \times \frac{\left[ v_n - \bar{a} \left( \bar{t} + \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \right) \right] \left( \frac{8B_n}{g \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}}}{\left( \frac{1}{N_n} + \frac{1}{N_l} \right)}. \quad (3)
\end{aligned}$$

За критерій оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку під час виконання маневру зміни смуги руху з лівої на праву обрано характеристику, що розкриває співвідношення частин рівняння (2) на предмет скоєння ДТП. Критерій пропонується позначити  $\Delta_1$  та визначати за наступною формулою:

$$\Delta_2 = \frac{\bar{v}_l \bar{N}_n}{\bar{v}_n} \left( \frac{8B_n}{g \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} - \bar{N}_n \left( \frac{8B_n}{g \varphi_y} \right)^{\frac{1}{2}} + \frac{\bar{l}_{a_n} \bar{N}_n}{\bar{v}_n} + \bar{t} \bar{N}_n \frac{\bar{v}_l}{\bar{v}_n} + \bar{N}_n \frac{(\bar{v}_l)^2 - (v_n)^2}{2\varphi_x g \bar{v}_n} - \bar{t} \bar{N}_n - \frac{\bar{v}_l - v_n}{2\varphi_x g} \bar{N}_n. \quad (4)$$

Пропонується критерій оцінки безпеки руху для двох смуг одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку за смугами записати наступним чином (знак «+» прийнято на основі міркувань щодо сумісної оцінки збільшення кількості ДТП):

$$\Delta = \frac{\Delta_1 + \Delta_2}{2}. \quad (5)$$

За об'єкт експериментального дослідження під час перевірки критеріїв оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку пропонується прийняти автомагістраль М-04 Київ — Луганськ — Ізварине км. 749 — км. 766. Ця ділянка має по дві смуги руху у кожному напрямку та розділову смугу.

Дані щодо статистики ДТП на автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766 станом на 2005 рік, що були отримані у Державній Автомобільній Інспекції (ДАІ) України в Донецькій області, вказують на наявність значної кількості побіжних зіткнень (55 % від загальної кількості ДТП).

Визначена ділянка дороги була проаналізована щодо кількості побіжних зіткнень та потерпілих за кілометражем магістралі. Результати обробки статистичних даних ДТП представлені у вигляді графічних залежностей (рис. 1-3).

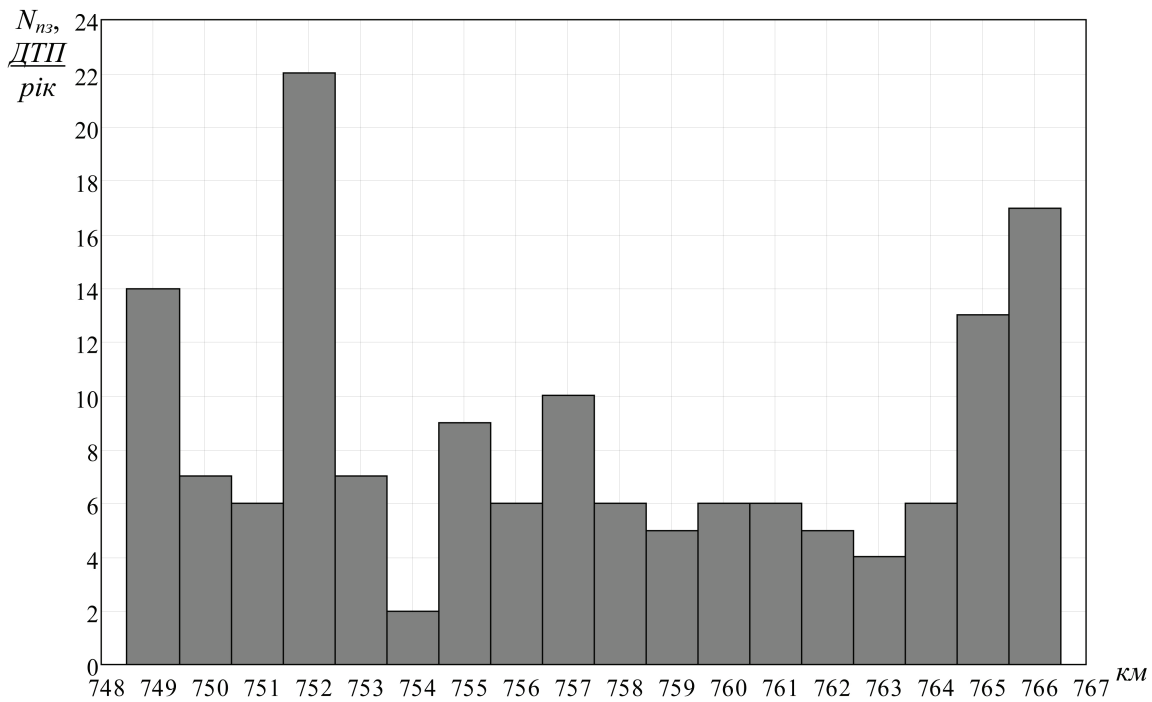


Рис. 1. Середньорічна кількість побіжних зіткнень  $N_{nz}$  на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766

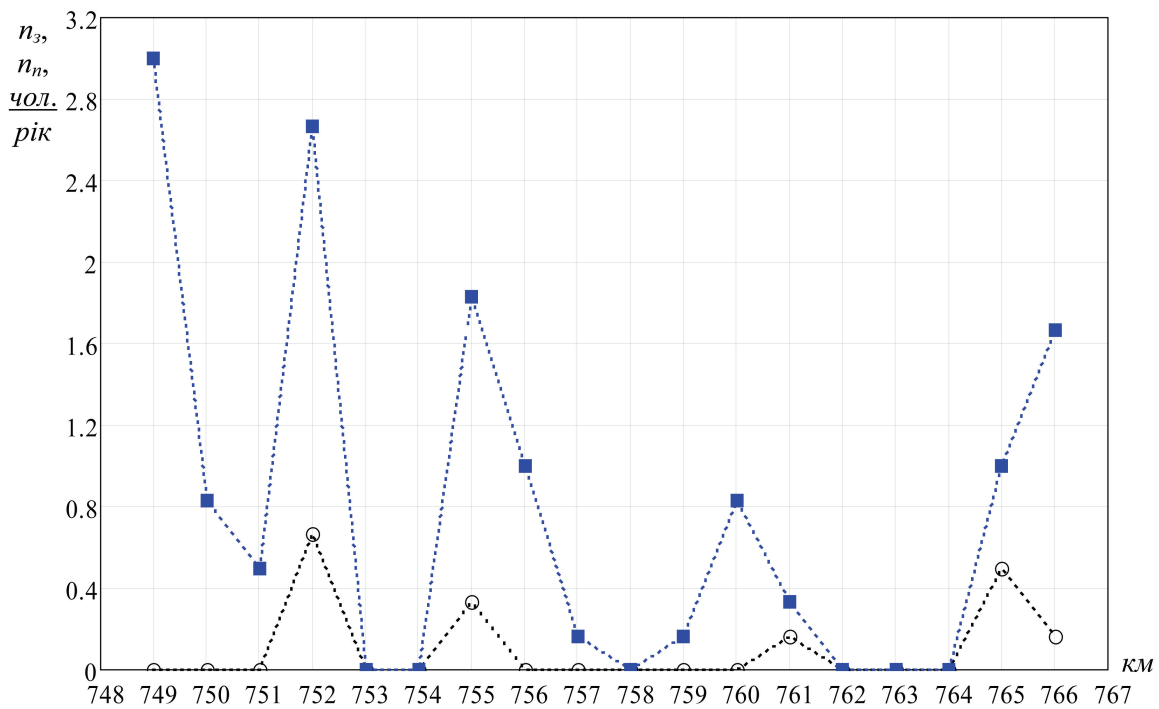


Рис. 2. Середньорічна кількість загиблих  $n_z$  та поранених  $n_n$  у побіжних зіткненнях на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766:  
 ■ — кількість поранених  $n_n$ ; ○ — кількість загиблих  $n_z$

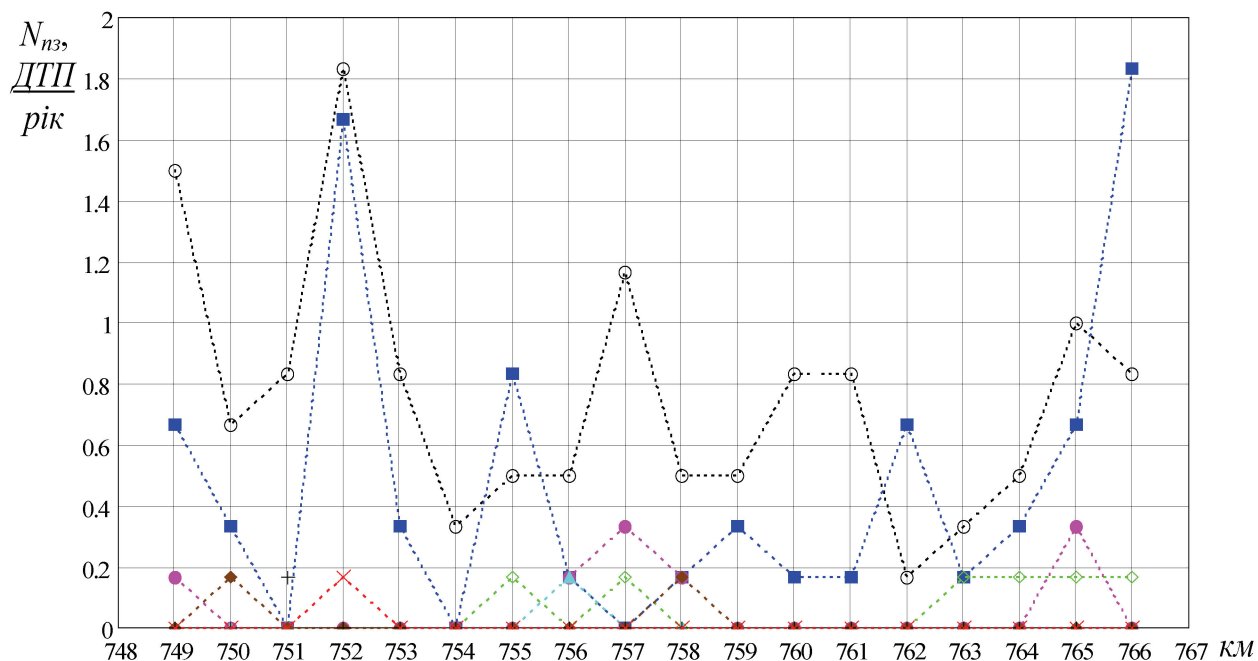


Рис. 3. Середньорічна кількість побіжних зіткнень  $N_{nz}$  за учасниками ДТП на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766:

- — легковий – легковий; ■ — легковий – вантажний; ◇ — вантажний – вантажний;
- — легковий – легковий – легковий; ▲ — легковий – автобус; ◆ — легковий – трактор;
- + — легковий – легковий – легковий – легковий; × — легковий – легковий – вантажний

На рис. 4 наведено усереднені результати виміру швидкостей руху транспортних потоків, отриманих в органах ДАІ.

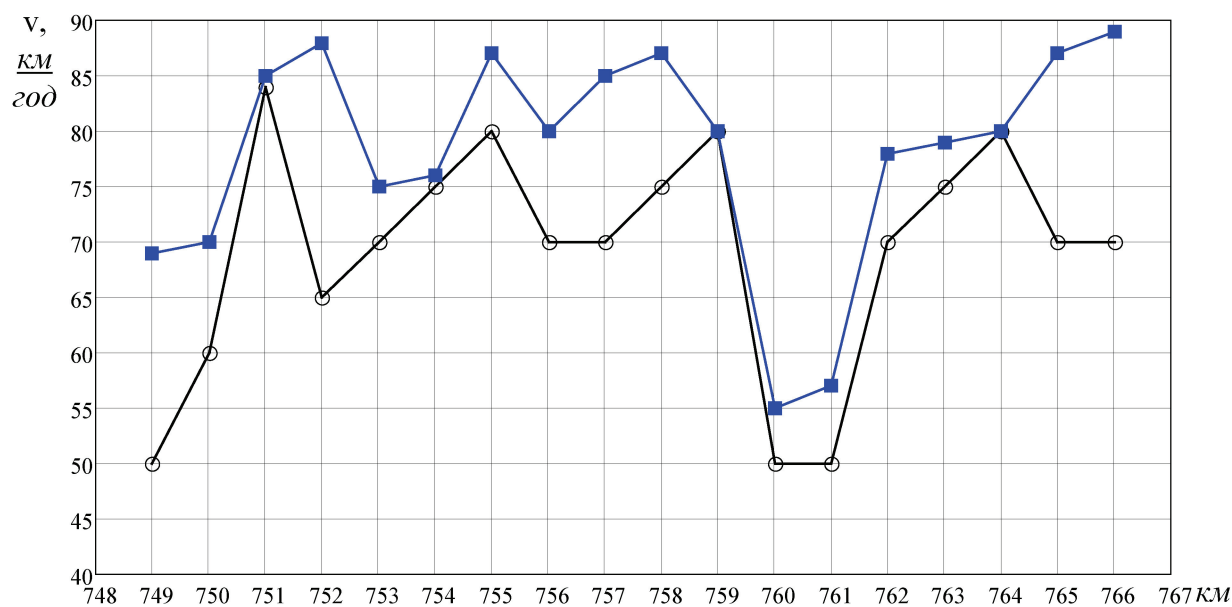


Рис. 4. Розподіл усереднених швидкостей руху  $v$  автомобілів за смугами на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766:

- — права смуга; ■ — ліва смуга

На рис. 5 наведені дані щодо усереднених коефіцієнтів зчеплення за кілометражем ділянки дороги М-04 км. 749 — км. 766.

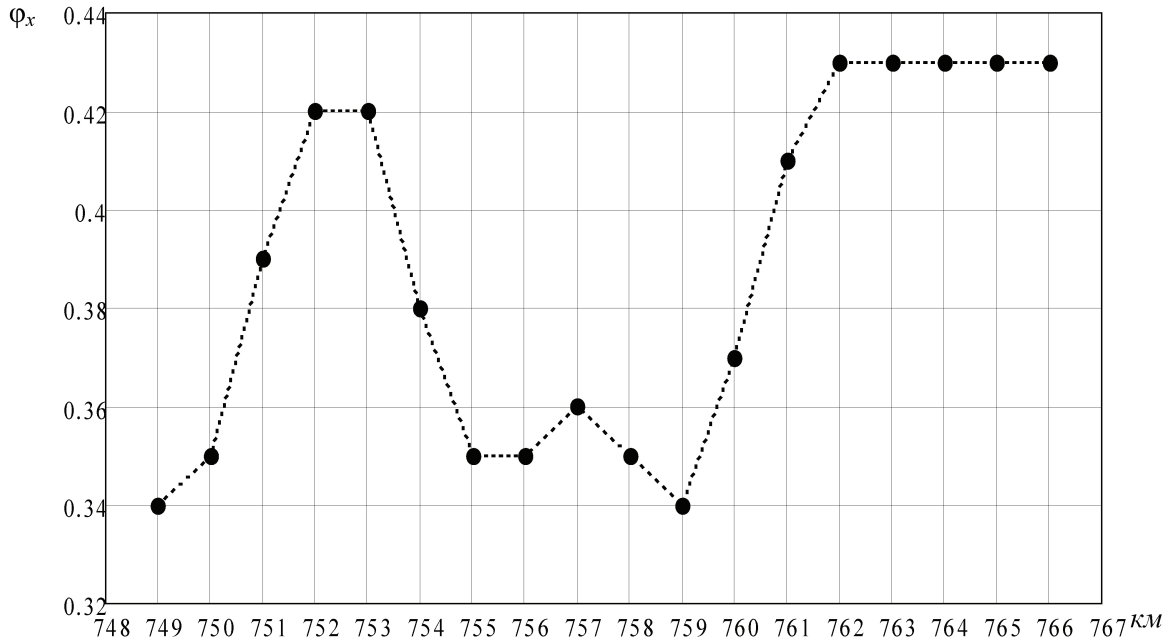


Рис. 5. Усереднені значення коефіцієнтів зчеплення  $\phi_x$  на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766

Нижче наведені результати виміру інтенсивності руху за смугами на ділянці дороги М-04 км. 749 — км. 766 (рис. 6), отриманих у період з 01.09.09 р. по 21.09.09 р.

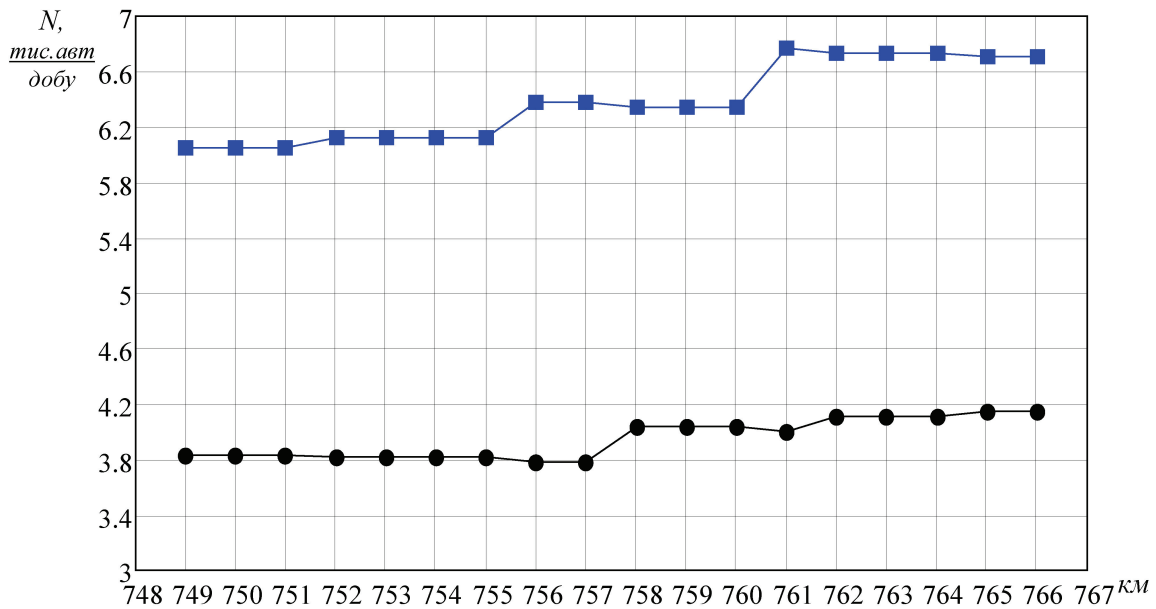


Рис. 6. Розподіл усередненої інтенсивності руху  $N$  за смугами на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766:

● — ліва смуга; ■ — права смуга

Відповідно до (3) та (4) необхідно додатково визначити наступні складові рівнянь стосовно ділянки дороги, що розглядається:

- швидкість транспортних засобів  $v_n$ , що стали учасниками ДТП, на момент зіткнення приймаємо рівною найменшій усередненій швидкості транспортного потоку на ділянці, що розглядається;  $v_n=50 \text{ км/год}$ ;
- прискорення  $\bar{a}$  приймаємо максимальним для «середнього» транспортного засобу у потоці; у розрахунках приймаємо  $\bar{a}=3 \text{ м/с}^2$  [4];
- сумарний час реакції водія, час спрацювання гальмівної системи та половина часу наростання сповільнення  $\bar{t}$  приймаємо рівним  $2 \text{ с}$ , відповідно до [4];
- довжину транспортного засобу (визначає склад транспортного потоку) приймаємо рівною  $\bar{l}_a = 5 \text{ м}$  (для легкових автомобілів) та  $\bar{l}_a = 7 \text{ м}$  (для вантажних автомобілів і автобусів);
- ширина смуги руху визначається за технічним паспортом дороги; ширина смуги на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766 дорівнює  $B_n = 3,75 \text{ м}$  (за даними ДАІ);
- поперечний коефіцієнт зчеплення  $\varphi_y$  визначається за формулою з [4]:

$$\varphi_y = (0,6 \dots 0,8) \varphi_x. \quad (6)$$

Таким чином, ми отримали змогу за рівняннями (3), (4), та (5) побудувати графічну залежність зміни розробленого критерію  $\Delta$  за кілометражем дороги М-04 Київ — Луганськ — Ізварине км. 749 — км. 766 (рис. 7).

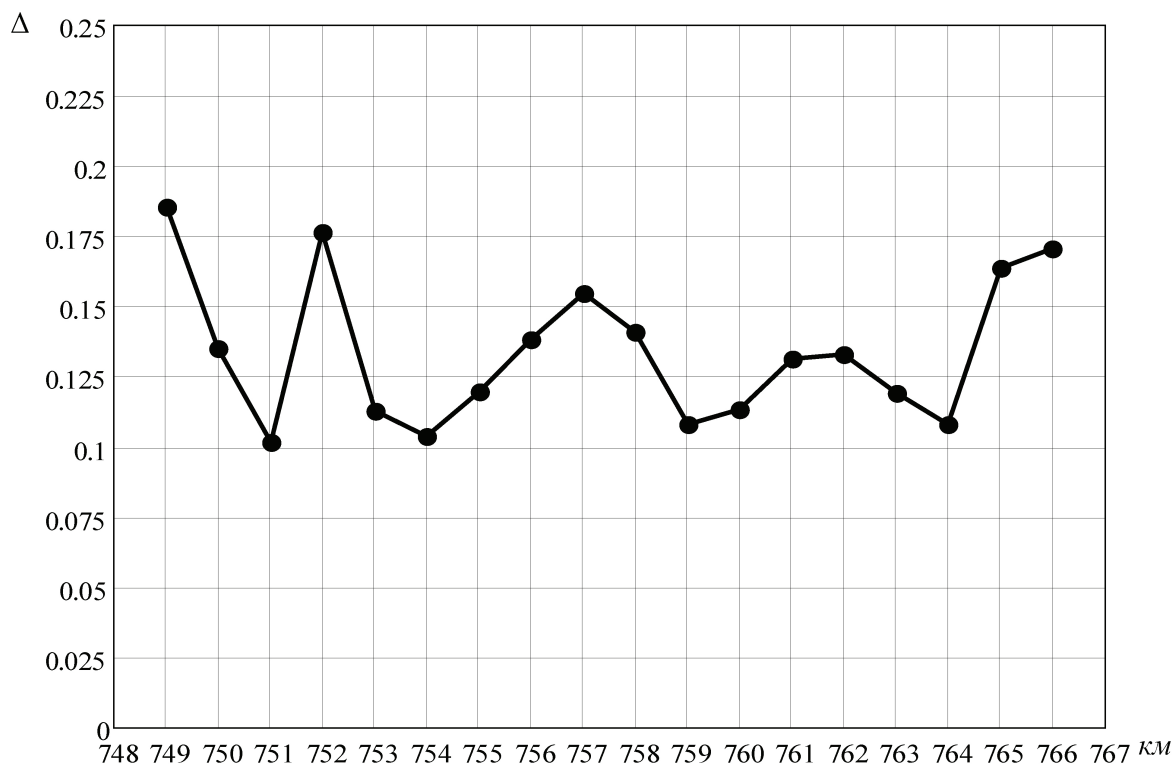


Рис. 7. Значення критерію  $\Delta$  на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766

Отриману графічну залежність критерію  $\Delta$  (рис. 7) необхідно порівняти з графіком зміни середньорічної кількості побіжних зіткнень за кілометражем дороги (рис. 1) та провести лінійний кореляційний аналіз (рис. 8).

Лінійний кореляційний аналіз отриманих значень критерію оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку  $\Delta$  (рис. 8) вказує на його достовірність (значення коефіцієнта кореляції складає

$r = 0,824$  при нормі  $r_{0,99} = 0,59$  за 18 пар точок та  $\alpha = 0,99$  [5]) щодо статистичної кількості побіжних зіткнень.

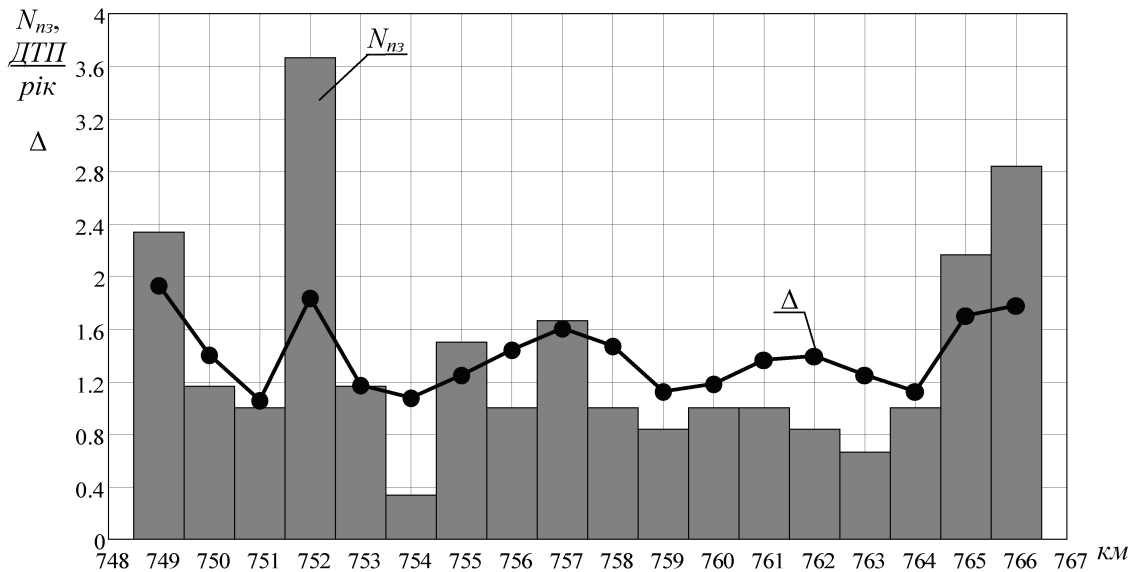


Рис. 8. Середньорічна кількість побіжних зіткнень  $N_{pz}$  та значення критерію  $\Delta$  на ділянці автомагістралі М-04 км. 749 — км. 766

### Висновок

Була досягнута мета щодо розробки критеріїв оцінки безпеки руху на двох смугах одного напрямку ділянки автомагістралі за інтенсивністю та складом транспортного потоку. Експериментально підтверджено раніше розроблені математичні моделі виникнення побіжного зіткнення на ділянках чотирисмугової автомагістралі під час виконання маневру зміни смуги руху. Результати експериментальної перевірки вказують на можливість застосування розроблених критеріїв на практиці щодо оцінки потенційної небезпеки виникнення такого виду ДТП як побіжне зіткнення за наявних інтенсивності, швидкостей та складу транспортного потоку.

### Список літератури

1. Справочник по безопасности дорожного движения, обзор мероприятий по безопасности дорожного движения / под ред. В.В. Сильянова. — Осло – Москва – Хельсинки, 2001. — 576 с.
2. Бабанін І.В. Вплив основних характеристик транспортного потоку автомагістралі на безпеку руху / І.В. Бабанін, О.М. Дудніков // Вісті Автомобільно-дорожнього інституту: науково-виробничий збірник. — Горлівка: АДІ ДонНТУ, 2009. — №2 (9).
3. Бабанін І.В. Формалізація процесу виникнення побіжного зіткнення на автомагістралях в умовах дворядних щільних транспортних потоків / О.М. Дудніков, І.В. Бабанін // Динаміка наукових досліджень-2009. — Познань, 2009.
4. Иларионов В.А. Экспертиза дорожно-транспортных происшествий / В. А. Иларионов. — М.: Транспорт, 1989. — 255 с.
5. Кобзарь А.И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. — 816с.

Стаття надійшла до редакції 14.10.09  
© Дудніков О.М., Бабанін І.В., 2009