



ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНА ПЕРЕВІРКА КРИТЕРІЮ ОЦІНКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО МАРШРУТНОГО ТРАНСПОРТУ НА ДОРОГАХ ДРУГОЇ КАТЕГОРІЇ

Анотація. Проведений поетапний синтез критерію оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту, який дав змогу записати відповідну розрахункову формулу.

Ключові слова: безпека руху, транспорт пасажирський, синтез, аварійність.

Аннотация. Проведенный поэтапный синтез критерия оценки безопасности движения пассажирского маршрутного транспорта, который позволил записать соответствующую расчетную формулу.

Ключевые слова: безопасность движения, транспорт пассажирский, синтез, аварийность.

Annotation. Conducted step by step synthesis of evaluation criteria safety of passenger bus, which allowed to record the appropriate calculation formula.

Keywords: road safety, passenger transport, synthesis, accident.

Вступ

Маршрутний транспорт, який здійснює пасажирські міжміські перевезення на дорогах другої технічної категорії, як і інші учасники дорожнього руху, потрапляє в дорожньо-транспортні пригоди (далі – ДТП). Сучасна статистика ДТП українських підрозділів державної автомобільної інспекції, так і підрозділів інших держав, вказує на значний відсоток ДТП із маршрутними транспортними засобами на ділянках вказаних доріг та на суттєву їх тяжкість [1,2].

Було встановлено, що зараз не існує методики, яка б враховувала безпеку руху пасажирського маршрутного транспорту. У роботі [2] синтезований критерій оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту, що потребує подальшої експериментальної перевірки.

Основна частина

Головною метою експериментальних досліджень, що плануються, є підтвердження та відповідним чином обґрунтування отриманих

у попередніх розділах теоретичних положень. Результатом вказаних теоретичних досліджень є синтезований критерій оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на дорогах другої категорії:

$$K_m = \frac{\left(\frac{1}{2l^2} + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{l_i} \right)^2 \cdot \left(\frac{l}{l_p + l_m} \right)^2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma_N^2 + \sigma_q^2 \cdot \sigma_{v_i}^2}{2}}}{\sqrt{\frac{1}{2l^2} + \frac{1}{2n} \sum_{i=1}^n \frac{1}{l_i} \cdot \left(\frac{l}{l_p + l_m} \right)^2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (a_i v_i)^2 + \sum_{i=1}^n (a_i)^2 \cdot \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_{m_i} \right)^2}{2}} \cdot \sqrt{\sigma_L^2}} \times \left(\frac{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i v_i)^2 + \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (a_i)^2 \cdot \left(\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n v_i - \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m v_{m_i} \right)^2}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sigma_k^2 + \sigma_a^2 \cdot \sigma_v^2}{2}} \right) \times \left(\sqrt{\sigma_L^2} - \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(T_i \cdot v_i + \frac{v_i^2 - v_{m_i}^2}{2j_i} \right) - \left(\frac{1}{m} \sum_{i=1}^m T_{m_i} \cdot v_{m_i} + \frac{v_{m_i}^2 - v_i^2}{2j_{m_i}} \right)} \right)^2 \quad (1)$$

де K_m – критерій оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту, од.;



\bar{t} – середній арифметичний інтервал руху у транспортному потоці на кожному кілометрі, с;

t_i – значення інтервалу руху у просторі між транспортним засобом загального транспортного потоку та транспортним засобом пасажирського маршрутного транспорту на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, м;

\bar{T} – середній арифметичний інтервал руху у просторі між транспортним засобом загального транспортного потоку та транспортним засобом пасажирського маршрутного транспорту на кожному кілометрі, м;

t_p – середній арифметичний час реакції водія транспортного засобу, що рухається другим, на його наближення до попереднього транспортного засобу на кожному кілометрі, с;

t_m – середній арифметичний час на виконання транспортним засобом маневру гальмування до рівності відповідних швидкостей руху на кожному кілометрі, с;

σ_N – середнє квадратичне відхилення інтенсивності транспортного потоку від інтенсивності пасажирського маршрутного транспорту на кожному кілометрі, авт./с;

σ_d – середнє квадратичне відхилення щільності транспортного потоку від щільності пасажирського маршрутного транспорту на кожному кілометрі, авт./м;

$\sigma_{v_{ii}}$ – середнє квадратичне відхилення швидкості транспортного потоку від швидкості пасажирського маршрутного транспорту на кожному кілометрі, м/с;

n – кількість спостережень відповідних параметрів та характеристик синтезованого критерію на кожному кілометрі, од.;

v_i – миттєва швидкість i -го транспортного засобу, що знаходився на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, м/с;

a_i – миттєве прискорення i -го транспортного засобу, що знаходився на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, м/с²;

σ_v – середнє квадратичне відхилення швидкостей руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення швидкості руху пасажирського маршрутного транспорту, м/с;

σ_a – середнє квадратичне відхилення прискорення руху транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення прискорення руху пасажирського маршрутного транспорту, м/с²;

σ_k – середнє квадратичне відхилення “кінетичної енергії” транспортних засобів на ділянці дороги визначеної довжини відносно середнього арифметичного значення “кінетичної енергії” транспортних засобів пасажирського маршрутного транспорту, м²/с³;

σ_L – середнє квадратичне відхилення дистанцій транспортних засобів на кожному кілометрі,

відносно середнього арифметичного значення дистанцій пасажирських маршрутних транспортних засобів, с;

$$T_i = t_{1i} + t_{2i} + 0,5 \cdot t_{3i}, \quad T_{m_i} = t_{1m_i} + t_{2m_i} + 0,5 \cdot t_{3m_i},$$

t_{1i}, t_{1m_i} – час реакції водія відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, с;

t_{2i}, t_{2m_i} – час спрацювання гальмівної системи відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, с;

t_{3i}, t_{3m_i} – час зростання сповільнення відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, с;

v_{m_i} – миттєва швидкість i -го пасажирського маршрутного транспортного засобу на кожному кілометрі, у момент часу проведення вимірювань, м/с;

J_i, J_{m_i} – розрахункове сповільнення відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі, для забезпечення можливості руху з мінімальною дистанцією до попереднього транспортного засобу, м/с².

Описане вище формує необхідний вхідний блок. Поставлене наукове завдання передбачає врахування видів ДТП 1, 3. У якості об'єкту експериментальних досліджень пропонується ділянка дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04 з 741 км до 772 км. Блок вхідних даних має чисельну прив'язку до значень кілометрових показників, що створює 31 кілометрове значення, у якому проводиться уявний перетин дороги.

Кількість вимірів миттєвих швидкостей автомобілів визначалася за методикою [3]. Розмах значень швидкостей руху склав 19 % $R=0.19$, точність виміру швидкості дорівнює 5 % $\Delta=0.05$, середнє квадратичне відхилення значень швидкості $\sigma = R/6 = 0.19/6 = 0.032$. Приймаємо довірчий інтервал $V_i=0.9$ [3], для якого показник надійності дорівнює $t_i=2.576$ [3]. Мінімальна кількість вимірів швидкостей транспортних засобів дорівнює $n = \left(\frac{t_i^2 \cdot \sigma^2}{\Delta^2} \right) = 3$, пропонується виконати 5. Виміри швидкостей у кількості п'яти проводилися продовж пікового періоду за інтенсивністю руху з 8-00 до 9-00 доби. Натурними спостереженнями отримані значення інтервалів руху у часі між транспортними засобами за смугами руху у двох напрямках. Значення інтервалів руху між транспортними засобами будемо застосовувати для розрахунку прискорень відповідних транспортних засобів. Були проведені розрахунки інтенсивностей та щільностей руху за відповідними перетинами спостережень, досліджені їх



відхилення від основних характеристик руху сукупності пасажирських маршрутних транспортних засобів.

Значення σ_L отримані розрахунковим методом та усереднені для окремих смуг руху загалом: $\sigma_{Lp1} = 12,1$ м; $\sigma_{Lp2} = 27,4$ м; $\sigma_{Lz1} = 11,6$ м; $\sigma_{Lz2} = 29,2$ м, де $p1$ – у напрямку 741 км – 772 км на правій смузі руху; $p2$ – у напрямку 741 км – 772 км на лівій смузі руху; $z1$ – у напрямку 772 км – 741 км на правій смузі руху; $z2$ – у напрямку 772 км – 741 км на лівій смузі руху.

Для вказаної формули (1) необхідно додатково визначити константи:

\bar{t}_p – середній арифметичний час реакції водія транспортного засобу, що рухається другим, на його наближення до попереднього транспортного засобу на кожному кілометрі, с; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо $\bar{t}_p = 0,7$ с для всіх точок розрахунку;

\bar{t}_m – середній арифметичний час на виконання транспортним засобом маневру гальмування до рівності відповідних швидкостей руху на кожному кілометрі, с; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо $\bar{t}_m = 0,8$ с для всіх точок розрахунку;

$$T_i = t_{1i} + t_{2i} + 0,5 \cdot t_{3i}, \quad T_{mi} = t_{1mi} + t_{2mi} + 0,5 \cdot t_{3mi},$$

t_{1i}, t_{1mi} – час реакції водія відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі ділянки дороги, у момент часу проведення вимірювань, с; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо $t_1 = 0,8$ с для всіх точок розрахунку, $t_{1m} = 1,4$ с для всіх точок розрахунку (водії маршрутних транспортних засобів мають більшу втому);

t_{2i}, t_{2mi} – час спрацювання гальмівної системи відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі ділянки дороги, у момент часу проведення вимірювань, с; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо $t_2 = 0,3$ с для всіх точок розрахунку, $t_{2m} = 0,3$ с для всіх точок розрахунку (в середньому транспортні засоби кількісно однаково обладнані пневматичними та гідравлічними приводами гальм);

t_{3i}, t_{3mi} – час зростання сповільнення відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі ділянки дороги, у момент часу проведення вимірювань, с; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо $t_3 = 0,6$ с для всіх точок розрахунку, $t_{3m} = 0,6$ с для всіх точок розрахунку (в середньому транспортні засоби формують вказаний час кількісно однаково відповідно до наявного коефіцієнта зчеплення 0,5...0,6);

$$T = t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3 = 1,4 \text{ с,}$$

$$T_m = t_{1m} + t_{2m} + 0,5 \cdot t_{3m}.$$

j_i, j_{mi} – розрахункове сповільнення відповідного транспортного засобу на кожному кілометрі ділянки дороги, для забезпечення можливості руху з мінімальною дистанцією до попереднього транспортного засобу, м/с²; відповідно до рекомендацій [4] приймаємо: $j_{p1} = 5$ м/с², $j_{p2} = 3,5$ м/с², $j_{z1} = 5$ м/с², $j_{z2} = 3,5$ м/с² для всіх точок розрахунку; $j_{mp1} = 6,5$ м/с², $j_{pm2} = 4$ м/с², $j_{mz1} = 6,5$ м/с², $j_{mz2} = 4$ м/с² для всіх точок розрахунку (в середньому транспортні засоби формують вказане сповільнення відповідно до наявного коефіцієнта зчеплення 0,5...0,6).

Були проведені розрахунки розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту, **рис. 1–4**.

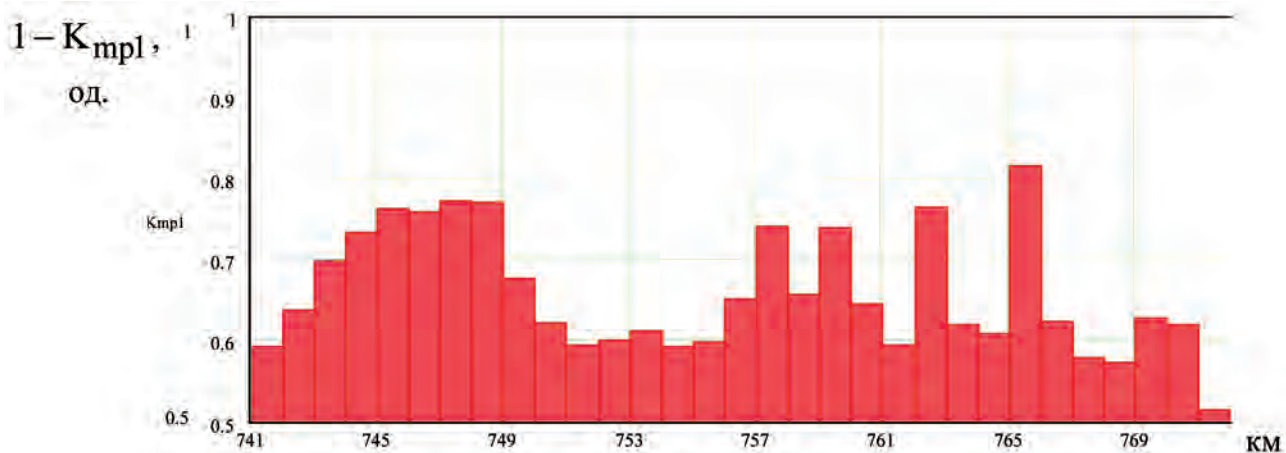


Рис. 1. Зворотні значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на правій смузі руху в напрямку 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

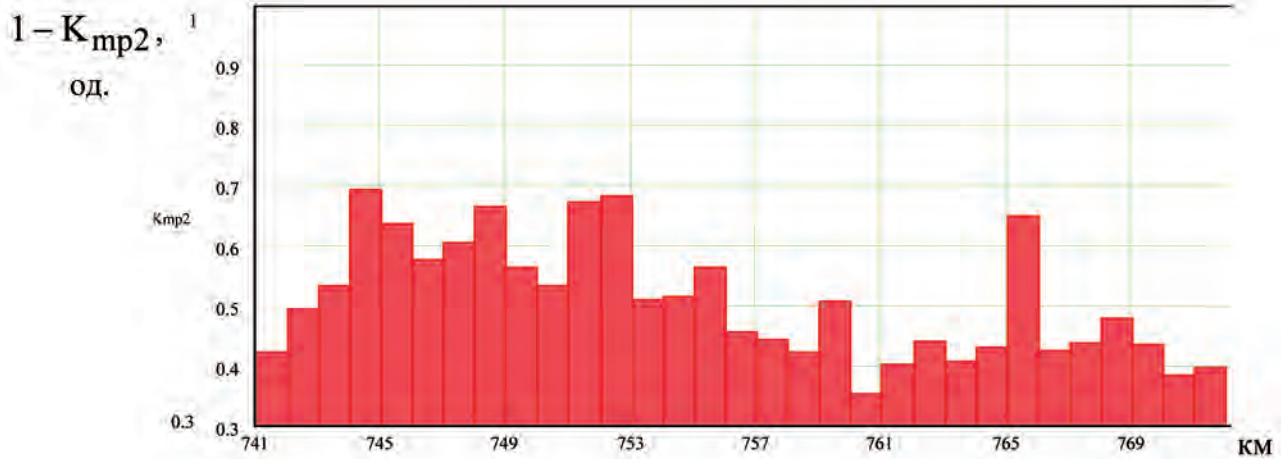


Рис. 2. Зворотні значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрут-ного транспорту на лівій смузі руху в напрямку 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

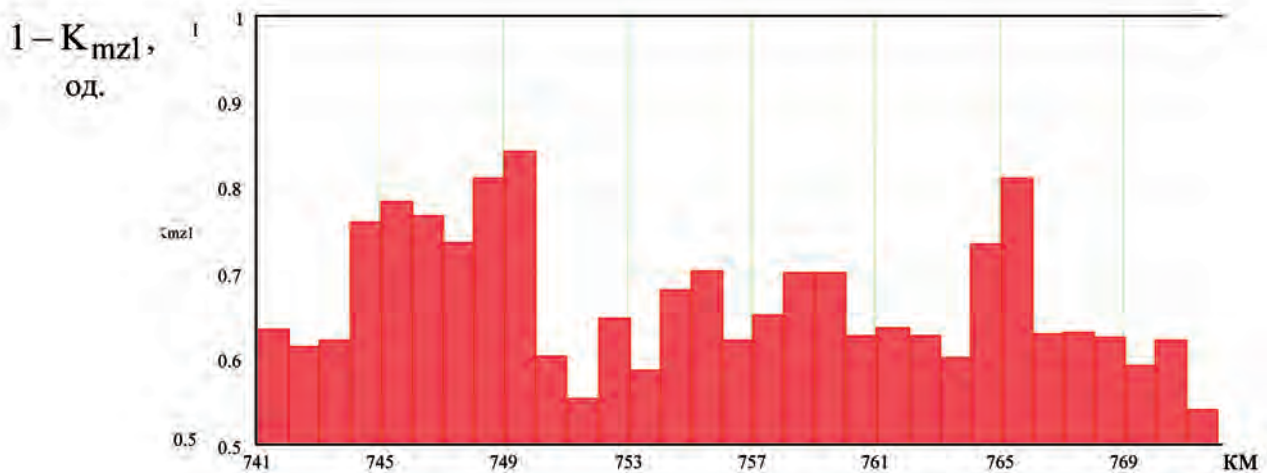


Рис. 3. Зворотні значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрут-ного транспорту на правій смузі руху в напрямку 772 км – 741 км ділянки дороги загального користу-вання державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

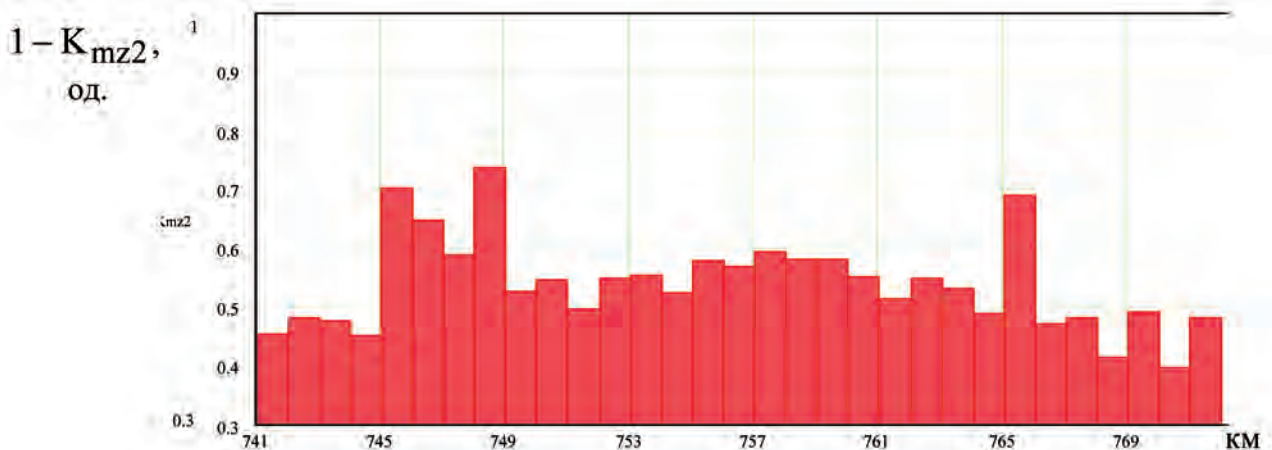


Рис. 4. Зворотні значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрут-ного транспорту на лівій смузі руху в напрямку 772 км – 741 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

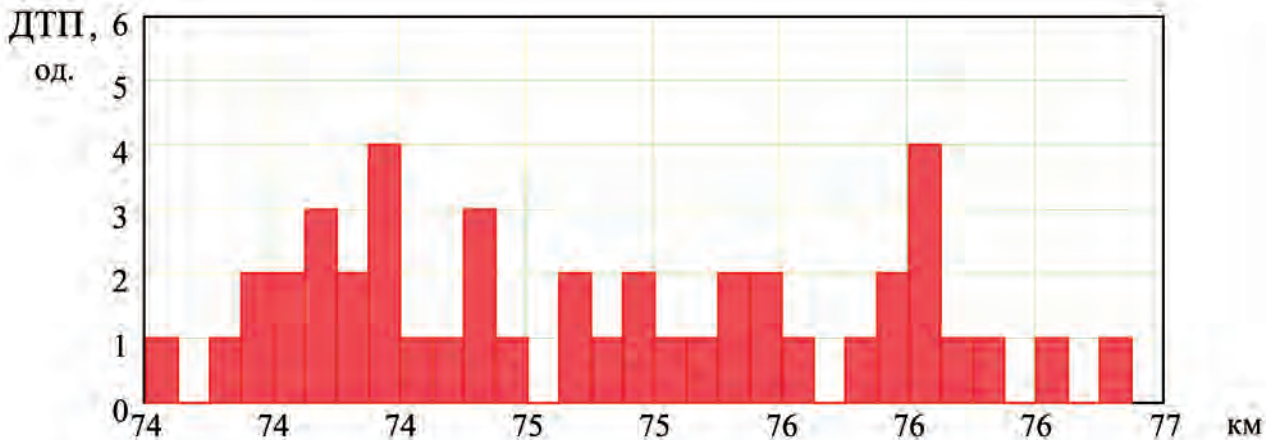


Рис. 5. Значення кількості ДТП із пасажирськими маршрутними транспортними засобами на 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

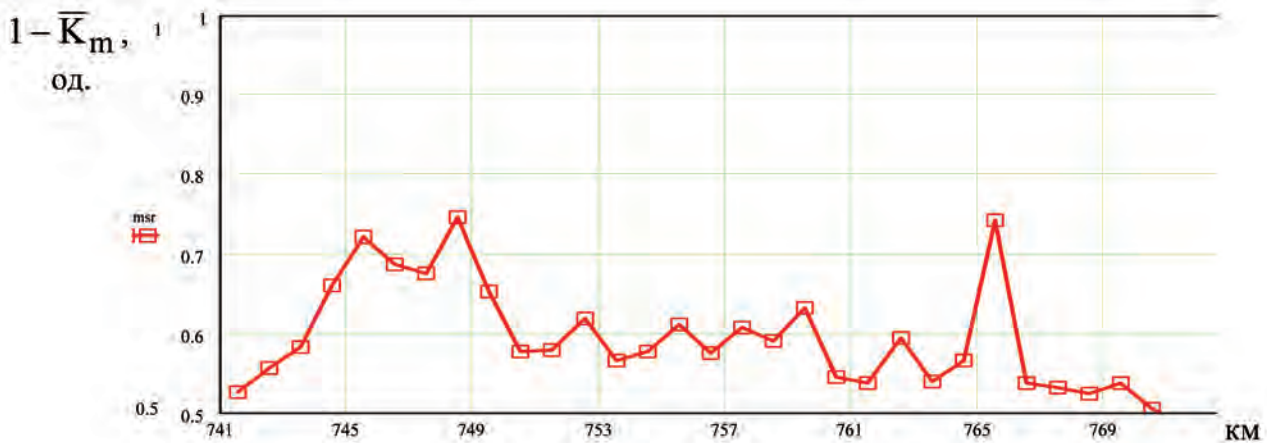


Рис. 6. Середнє арифметичне серед смуг руху зворотнє значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

Відповідно до зібраних даних щодо статистики ДТП з пасажирськими маршрутними транспортними засобами побудована діаграма, **рис. 5**.

У зв'язку з тим, що статистка ДТП за даними ДАІ не розкриває інформацію щодо напрямків руху відповідних транспортних засобів та смуг руху, на яких відбулися ДТП, пропонується побудувати графік середніх зворотних значень розробленого критерію за кожною точкою серед чотирьох смуг руху, **рис. 6**.

Проведемо із застосуванням лінійного кореляційного аналізу перевірку гіпотез щодо наявності прямої пропорційності між значеннями кількості ДТП та зворотними значеннями розробленого оціночного критерію за середніми арифметичними значеннями та за значеннями, що відповідають окремим смугам руху, **рис. 7**. Обсяг двомірної вибірки даних складає 31 пару точок, при відповідному ступені свободи 30, за даними [5] критичне значення коефіцієнту лінійної кореляції складає 0,423 для довірчої імовірності 0,95.

Теоретична кількість ДТП із пасажирськими маршрутними транспортними засобами для вказаної ділянки дороги розраховувалася за такою формулою:

$$d_t = [(\bar{K}_m)_{\max} - \bar{K}_m] \cdot \gamma_{\text{дтп}} \cdot \text{ДТП}/5\text{років}, \quad (2)$$

де d_t – теоретична кількість ДТП з пасажирськими маршрутними транспортними засобами для ділянок доріг другої категорії з двома смугами руху в одному напрямку для поточної кілометрової ділянки, ДТП/5років;

$(\bar{K}_m)_{\max}$ – максимальне значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту зі всіх кілометрових ділянок досліджуваної дороги, од.;

\bar{K}_m – значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту для поточної кілометрової ділянки досліджуваної дороги, од.;

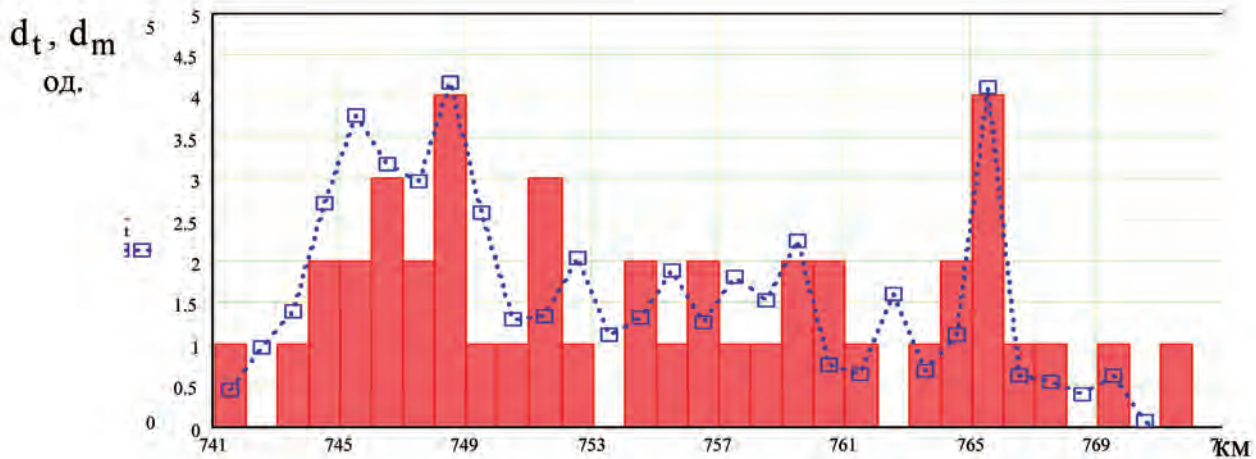


Рис. 7. Середнє арифметичне серед смуг руху значення приведеного до кількості ДТП d_t розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту та d_m кількість ДТП на 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04

$\gamma_{дтп}$ – коефіцієнт пропорційності між значенням розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту та кількістю ДТП з пасажирськими маршрутними транспортними засобами для досліджуваної дороги, ДТП/од.

Для 741 км – 772 км ділянки дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04 значення констант у формулі (4.5) розраховані при проведенні експерименту та мають вигляд:

$(\bar{K}_m)_{max} = 0,5$ – максимальне значення розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту зі всіх кілометрових ділянок дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04, 741 км – 772 км, од.;

$\gamma_{дтп} = 17$ – коефіцієнт пропорційності між значенням розробленого оціночного критерію безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту та кількістю ДТП із пасажирськими маршрутними транспортними засобами для дороги загального користування державного значення Київ – Луганськ – Ізварине М-04, 741 км – 772 км, ДТП/од.

Розрахунки відповідних значень коефіцієнтів лінійної кореляції показали такі відповідні результати: 0,502, 0,548, 0,561, 0,643 та для рис. 7 – 0,689.

Критичне значення коефіцієнту кореляції було вказане раніше та складає 0,423 [5] за довірою імовірністю 0,95, тобто всі значення розрахованих коефіцієнтів кореляції більше критичного. Все описане вище розкриває, що гіпотеза щодо можливості оцінки запропонованим критерієм кількісних та топографічних характеристик аварійності за участі пасажирських маршрутних транспортних засобів підтверджує-

ться, та вказує на адекватність теоретичних положень дослідження.

Максимальне значення розрахункового коефіцієнта кореляції 0,689 відповідає середнім значенням розробленого оціночного критерію. Це пояснюється тим, що вказані значення охоплюють всі чотири випадки для відповідних смуг руху, бо статистика ДТП не розкриває смугу руху та відповідні напрямки руху транспортних засобів у ДТП.

Висновки

Таким чином, розроблений критерій оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту був експериментально перевірений та підтверджений на предмет оцінки кількісних та топографічних характеристик аварійності за участі пасажирського маршрутного транспорту на дорогах другої категорії. Теоретичні положення роботи експериментально підтверджені.

ЛІТЕРАТУРА

1. **Національна доповідь** про стан техногенної та природної безпеки в Україні у 2008 році.
2. **Попов С.Ю.** Синтез критерію оцінки безпеки руху пасажирського маршрутного транспорту на дорогах II категорії / С.Ю. Попов // Автошляховик України: Науково-виробничий журнал / ДП “Державний автотранспортний науково-дослідний і проектний інститут”. – К.: ТОВ “Спрінт - Україна”, 2012. – № 3(227). – С. 20-24.
3. **Клишковштейн Г.И.** Організація дорожнього руху / Г.И. Клишковштейн, М.Б. Афанасьєв. - М.: Транспорт, 1992. – 207 с.
4. **Домке Э.Р.** Расследование и экспертиза дорожно-транспортных происшествий / Э.Р. Домке. – М.: Издательский центр “Академия”, 2009. – 288 с.
5. **Кобзарь А.И.** Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников / А.И. Кобзарь. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2006. – 816 с.