

УДК 625.7

Є.Б.Угненко, О.М.Ужвієва

Харківський національний автомобільно-дорожній університет  
ІМОВІРНІСНА ОЦІНКА ПОКРАЩАННЯ ДОРОЖНІХ УМОВ ТА МАТЕМАТИЧНІ  
МОДЕЛІ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ РУХУ

*Розглянуто імовірнісну оцінку покращення дорожніх умов та математичні моделі підвищення безпеки руху. Зазначено, що математичне моделювання потребує наявності вихідної інформації про дорожньо-транспортні пригоди та характеристики геометричних розмірів дорожніх елементів.*

**Ключові слова:** дорожні умови, імовірнісна оцінка, концентрації ДТП, рівень аварійності, математична модель, геометричні розміри елементів доріг.

Табл 3. Форм 12. Літ 7

Е.Б.Угненко, Е.Н.Ужвиева

ВЕРОЯТНОСТНАЯ ОЦЕНКА УЛУЧШЕНИЯ ДОРОЖНЫХ УСЛОВИЙ И  
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ

*Рассмотрены вероятностная оценка улучшения дорожных условий и математические модели повышения безопасности движения. Отмечено, что математическое моделирование требует наличия исходной информации о дорожно-транспортных происшествиях и характеристиках геометрических размеров дорожных элементов.*

**Ключевые слова:** дорожные условия, вероятностная оценка, концентрации ДТП, уровень аварийности, математическая модель, геометрические размеры элементов дорог.

E. Ugnenko, E. Uzhvieva

LIKELIHOOD ESTIMATION OF IMPROVEMENT OF ROAD CONDITIONS AND  
MATHEMATICAL MODELS OF INCREASE OF TRAFFIC SAFETY

*The likelihood estimation of improvement of road conditions and mathematical models of increase of traffic safety are considered. It is noticed that mathematical modelling demands presence of the initial information on road and transport incidents and characteristics of the geometrical sizes of road elements.*

**Keywords:** road conditions, likelihood estimation, concentration of road and transport incidents, breakdown susceptibility level, mathematical model, geometrical parameters of elements of highways.

**Вступ.** В результаті здійснення заходів щодо безпеки дорожнього руху та при покращенні дорожніх умов на ділянках концентрації ДТП (дорожньо-транспортні пригоди) знижується аварійність. Наукове і практичне значення має задача оцінки покращання дорожніх умов при виконанні таких заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху. Імовірнісна оцінка покращення дорожніх умов може бути об'єктивною характеристикою діяльності дорожньо-експлуатаційної служби в підвищенні безпеки дорожнього руху. Забезпечення і підвищення безпеки руху транспорту і пішоходів при експлуатації доріг загального користування та на стадії їх проектування неможливе без всебічного аналізу фактичної аварійності, висвітлення її зв'язку з дорожніми умовами і, зокрема, з дорожніми елементами [1]. Встановити такий зв'язок і оцінити його кількісними показниками реально за допомогою математичного моделювання. Створення моделей потребує наявності вихідної інформації про дорожньо-транспортні пригоди (ДТП) та характеристики геометричних розмірів дорожніх елементів.

**Імовірнісна оцінка покращення дорожніх умов.** В основу оцінки покладемо імовірності появи ділянок концентрації ДТП до і після здійснення заходів, що визначаються за залежностями [2]

$$P_d(l \leq \bar{l}_{k_d}) = 1 - e^{-\bar{m}l_{k_d}}, \quad (1)$$

$$P_n(l \leq \bar{l}_{k_n}) = 1 - e^{-\bar{m}l_{k_n}}, \quad (2)$$

де  $P_d$ ,  $P_n$  – імовірності появи ділянок концентрації ДТП відповідно до і після здійснення заходів;

$l$  – випадкова відстань між ділянками ДТП;

$\bar{l}_{кд}, \bar{l}_{кп}$  – середні відстані між ділянками ДТП на ділянках концентрації відповідно до і після здійснення заходів;

$\bar{m}$  — математичне очікування ДТП (середня кількість) на одному кілометрі мережі автомобільних доріг.

Різниця між ймовірностями появи ділянок концентрації ДТП до і після впровадження заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху буде характеристикою покращання дорожніх умов на мережі автомобільних доріг:

$$\Delta P = (P_d - P_p) \cdot 100,$$

або

$$\Delta P = \left[ 1 - e^{-\bar{m}\bar{l}_{кд}} - 1 - e^{-\bar{m}\bar{l}_{кп}} \right] \cdot 100, \quad (3)$$

де  $\Delta P$  – показник покращання дорожніх умов на мережі автомобільних доріг, при здійсненні заходів, %.

Перетворюючи вираз (3), отримаємо

$$\Delta P = \left( -e^{-\bar{m}\bar{l}_{кд}} + e^{-\bar{m}\bar{l}_{кп}} \right) \cdot 100, \quad (4)$$

Для оцінки ймовірностей за виразами (1), (2) потрібно визначити середні відстані між ділянками ДТП на ділянках концентрації до і після здійснення заходів [3-4]. Скористаємось для цього розподілом ДТП на мережі автомобільних доріг загального призначення протяжністю 2513 км за 2010-2012 (табл. 1).

Таблиця 1

Розподіл ДТП на мережі автомобільних доріг за 2010-2012

Кількість на 1 км $m$	Кількість ділянок $l_m$ з $m$ ДТП	Загальна кількість ДТП $m \cdot l_m$	Кількість на 1 км $m$	Кількість ділянок $l_m$ з $m$ ДТП	Загальна кількість ДТП $m \cdot l_m$
0	685	0	8	12	96
1	736	736	9	6	54
2	520	1040	10	5	50
3	254	762	11	2	22
4	148	592	12	2	24
5	83	415	15	1	15
6	34	204	19	1	19
7	24	168	Усього	2513	4197

Характеризуючи несприятливі дорожні умови рівнем аварійності  $m$  з чотирма і більше ДТП, які виникли на одному кілометрі за останні три роки, за даними табл. 1 визначимо сумарну протяжність кілометрів з такою аварійністю

$$l_k = \sum_{m=4}^{M=19} l_m = 318 \text{ км.} \quad (5)$$

На довжині 318 км мережі автомобільних доріг за останні три роки виникло  $Z_{кд}$  ДТП до впровадження заходів

$$Z_{к_д} = \sum_{m=4}^{M=19} l_m \cdot m = 1659. \quad (6)$$

Середню відстань між місцями ДТП на ділянках їх концентрації знаходимо за формулою

$$\bar{l}_к = \frac{l_к}{Z/t} = \frac{l_к \cdot t}{Z}, \quad (7)$$

де  $t$  – період часу, роки.

Середня відстань між ділянками ДТП до здійснення заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху за розрахунками становить

$$\bar{l}_{к_д} = \frac{1 \cdot 318}{1659} = 0,575.$$

Враховуючи зниження кількості ДТП на ділянках їх концентрації від заходів, направлених на підвищення безпеки дорожнього руху, за залежністю (7) знаходимо середні відстані між місцями ДТП після здійснення заходів. Наприклад, в результаті здійснення заходів аварійність знизилась на  $Z_п = 403$  пригоди, тоді на ділянках концентрації їх залишилось

$$Z_п = Z_д - Z_з = 1659 - 403 = 1256, \quad (8)$$

де  $Z_п$  – кількість ДТП після здійснення заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху;  $Z_з$  – зниження кількості ДТП на ділянках їх концентрації.

Середні відстані між місцями ДТП після здійснення заходів щодо підвищення безпеки дорожнього руху на цих ділянках дорівнюватимуть

$$l_{к_п} = \frac{3 \cdot 318}{1256} = 0,760.$$

Зниження кількості ДТП на ділянках їх концентрації сприяло зростанню середніх відстаней між ними.

Використовуючи середні відстані між ділянками ДТП за виразами (1), (2), оцінимо ймовірності появи ділянок концентрації ДТП до і після здійснення заходів (табл. 2).

Таблиця 2

Значення ймовірностей ділянок концентрації ДТП до і після здійснення заходів

Середньорічна добова інтенсивність руху $N$ , авт./доб	Середня кількість ДТП на 1 км дороги $\bar{m}$	$P(l \leq \bar{l}_к) = 1 - e^{-\bar{m}\bar{l}_к}$			$\Delta P = (P_д - P_п) \cdot 100$
		$\bar{l}_{к_д} = 0,575$	$\bar{l}_{к_п} = 0,760$	$l_д = 1,0$	
1	2	3	4	5	6
1000	0,1339	0,0741	0,0968	0,1253	-2,27
2000	0,2972	1571	0,2022	0,2571	-4,51
3000	0,4553	0,2303	0,2925	0,3657	-6,22
4000	0,5675	0,2784	0,3503	0,4331	-7,19
5000	0,6166	0,2985	0,3741	0,4602	-7,56
5419	0,6206	0,3001	0,3760	0,4624	-7,59
6000	0,6142	0,2975	0,3730	0,4589	-7,55
7000	0,5819	0,2844	0,3574	0,4412	-7,30
8000	0,5373	0,2658	0,3353	0,4157	-6,95
9000	0,4905	0,2458	0,3112	0,3877	-6,54

Примітка. Від'ємний знак  $\Delta P$  вказує на зниження аварійності на ділянках концентрації ДТП і послаблення негативного впливу дорожніх умов на виникнення аварійності.

**Математичні моделі підвищення безпеки руху.** Як інформацію про ДТП доцільно використати математичне їх очікування в екстремальних дорожніх умовах, а саме на ділянках і в місцях скупчення пригод, де дорожні умови не відповідають вимогам реального руху транспорту щодо його безпеки, а також питому вагу ДТП у долях одиниці за видами пригод.

Теоретичною основою створення моделей є використання закономірностей фактичного розподілу ДТП уздовж доріг. Встановлено, що фактичний покілометровий розподіл ДТП з достатньою для практики точністю збіжності підпорядкований закону Пуассона [5], а розподіл випадкової довжини відстані між ними — біноміальному закону.

Внаслідок необхідності оцінки впливу елементів доріг на безпеку руху для розв'язання задач найбільш прийнятний показниковий закон. На його основі наведено дві евристичні моделі

$$P_d(\xi \geq l_\phi) = e^{-\bar{m}\delta_i l_\phi}, \quad (9)$$

$$P_d(\xi < l_\phi) = 1 - e^{-\bar{m}\delta_i l_\phi}, \quad (10)$$

де  $P_d(\xi \geq l_\phi)$  – імовірність того, що випадкова довжина відстані між ДТП перевищить або дорівнюватиме деякому фіксованому значенню  $l_\phi$ ;

$P_d(\xi < l_\phi)$  – те саме буде меншою за деяке фіксоване значення  $l_\phi$ ;

$e$  – основа натуральних логарифмів;

1 – верхня границя імовірності, що характеризує появу випадкової події;

$\bar{m}$  – математичне очікування всіх видів ДТП на ділянках і в місцях їх скупчення;

$\delta_i$  – питома вага ДТП  $i$ -го виду в математичному очікуванні всіх видів ДТП;

$l_\phi$  – фіксоване значення характеристик дорожніх умов.

Добуток  $\bar{m}\delta_i$  у моделях (9, 10) є не що інше як математичне очікування  $i$ -го виду ДТП у математичному очікуванні всіх видів пригод на ділянках і місцях їх скупчення, тобто

$$\bar{m}\delta_i = \bar{m}_i. \quad (11)$$

Це впливає з залежності

$$\bar{m} = \bar{m}\delta_1 + \dots + \bar{m}\delta_i \dots + \bar{m}\delta_9,$$

або

$$\bar{m} = \bar{m}(\delta_1 + \dots + \delta_i \dots + \delta_9).$$

У зв'язку з тим що

$$(\delta_1 + \dots + \delta_i \dots + \delta_9) = 1,$$

має місце залежність (11).

Співвідношення (11) відіграє важливу роль при розв'язанні конкретних задач, виконуючи функцію процесу перенесення загальних екстремальних дорожніх умов на широке коло окремих випадків забезпечення дорожніми елементами безпеки руху транспорту й пішоходів.

За фактичними даними про ДТП на 1149 ділянках і місцях їх скупчення до здійснення комплексів заходів, спрямованих на покращання дорожніх умов  $\bar{m} = 4,939077$ , а відносні значення ДТП  $\delta_i$  наведено в таблиці.

За даними таблиці,

$$\delta_i = \frac{z_i}{z}, \quad (12)$$

де  $z_i$  – абсолютна кількість ДТП  $i$ -го виду;

$z$  – абсолютна загальна кількість ДТП.

Фіксоване значення в (9-10) при розв'язанні задач забезпечення і підвищення безпеки руху транспорту і пішоходів набуває різного фізичного змісту [6-7]. Воно може характеризувати геометричні розміри елементів доріг, відстань розміщення елементів обладнання доріг по відношенню до кромки покриття, відстань до різних перешкод на дорогах, розміри дефектів на покриттях тощо.

Таблиця 3

Розподіл ДТП за їх видами

Вид ДТП, $i$	Кількість ДТП		Вид ДТП, $i$	Кількість ДТП	
	Абсолютна $z_i$ , одиниць	Відносна $\delta_i$ , долі одиниці		Абсолютна $z_i$ , одиниць	Відносна $\delta_i$ , долі одиниці
Зіткнення	2231	0,3931	на велосипедиста	357	0,0590
Перевертання	860	0,1516	на гужовий транспорт	27	0,0048
Наїзди:			на тварину	15	0,0027
на стоячий транспортний засіб	249	0,0438	Інші пригоди	214	0,0376
на перешкоду	350	0,0617	Сума $z=5675$		1,000
на пішохода	1394	0,2457			

Залежно від розв'язання конкретних практичних задач  $I_\phi$  наповнюється конкретним фізичним змістом, а моделі (9-10) служать об'єктивною науковою базою розв'язання задач удосконалення управління безпекою руху покращанням дорожніх умов [7] при експлуатації доріг та на стадії розробки проектних рішень.

Створені моделі (9-10) є доповненням одна до одної. Фізичний їх зміст полягає в тому, що по моделі (9) оцінюються імовірності виникнення ДТП, а по моделі (10) – імовірності запобігання ДТП.

1. Дорожные условия и безопасность движения: В.Ф. Бабков. — М.: Транспорт, 1993. — 271 с.
2. Организация дорожного движения: учебник для вузов /Г.И. Кликовштейн, М.Б. Афанасьев. — 5-е изд., пераб. и доп. — М.: Транспорт, 2001. — 231 с.
3. Организация и безопасность движения: В.И. Коноплянке — М.: Транспорт, 1991. — 183 с.
4. Автомобильные потоки и окружающая среда: В.Н. Луканин, А.П. Буслаев, М.В. Яшина. — М.: ИНФРА-М, 2001. — 646 с.
5. Методы оценки эффективности мероприятий по повышению транспортных качеств дорог и безопасности движения: под ред. В.Ф. Бабкова. — М.: Высш. шк., 1971. — 176 с.
6. Имитационное моделирование транспортных потоков в проектировании дорог: В.В. Сильянов, В.М. Еремин, Л.И. Муравьева. — М.: Изд-во МАДИ, 1981. — 119 с.
7. Справочник по безопасности дорожного движения: пер. с норв. /Р. Эльвик, А.Б. Мюсен, Т. Ваа; под ред. В.В. Сильянова. — М.: Изд-во МАДИ (ГТУ), 2001. — 754 с.

Стаття надійшла до редакції 04.04.2014