

3. Переверзев, М. П. Системы гибкого управления предприятием [Текст] / М. П. Переверзев, Л. Ф. Орлов. – Тула : ТГПУ, 2001. – 153 с.
4. Федоров, А. В. Управление процессом технического обслуживания и ремонта металлообрабатывающего оборудования [Текст] / А. В. Федоров // Автоматизация: проблемы, идеи, решения: Сб. трудов междунар. конф. / Под ред. Ю.Л. Маткина, А.С. Горелова. – Тула: Изд-во Тул. гос.ун-та, – 2003. – С. 118.
5. Власов, С. Е. Функциональное моделирование процессов проектирования и технологической подготовки производства радиоэлектронной аппаратуры [Текст] / С. Е. Власов, Л. И. Райкин, С. А. Перенков // Информационные технологии в проектировании и производстве. – 2005. – №4, – С. 66-72.
6. Каз, М. С. Оценка для целей контроля и мотивации в системе процессного управления ремонтной службой [Текст] / М. С. Каз // Вестник Томского государственного университета. Экономика. – 2007. – № 1. – С. 71-79.
7. Фатхутдинов, Р.А. Организация производства [Текст] / Р.А. Фатхутдинов. – М. : Инфра – М, 2000. – 126 с.
8. Р50.1.028-2001. Рекомендации по стандартизации. Информационные технологии поддержки жизненного цикла продукции. Методология функционального моделирования [Текст] : [Действующий с 2001г.]. – М. : Госстандарт России, 2001. – 43 с.
9. Вендров, А.М. CASE-технологии. Современные методы и средства проектирования информационных систем [Текст] / А. М. Вендров. – М.: Финансы и статистика, – 1998. – 48 с.
10. Марка, Д.А. Методология структурного анализа и проектирования [Текст] / Д.А. Марка, К. МакГоуэн. – М.: МетаТехнология. 1993, – 91 с.
11. National Institute of Standards and Technology . Integration Definition For Function Modeling (IDEF0). - Washington : Draft Federal Information, 1993. – 116.

В статі розглядається актуальна наукова проблема з підвищення безпеки дорожнього руху. Серед кола задач, що визначають вказану проблему, приділено увагу розробці детермінованої енергетичної характеристики безпеки руху транспортного потоку на основі застосування закону збереження і перетворення механічної енергії та експериментальному її обґрунтуванню

Ключові слова: транспортний потік, тяжкість дорожньо-транспортної пригоди, енергетична характеристика, ділянка дороги

В статье рассматривается актуальная научная проблема по повышению безопасности дорожного движения. Среди круга задач, определяющих указанную проблему, уделено внимание разработке детерминированной энергетической характеристики безопасности движения транспортного потока на основе применения закона сохранения и превращения механической энергии и экспериментальному её обоснованию

Ключевые слова: транспортный поток, тяжесть дорожно-транспортного происшествия, энергетическая характеристика, участок дороги

УДК 656.13

РОЗРОБКА ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ БЕЗПЕКИ РУХУ ТРАНСПОРТНОГО ПОТОКУ

О. М. Дудніков

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра транспортних технологій*
E-mail: andudnikov@rambler.ru

Н. М. Дуднікова

Кандидат технічних наук, доцент
Кафедра інформаційних систем в економіці*
E-mail: dudnikovann@rambler.ru

*Автомобільно-дорожній інститут державного вищого навчального закладу «Донецький національний технічний університет»
вул. Кірова, 51, м. Горлівка, Донецька область, Україна,
84646

1. Вступ

Проблема аварійності на автомобільному транспорті придбала особливу гостроту в останнє десятиліття. Сучасні змішані транспортні потоки несуть в

собі суттєву небезпеку, оскільки безпосередньо формують і впливають на безпеку руху [1-5].

Транспортний потік як система в якій відбувається формування безпеки руху, складається з підсистем водій-автомобіль-дорога (ВАД) [1-4], та несе в собі від-

повідну інформацію про свої структурні елементи, а також додаткову інформацію про взаємодію між ними, що дає можливість формування двох якісно різних рівнів оцінки безпеки руху.

2. Формування рівнів оцінки безпеки руху

У межах першого рівня оцінки безпеки руху, у якості основної характеристики, вводиться поточне значення кінетичної енергії автомобіля в межах відповідної системи ВАД.

Поточне значення кінетичної енергії з урахуванням закону її збереження і перетворення визначає об'єм енергії, що буде витрачена окремим автомобілем у поточний момент часу, у результаті виникнення дорожньо-транспортної пригоди (ДТП), на процеси: гальмування, маневрування, деформації, руйнування і нагрівання певних деталей автомобіля та прилеглих предметів дорожньої обстановки. Що у свою чергу розкриває тяжкість конкретної пригоди для даного автомобіля.

Відзначені вище уявлення транспортного потоку, як сукупності підсистем ВАД, а також з урахуванням закону збереження енергії, дозволяють зробити висновки про те, що значення кінетичних енергій або рівні потенційної тяжкості подій для окремих автомобілів об'єктивно впливають на процес формування тяжкості ДТП в потоці. Для того щоб зазначені окремі характеристики у вигляді поточних значень кінетичних енергій автомобілів, могли характеризувати систему – у вигляді потоку автомобілів, вони повинні додатково охоплювати процес індивідуальної взаємодії окремих автомобілів потоку.

У цьому випадку, зазначені характеристики набудуть нової якості і зможуть описувати тяжкість ДТП в транспортному потоці, що є другим рівнем оцінки безпеки руху.

3. Формулювання енергетичної характеристики безпеки руху транспортного потоку

Спочатку, для формулювання енергетичної характеристики безпеки руху транспортного потоку, необхідно синтезувати його детерміновану енергетичну модель.

Кожна підсистема ВАД у вигляді автомобіля у транспортному потоці характеризується поточним значенням кінетичної енергії. Для створення моделі потоку з погляду безпеки руху і закону збереження енергії, зазначені величини кінетичної енергії автомобілів, що перетинають умовний перетин дороги продовж певного часу спостереження, необхідно підсумувати.

В умовах, коли транспортний потік досліджується на ділянці дороги визначеної довжини, на якій у певний момент часу знаходиться декілька автомобілів з поточними значеннями кінетичних енергій сумарна кінетична енергія групи вказаних автомобілів буде дорівнювати:

$$K_{\text{пот}} = \frac{m_1 V_1^2}{2} + \frac{m_2 V_2^2}{2} + \dots + \frac{m_i V_i^2}{2}, \text{ або } K_{\text{пот}} = \frac{m V_{\text{н}}^2}{2}, \quad (1)$$

де $K_{\text{пот}}$ – кінетична енергія транспортного потоку i -го числа автомобілів на ділянці дороги визначеної довжини у певний момент часу, Дж;

m_1, m_2, \dots, m_i – маса кожного автомобіля з i -го числа на ділянці дороги визначеної довжини, кг;

V_1, V_2, \dots, V_i – швидкість кожного автомобіля з i -го числа на ділянці дороги визначеної довжини, м/с;

m – сумарна маса автомобілів i -го числа на ділянці дороги визначеної довжини, кг; визначається за формулою:

$$m = m_1 + m_2 + \dots + m_i, \quad (2)$$

$V_{\text{н}}$ – швидкість енергетичного потоку на ділянці дороги визначеної довжини, м/с.

Швидкість енергетичного потоку на ділянці дороги визначеної довжини відбиває швидкість переміщення сумарної маси автомобілів з тією же кінетичною енергією, що і досліджувана „частина потоку”. Ця умова передбачає рівномірний розподіл сумарної маси m по довжині ділянки дороги, що аналізується, з однаковою швидкістю $V_{\text{н}}$.

Подібне спрощення в межах розв'язуваної задачі якісно не змінює умови, транспортний потік аналізується на предмет загальної кінетичної енергії і швидкості переміщення маси, стосовно до визначеної ділянки дороги з i -тою кількістю автомобілів. У цьому випадку можливо також введення понять інтенсивності і щільності потоку, що дозволяє синтезувати відповідну модель потоку.

В основу аналітичних виражень необхідно закласти відомий зв'язок інтенсивності з щільністю і швидкістю в межах основного рівняння транспортного потоку:

$$N_{\text{н}} = q_{\text{н}} V_{\text{н}}, \quad q_{\text{н}} = \frac{K_{\text{пот}}}{L} = \frac{m V_{\text{н}}^2}{2L}, \quad N_{\text{н}} = \frac{m}{2L} V_{\text{н}}^3 = q_m V_{\text{н}}^3, \quad (3)$$

де $N_{\text{н}}$ – інтенсивність енергетичного потоку, Дж/с;

$q_{\text{н}}$ – щільність енергетичного потоку, Дж/м;

q_m – масова щільність транспортного потоку, відношення половини сумарної маси автомобілів певної кількості до довжини ділянки дороги, де вони знаходяться у певний момент часу, кг/м;

L – довжина ділянки дороги, де аналізується транспортний потік, де сконцентровані автомобілі сумарною масою m , м.

Система рівнянь (3) є енергетичною моделлю транспортного потоку. Відношення $\frac{m}{2L}$ вказує на те, що рівняння (3) справедливі для потоку будь-якої щільності на будь-якій довжині ділянки дороги для аналізу транспортного потоку, крім руху одиночного автомобіля.

Інтенсивність переміщення кінетичної енергії або «потужність» потоку автомобілів прямо пропорційна кубу його швидкості, з погляду процесу формування безпеки руху транспортного потоку, цей зв'язок, при його обґрунтуванні, може стати основним принципом формування тяжкості можливих ДТП. Транспортний потік оцінюється, насамперед, питомими величинами, тоді тяжкість аварійності в ньому – $K_{\text{н}}$ буде дорівнює його енергетичної інтенсивності у визначеному перетині:

$$K_1^n = N_n = \frac{m}{2L} V_n^3 = q_m V_n^3, \quad [K_1^n] = \frac{\text{Дж}}{c}. \quad (4)$$

З урахуванням залежностей (1) - (4) виділяється зв'язок характеристики тяжкості ДТП в транспортному потоці K_1^n з характеристиками тяжкості окремих ДТП на рівні систем ВАД – $K_{1,1}, K_{1,2} \dots K_{1,i}$, які дорівнюють відповідно кінетичним енергіям окремих автомобілів:

$$K_{\text{пот}} = K_{1,1} + K_{1,2} + \dots + K_{1,i}, \quad (5)$$

$$V_n = \sqrt{\left(\frac{2}{m} \sum_i K_{1,i}\right)}, \quad (6)$$

$$K_1^n = q_m \left[\sqrt{\left(\frac{2}{m} \sum_i K_{1,i}\right)} \right]^3. \quad (7)$$

Рівняння (7) розкриває структуру формування процесу безпеки руху транспортного потоку як системи з окремих ВАД. Зміна характеристики K_1^n , насамперед, зв'язана зі зміною кінетичної енергії підсистем ВАД, причому з їхніми швидкостями, однак ступінь зазначеної зміни визначається масою конкретного автомобіля.

З погляду класичного аналізу транспортного потоку (у рамках кінематичної моделі) величина K_1^n одночасно враховує: швидкість, типаж, масу транспортних засобів, щільність транспортного потоку та число смуг руху (підсумовування кінетичних енергій у підсистемах ВАД, в одному напрямку, можна здійснювати окремо і по смугах).

Отримана детермінована характеристика K_1^n визначає максимально можливу тяжкість ДТП, яка прямо пропорційна дійсній тяжкості ДТП, що відповідає експериментальним даним на рис. 1 - 4.

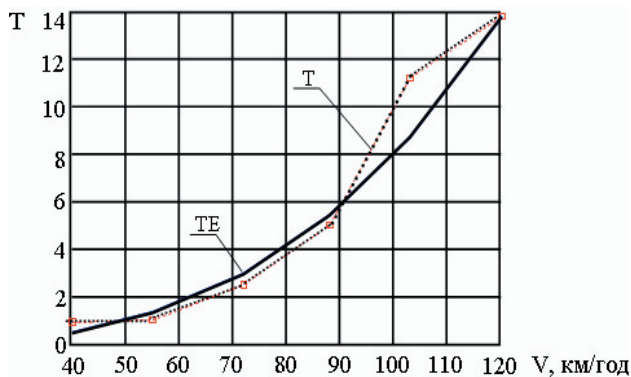


Рис. 1. Залежність тяжкості ДТП від швидкості транспортного потоку: T – експериментальні дані тяжкості аварійності І. Бросс (США) [5], відносна кількість смертельних випадків та поранень; TE – енергетичний розрахунок тяжкості аварійності: TE=1 при V=50 км/год з урахуванням (4)

$$TE = \frac{V^3}{50^3} \propto K_1^n$$

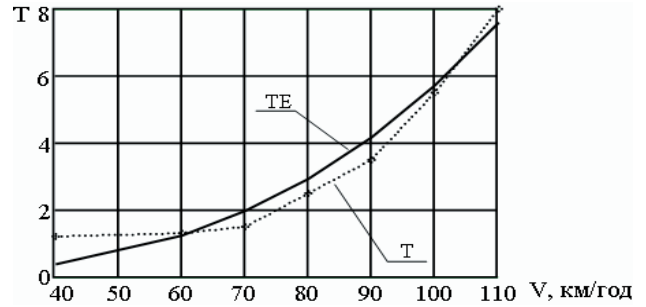


Рис. 2. Залежність тяжкості ДТП від швидкості транспортного потоку: T – експериментальні дані тяжкості аварійності В. Новизенцев (Росія) [5], відносна кількість смертельних випадків та поранень; TE – енергетичний розрахунок тяжкості аварійності: TE=1 при V=56 км/год з урахуванням (4)

$$TE = \frac{V^3}{56^3} \propto K_1^n$$

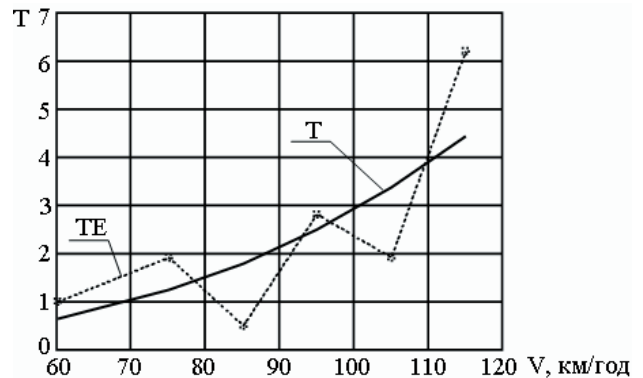


Рис. 3. Залежність тяжкості ДТП від швидкості транспортного потоку: T – експериментальні дані тяжкості аварійності С. Гольдберга (Франція) [5], відносна кількість смертельних випадків та поранень; TE – енергетичний розрахунок тяжкості аварійності: TE=1 при V=70 км/год з урахуванням (4)

$$TE = \frac{V^3}{70^3} \propto K_1^n$$

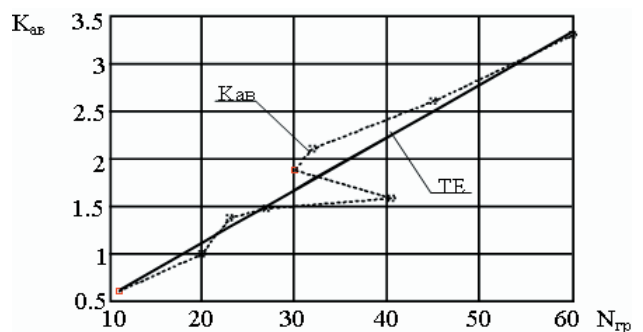


Рис. 4. Залежність аварійності від відсотка вантажних автомобілів у транспортному потоці (залежність аварійності від масової щільності потоку): $K_{ав}$ – експериментальні дані по аварійності Ф. Битцля (Німеччина) та П. Кулина (Росія) [5], число ДТП на один млн. проїхавших автомобілів; TE – енергетичний розрахунок аварійності: TE=1 при $N_{гр} = 18\%$ з урахуванням (4)

$$\begin{cases} TE = \frac{N_{гр}}{18} \propto K_1^n, \\ K_1^n = \frac{m}{2L} V_n^3 = q_m V_n^3, \\ q_m \propto N_{гр}, \\ V_n^3 = \text{const.} \end{cases}$$

Між тяжкістю ДТП і швидкістю автомобілів V_n чітко просліджується кубічна залежність, отримана в рівнянні (4).

Ріст відсотка вантажних автомобілів у складі потоку, насамперед, обумовлює прямо пропорційне збільшення його масової щільності q_m , що відповідно до виведених рівнянь, повинне забезпечувати лінійний ріст тяжкості ДТП.

Згідно представлених даних на рис. 4 відзначена залежність також присутня.

Дисперсія експериментальних даних відносно детерміновано розрахованих значень, досить невелика й у середньому складає 5...10%.

Найбільш серйозні розбіжності в даних викликані точністю експерименту [6 - 10], і в більшості носять випадковий характер. При цьому загальна тенденція зміни експериментальних залежностей однозначна за всіма рис. 1 - 4.

Наведені графічні залежності підтверджують правильність теоретичних висновків по енергетичній характеристиці безпеки руху транспортного потоку – K_1^n .

4. Висновки

Таким чином, отримані результати дозволяють додатково сформулювати детермінований принцип формування тяжкості ДТП – поточна безпека руху транспортного потоку у вигляді прогнозованої тяжкості ДТП на визначеній ділянці дороги прямо пропорційно кубу швидкості потоку відповідної сукупності автомобілів та масовій щільності транспортного потоку, що рухається по неї.

З практичної точки зору обґрунтовані залежності дозволяють виконувати безпосередні розрахунки максимальної та очікуваної величини тяжкості ДТП на конкретних ділянках дороги, змінювати очікуваний рівень тяжкості відповідним кубічним зниженням швидкості руху автомобілів або пропорційною зміною масової щільності потоку (шляхом рекомендації оптимальної дистанції між автомобілями), додатково стає можливим підтримувати рівень очікуваної тяжкості ДТП при збільшенні швидкості руху шляхом кубічного зниження масової щільності транспортного потоку.

Література

1. Дрю, Д. Теория транспортных потоков и управление ими [Текст]: пер. с англ. / Д. Дрю. – М.: Транспорт, 1972. – 424 с.
2. Хейт, Ф. Математическая теория транспортных потоков [Текст] : пер. с англ. / Ф. Хейт. – М.: Мир, 1966. – 286 с.
3. Kerner, B. S. Introduction to modern traffic flow theory and control. The long road to three - phase traffic theory. Springer, 2009. – 278 p.
4. Горев, А.Э. Основы теории транспортных систем: учебное пособие [Текст] / А.Э. Горев. – СПб.: СПбГАСУ, 2010. – 214 с.
5. Бабков, В.Ф. Дорожные условия и безопасность движения [Текст] / В.Ф. Бабков. – М.: Транспорт, 1993. – 271 с.
6. Гасников, А.В. Введение в математическое моделирование транспортных потоков [Текст] / А.В. Гасников. – М.: МФТИ, 2010. – 362 с.
7. Степанов, Е.О. Математические модели оптимизации транспортных сетей [Текст] / Е.О. Степанов. – Санкт-Петербург: СПбГУ ИТМО, 2005. – 244 с
8. Стенбринк П. Оптимизация транспортных сетей [Текст] / П. Стенбринк; пер. с англ. – М.: Транспорт, 1981. – 320 с.
9. Thomasian, A. J. The structure of Probability Theory with Applications [Текст] / A.J. Thomasian. - 1969. - 746 с.
10. Gnedenko, B.V. Theory of Probability [Текст] / B.V. Gnedenko (Gordon and Breach Science Publishers, New York, sixth ed.) - 1998. - 497 p.