

А. А. Кашканов<sup>1</sup>

## МЕТОДИКА ОЦІНЮВАННЯ І ЗМЕНШЕННЯ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ В ЗАДАЧАХ АВТОТЕХНІЧНОЇ ЕКСПЕРТИЗИ ДОРОЖНЬО-ТРАНСПОРТНИХ ПРИГОД

<sup>1</sup>Вінницький національний технічний університет

При вирішенні задач автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод (ДТП) прийняття рішень відбувається в умовах неповноти інформації, тобто в умовах невизначеності. В процесі прийняття рішень виникають різні види невизначеності в залежності від причин її появи: кількісна, інформаційна, вартісна, професійна, обмежувальна, зовнішнього середовища. Крім того, невизначеність може мати стохастичну або нечітку природу. Відсутність єдиного методологічного підходу щодо оцінювання та мінімізації впливу невизначеності на результати автотехнічної експертизи ДТП може спричинити значну похибку визначення досліджуваних параметрів.

Мета роботи полягає в узагальненні та розвитку існуючих підходів щодо оцінювання невизначеності методологічного забезпечення автотехнічної експертизи та мінімізації суб'єктивності формування експертних висновків в процесі встановлення обставин виникнення аварійних ситуацій.

Розглянуто структуру формування невизначеності та методи її оцінювання при вирішенні задач автотехнічної експертизи ДТП. Показано, що процес прийняття рішень в автотехнічній експертизі ДТП слід розглядати не тільки як детермінований, але і як стохастичний та нечіткий процес, який потребує застосування синтезу детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей для врахування більшості факторів, що впливають на зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків. Запропоновано оцінювати невизначеність методологічного забезпечення автотехнічної експертизи ДТП за показниками узагальненої інформаційної ентропії, яка не є власною властивістю прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП, а залежить від способу опису цієї системи. Розроблено метод нормованої ентропії, який, на відміну від існуючих, є універсальним інструментом для оцінювання композиційної невизначеності (композиції стохастичної і нечіткої невизначеності), характерної для цього виду задач. Показано, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеності, дозволяє звузити діапазони можливих рішень при проведенні експертизи на 20 %, а порівняно з детермінованим підходом суб'єктивність формування експертних висновків в процесі встановлення обставин виникнення аварійних ситуацій зменшується на 46-48 %.

**Ключові слова:** стохастичні процеси, нечіткі величини, композиційна невизначеність, нормована ентропія, автотехнічна експертиза, дорожньо-транспортна пригода.

### Вступ

Встановлення обставин ДТП є мультидисциплінарним завданням, призначеним для реконструкції причин аварії та її перебігу. Це вимагає, крім широких знань з різних технічних напрямків, застосування навичок аналізу результатів досліджень з інших галузей природничих наук (медицини, психології, токсикології, судової генетики тощо) та прийняття рішень в умовах неповноти інформації, тобто в умовах невизначеності. Відсутність єдиного методичного підходу щодо оцінювання та мінімізації впливу невизначеності на результати автотехнічної експертизи ДТП може спричинити значну похибку визначення досліджуваних параметрів (так відносна різниця між максимальними та мінімальними значеннями показників гальмування і маневрування знаходиться в межах 0,2–3,16, а рівень охоплення можливих випадків при застосуванні діючих методик складає 57–88 % [1]).

В процесі прийняття рішень виникають різні види невизначеностей в залежності від причин їхньої появи (рис. 1). Зокрема розрізняють невизначеність [2, 3]:

- кількісну, зумовлену значним числом об'єктів чи елементів в ситуації;
- інформаційну, обумовлену недостатністю інформації чи її неточністю через технічні, соціальні та інші причини;
- вартісну через надто дорожню чи недоступну плату за визначеність;
- професійну як наслідок недостатнього професіоналізму особи, що приймає рішення;
- обмежувальну (спричинену обмеженнями в ситуації прийняття рішень, наприклад обмеження в часі та ін.);
- зовнішнього середовища, пов'язану з поведінкою чи реакцією на процес прийняття рішення.

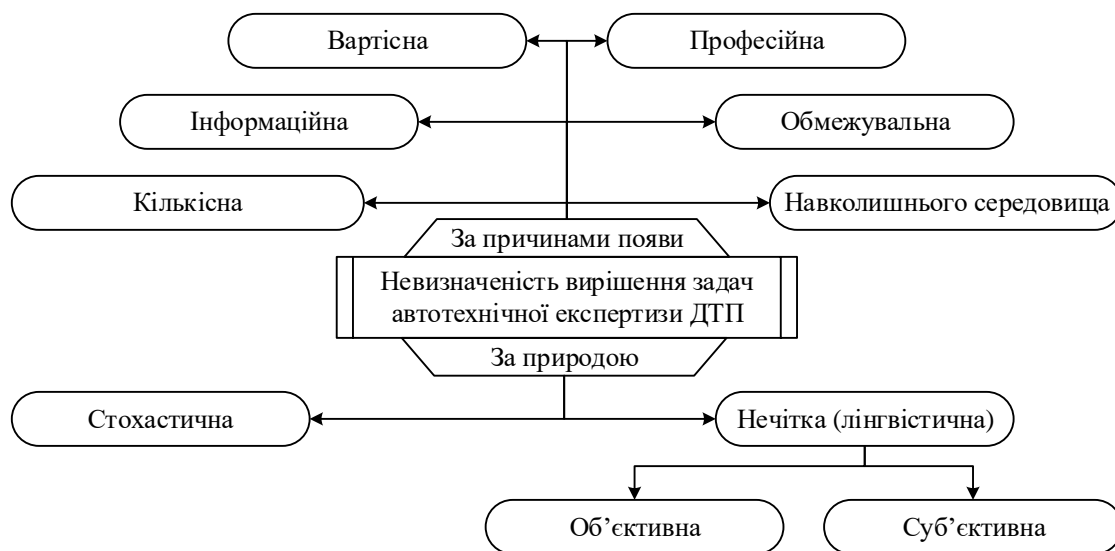


Рис. 1. Види невизначеностей

Крім того, невизначеність може мати стохастичну або нечітку природу. При прийнятті рішень стохастична невизначеність виникає при використанні даних, про які відомі не точні значення, а їх статистичні оцінки. Нечітка невизначеність властива практично будь-якій ситуації експертного оцінювання і може бути об'єктивною, властивою всім реальним величинам [2] чи суб'єктивною, властивою людській природі в цілому, і особливо можливостям людини оцінювати інформацію. Причинами виникнення суб'єктивної невизначеності є [1-3]:

- неповнота знань експерта про властивості об'єктів;
- його недостатній ступінь впевненості в правильності свої оцінок;
- суперечливість експертних знань;
- нечіткість представлення інформації;
- семантична невизначеність, пов'язана з неоднозначністю природної мови, недостатньою визначеністю понять і термінів;
- особливості агрегування індивідуальних експертних оцінок тощо.

Оцінюванню невизначеності результатів розрахунку при реконструкції ДТП розглядається в багатьох науково-дослідних роботах. Зокрема, дослідники зосереджувались на таких питаннях, як:

- дослідження ефективності методів аналізу невизначеності [4-7];
- застосування детермінованих методів встановлення невизначеності: метод екстремальних значень [7]; метод різниць в різних його формах [8];
- застосування імовірнісних методів визначення невизначеності: баєсівський аналіз та умовна імовірність невизначеності [9]; аналіз гіпотез за допомогою байєсівських мереж [10] та коефіцієнта імовірності [11]; спрощений (Гаусс) метод [4, 5]; метод, заснований на описі стохастичних процесів [12];
- метод Монте-Карло [13];
- параметрична чутливість до невизначеності [14];
- невизначеність вимірювань, виконаних на місці ДТП [15];
- планування експериментів [16];
- сприйняття перешкод, час реакції водія та час до зіткнення [17];
- невизначеність обчислення швидкості [4, 18];
- невизначеність обчислення гальмівного шляху [19, 20];
- невизначеність формул аналізу маневрування ТЗ [21];
- верифікація програм моделювання динаміки руху ТЗ, включаючи часткові системи (наприклад, рульове управління, привід, підвіска, ABS, ESP) [22];
- моделювання невизначеності зіткнення [23];
- невизначеність перетворення даних, записаних EDR [24];
- аналіз ДТП з точки зору їх попередження та підвищення безпеки руху [25].

Спеціалістами SAE Інтернешнл, Інституту судових експертиз в Кракові та науковцями Варшавського технологічного університету були проведені дослідження можливості застосування методів оцінювання невизначеності для математичних моделей, що використовуються для аналізу аварійних ситуацій (табл. 1).

Можливості застосування методів оцінювання невизначеності при експертизі ДТП [7]

Методи		Вид математичної моделі	
		Аналітична	Імітаційна
Детерміновані	Екстремальних значень	+	+
	Різниць	+	-
Імовірнісні	Гаусса	+	-
	Опису стохастичних процесів	+/-	+/-
	Монте-Карло	+	+/-
«+» – легко застосувати; «+/-» – наявні труднощі; «-» – неможливо застосувати			

Як видно з таблиці 1, оцінювання невизначеності при експертизі ДТП можливе на основі застосування детермінованих або імовірнісних методів, причому найбільш універсальним для застосування є детермінований метод екстремальних значень, а найбільш точним є імовірнісний метод опису стохастичних процесів [4-7].

*Мета роботи* полягає в узагальненні та розвитку існуючих підходів щодо оцінювання невизначеності методологічного забезпечення автотехнічної експертизи та мінімізації суб'єктивності формування експертних висновків в процесі встановлення обставин виникнення аварійних ситуацій.

### Результати дослідження

Враховуючи розглянуте вище та діючі науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень [26], загальна невизначеність результатів автотехнічної експертизи ДТП буде формуватися за схемою, що на рис. 2.



Рис. 2. Схема формування невизначеності в структурі рішення задач автотехнічної експертизи ДТП

Ступінь неповноти інформації про ситуацію прийняття рішень може характеризуватись різними показниками. Доцільно використати ентропійний показник невизначеності, який є достатньо загальним як для статистичних, так і для експертних оцінок [1]. Максимальне значення невизначеності характеризується апіорною ентропією  $H_{amp}$ , яка відповідає інтервальним оцінкам усіх умов прийняття рішення

$$H_{amp} = \sum_i \int_{y_{i \min}}^{y_{i \max}} \frac{1}{y_{i \max} - y_{i \min}} \log \frac{1}{y_{i \max} - y_{i \min}} dy_i. \quad (1)$$

Для здійснення розрахунків з використанням нечітких та стохастичних даних, які мають місце при експертизі ДТП, можна використати систему узагальнюючих функцій [27], оскільки аналізуючи спільні та відмінні риси стохастичної та нечіткої невизначеності, а також результати, отримані в процесі розробки методу узагальнюючих функцій невизначеності, можна дійти до висновку, що відповідні методи прийняття рішень мають переважно спільні риси, які дозволяють об'єднання в одному підході.

Узагальнююча функція – це додатна функція, визначена на проміжку можливих значень аргументу, яка характеризує можливість  $\pi$  або імовірність  $p$  прийняття аргументом значення з певного інтервалу  $[x_1, x_2]$ ,  $x_1 \in B$ ,  $x_2 \in B$ , за правилами [28]

$$p = \frac{\int_{x_1}^{x_2} d[\beta(x)]}{\int_B d[\beta(x)]}, \quad \pi = \frac{\int_{x_1}^{x_2} d[\beta(x)]}{\max_B \int_{[x_{i-1}, x_i]} d[\beta(x)]}, \quad (2)$$

де  $x_{i-1}, x_i \subset B, i = 1 \dots n, n$  – кількість інтервалів розбиття  $B$ .

Аксиоматична основа системи узагальнюючих функцій базується на множині аксіом теорії імовірностей, нечіткої логіки та обробки числових даних:

- аксіоми очікуваної корисності Неймана–Моргенштерна [29];
- аксіоми системи узагальнення стохастичної та нечіткої невизначеності [30];
- аксіоми функціонального аналізу [31].

Таким чином, інформаційну невизначеність методологічного забезпечення автотехнічної експертизи ДТП можна оцінити за показниками узагальненої інформаційної ентропії, яка є мірою невизначеності втрат від прийнятого рішення [27, 30],

$$H_y(y) = \int_{\Lambda} \beta(\lambda / y) \log_b \beta(\lambda / y) d\lambda, \quad (3)$$

де  $\Lambda$  – система узагальнюючих функцій переваг (втрат) при прийнятті рішення;  $b$  – основа логарифму;  $y$  – рішення;  $\lambda$  – функція невизначених параметрів задачі.

В даному випадку слід пам'ятати, що ентропія не є власною властивістю прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП, вона залежить від способу опису цієї системи.

Ентропія параметрів, які встановлюються при експертизі ДТП, пов'язана з інформаційною ентропією [32]. При цьому порядок встановлення ентропії параметрів, що мають стохастичну природу невизначеності, відрізняється від порядку для параметрів, у яких природа невизначеності нечітка.

Для дискретного статистичного розподілу імовірностей  $P_k$  інформаційної ентропії справедливо

$$H_{yd}^S = - \sum_{k=1}^n P_k \log_b P_k, \text{ при } \sum_{k=1}^n P_k = 1. \quad (4)$$

Для неперервної випадкової величини  $x$ , що має функцію розподілу  $\beta(x) = f_x(x)$  інформаційна ентропія буде складати

$$H_{yn}^S = - \int_{\underline{x}}^{\bar{x}} \beta(x) \log_b \beta(x) dx, \text{ при } \int_{\underline{x}}^{\bar{x}} \beta(x) dx = 1. \quad (5)$$

Можливість визначення інформаційної ентропії нечітких величин забезпечується застосуванням методу перехресної ентропії, розробленого у 1997 році Р. Рубінштейном [33], оскільки в цьому випадку існує необхідність врахування двох різних розподілів: імовірності та можливості.

Таким чином, для нечіткого дискретного  $x$ , значення якого задається функцією належності  $\mu(x)$  та імовірністю  $p(x)$  ентропія буде складати

$$H_{yd}^N = - \sum_{l=1}^m p(x_l) \log_b \frac{\mu(x_l)}{\sum_{i=x} \mu(x_i)}. \quad (6)$$

Для нечіткої неперервної величини  $x$ , значення якої задається функцією належності  $\mu(x)$  та функцією розподілу імовірностей  $q(x)$  ентропія буде складати

$$H_{yn}^N = \int_1^m q(x) \log_b \left( \frac{\mu(x)}{\int_x^{\bar{x}} \mu(x) dx} \right) dx. \quad (7)$$

Враховуючи властивість адитивності ентропії, загальна ентропія прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП складе

$$\sum H_S^{TA} = H_{yd}^S + H_{yn}^S + H_{yd}^N + H_{yn}^N. \quad (8)$$

Оскільки кількість інформації, яку відображає ентропія, залежить від вибору основи логарифму, для усунення цього недоліку доцільно застосувати процес нормалізації. Після його застосування ефективність прийнятої системи автотехнічної експертизи ДТП (нормалізована ентропія) складе

$$\eta(\sum H_S^{TA}) = \sum_{k=1}^n \frac{P(x_k) \log_b \frac{1}{P(x_k)}}{\log_b(n)} + \sum_{l=1}^m \frac{P(x_l) \log_b \frac{\sum_{i=x}^{\bar{x}} \mu(x_i)}{\mu(x_l)}}{\log_b(m)}. \quad (9)$$

Оцінити ефективність запровадження нового методу встановлення того чи іншого параметра в автотехнічній експертизі ДТП можливо на основі визначення різниці невизначеності системи в двох станах А і В (А – стан системи, коли використовується діюча методика, В – запропонована). При цьому критеріями ефективності можуть бути: відносна різниця нормалізованих ентропій у стані А та В, відносна величина зменшення діапазону розсіювання шуканого параметра, відносна величина скорочення імовірності виникнення помилок I-го та II-го роду.

Для перевірки адекватності запропонованого підходу було здійснено порівняльний аналіз результатів розрахунку невизначеності зупинного шляху автомобіля за виразом (10) та формулами (1)–(9) з результатами дослідження, отриманими спеціалістами SAE Інтернешнл, Інституту судових експертиз в Кракові та науковцями Варшавського технологічного університету [7]. Підсумкові значення вихідних даних та порівнюваних параметрів представлені в таблицях 2 та 3.

$$S_0 = (t_1 + t_2 + 0,5 \cdot t_3) \cdot V_a + \frac{V_a^2}{2 \cdot j_a}, \quad (10)$$

де  $V_a$  – швидкість ТЗ, м/с;  $j_a$  – усталене сповільнення ТЗ, м/с<sup>2</sup>;  $t_1$  – час реакції водія, с;  $t_2$  – час спрацювання гальмівного приводу, с;  $t_3$  – час наростання сповільнення, с;

Таблиця 2

Значення параметрів гальмування адаптовані для розрахунку

Параметр	Методи оцінювання невизначеності					
	різниць		екстремальних значень		імовірнісні	
	$x_{(0)}$	$\Delta x$	$x_{\min}$	$x_{\max}$	$\bar{x}$	$\sigma_x$
$t_1 + t_2$ , с	1,0	0,2	0,8	1,2	1,0	0,067
$t_3$ , с	0,2	0,02	0,15	0,25	0,2	0,017
$V_0$ , м/с	25	1,0	24	26	25	0,333
$\varphi$	0,6	0,05	0,55	0,65	0,6	0,017

Порівняння невизначеності рішень під час оцінювання довжини зупинного шляху (м)

Метод	Похибка оцінювання		Можливий діапазон	
	$\Delta S_g$	$\Delta S_g / S_g$	$S_{g \min}$	$S_{g \max}$
Екстремальних значень:				
аналітична модель (8)	13,53	0,185	59,40	86,45
прикладна програма Auto, PC3 <sup>1</sup>	12,70	0,179	58,30	83,80
прикладна програма ZL3DSYM <sup>1</sup>	12,64	0,178	58,36	83,64
прикладна програма PC-CRASH <sup>1</sup>	13,27	0,184	58,83	85,37
Різниць <sup>2</sup>	13,49	0,187	58,66	85,63
Гауса <sup>2,3</sup>	7,58	0,105	64,57	79,72
Опису стохастичних процесів <sup>2,3</sup>	7,50	0,104	64,59	79,61
Монте-Карло <sup>2</sup>	11,03	0,153	61,07	83,13
Нормалізованої ентропії A <sup>2,4,6</sup>	9,08	0,126	63,02	81,18
Нормалізованої ентропії B <sup>2,5,6</sup>	6,85	0,095	65,25	78,95

1 – для імітаційної математичної моделі; 2 – для аналітичної математичної моделі (8); 3 – рівень довіри 99,7 % [7]; 4 – нормалізована ентропія A враховує стохастичну невизначеність; 5 – нормалізована ентропія B враховує стохастичну та нечітку невизначеності; 6 – запропонований метод.

Як видно з таблиці 3, застосування запропонованого методу нормалізованої ентропії A дозволяє досягти усереднених показників існуючих імовірнісних методів [4, 5, 6, 7]. Застосування запропонованого методу нормалізованої ентропії B показує, що врахування стохастичної та нечіткої невизначеностей, дозволяє покращити результати на 20 %, а порівняно з детермінованим підходом діапазон невизначеності звужується на 46-48 %.

### Висновки

Процес прийняття рішень в автотехнічній експертизі ДТП слід розглядати не тільки як детермінований, але і як стохастичний та нечіткий процес, який потребує застосування синтезу детермінованих, імовірнісних, регресійних та нейро-нечітких моделей для врахування більшості факторів, що впливають на зменшення невизначеності при формуванні експертних висновків. Запропонований підхід щодо оцінювання невизначеності методологічного забезпечення автотехнічної експертизи дозволяє підвищити об'єктивність формування експертних висновків в процесі встановлення обставин виникнення аварійних ситуацій. Порівняно з детермінованим підходом врахування стохастичної невизначеності звужує діапазон можливих рішень на 26–28 %, врахування нечіткої невизначеності, дозволяє покращити результати ще на 20 %.

### СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

- [1] А. А. Кашканов, *Технології підвищення ефективності автотехнічної експертизи дорожньо-транспортних пригод* : монографія [Електронний ресурс]. Вінниця : ВНТУ, 2018. 160 с. Один електрон. опт. диск (CD-ROM); 12 см. Назва з тит. скрану. ISBN 978-966-641-740-7.
- [2] Г. М. Гнатієнко, В. Є. Снитюк, *Експертні технології прийняття рішень*. Київ: Маклаут, 2008. 444 с.
- [3] Ю. П. Зайченко, *Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах*. Киев: Слово, 2008. 344 с.
- [4] M. Brach, R. Brach, *Vehicle Accident Analysis and Reconstruction Methods*. SAE International, 2011. 442 p.
- [5] R. Brach, P. Dunn, *Uncertainty analysis for forensic science*. Lawyers and Judges Publishing Company Inc, USA, 2003.
- [6] L. D. Metz, L. G. Metz, *Sensitivity of accident reconstruction calculations*. SAE Technical Paper 980375, 1998.
- [7] M. R. Brach, M. Guzek, Z. Lozia, Uncertainty of road accident reconstruction computations, [in:] *Proceedings of the 16th Annual EVU Congress*, Institute of Forensic Research Publisher, Kraków 2007, P. 35–50.
- [8] W. Bartlett, A. Fonda, *Evaluating uncertainty in accident reconstruction with finite differences*, SAE Technical Paper No. 2003-01-0489, Warrendale, PA, 2003, doi:10.4271/2003-01-0489.
- [9] G. A. Davis, Bayesian reconstruction of traffic accidents, *Law, Probability and Risk* 2 (2), 2003. 69– 89, doi: 10.1093/lpr/2.2.69.
- [10] W. Wach, "Calculation reliability in vehicle accident reconstruction," *Forensic Science International*, Volume 263, P. 27–38, 2016, ISSN 0379-0738, <https://doi.org/10.1016/j.forsciint.2016.03.038>.
- [11] S. Kimbrough, *Determining the relative likelihoods of competing scenarios of events leading to an accident*, *Special Publication Accident Reconstruction SP-1873* (2004), SAE Technical Paper No. 2004-01-1222, Warrendale, PA, 2004, doi:10.4271/2004-01-1222.
- [12] K. Sobczyk, *Methods of statistic dynamics*. PWN, Warsaw, 1973. (in the Polish language).

- [13] A. Moser, H. Steffan, A. Spek, W. Makkinga, *Application of the Monte Carlo methods for stability analysis within the accident reconstruction software PC-Crash*, SAE Technical Paper No. 2003-01-0488, Warrendale, PA, 2003. doi:10.4271/2003-01-0488.
- [14] W. Wach, J. Unarski, Uncertainty of calculation results in vehicle collision analysis, *Forensic Sci. Int.* 167 (2), 2007. P. 181–188, doi:10.1016/j.forsciint.2006.06.061.
- [15] W. Bartlett, W. Wright, O. Masory, R. Brach, A. Baxter, B. Schmidt, F. Navin, T. Stanard, *Evaluating the uncertainty in various measurement tasks common to accident reconstruction*, SAE Technical Paper No. 2002-01-0546, Warrendale, PA, 2002, doi:10.4271/2002-01-0546.
- [16] T. Zou, M. Cai, R. Du, J. Liu, Analyzing the uncertainty of simulation results in accident reconstruction with Response Surface Methodology, *Forensic Sci. Int.* 216 (2012) 49–60, doi: 10.1016/j.forsciint.2011.08.016.
- [17] J. W. Muttart, *Development and Evaluation of Driver Response Time Predictors Based upon Meta Analysis*, SAE Technical Paper 2003-01-0885, Warrendale, PA, 2003. doi: 10.4271/2003-01-0885.
- [18] А. А. Кашканов, Г. Г. Кашканова, О. Г. Грисюк, «Оцінювання невизначеності вимірювання швидкості автомобіля при автотехнічній експертизі дорожньо-транспортних пригод», *Вісник Житомирського державного технологічного університету. Серія: Технічні науки*, № 2 (77), с. 85–93. 2016.
- [19] O. Saraiev and Y. Gorb, *A Mathematical Model of the Braking Dynamics of a Car*, SAE Technical Paper 2018-01-1893, 2018.
- [20] А. А. Кашканов, О. В. Гуцалюк, «Вплив невизначеності даних на результати оцінювання гальмових властивостей автомобілів при експертизі ДТП», *Міжвузівський збірник «Наукові нотатки»*. Луцьк: ЛНТУ, вип. 37, с. 134–139. 2012.
- [21] Є. Л. Старіков, «Вдосконалення методів дослідження маневру транспортного засобу», *Криміналістичний вісник*, № 2 (20), с. 201–209. 2013.
- [22] R. M. Brach, *Tire models for vehicle dynamic simulation and accident reconstruction*, SAE Technical Paper No. 2009-01-0102, Warrendale, PA, 2009. doi:10.4271/2009-01-0102.
- [23] V. Bogdanovic, N. Milutinovic, S. Kostic, N. Ruskic, “Research of the influences of input parameters on the result of vehicles collision simulation,” *Promet Traffic Transp*, no. 24, p. 243–251. 2004. DOI: <https://doi.org/10.7307/ptt.v24i3.317>.
- [24] Guzek M., Lozia Z. *Possible errors occurring during accident reconstruction based on car 'black box' records*, SAE Transactions 111 (6), 2002. P. 677–696 (also: SAE Technical Paper No. 2002-01-0549), doi:10.4271/2002-01-0549.
- [25] G. A. Davis, “Crash reconstruction and crash modification factors,” *Accident Analysis and Prevention*, no. 62, p. 294–302. 2014. doi:10.1016/j.aap.2013.09.027.
- [26] *Науково-методичні рекомендації з питань підготовки та призначення судових експертиз та експертних досліджень* (у редакції наказу Міністерства юстиції України від 26.12.2012 № 1950/5 зі змінами № 1350/5 від 27.07.2015).
- [27] В. М. Дубовой, О. О. Ковалюк, *Моделі прийняття рішень в управлінні розподіленими динамічними системами*. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2008. 185 с.
- [28] В. Є. Снитюк, *Прогнозування. Моделі. Методи. Алгоритми*. К.: Маклаут, 2008. 364 с.
- [29] Дж. Нейман, О. Моргенштерн. *Теория игр и экономическое поведение*. М.: Наука, 1970. 707 с.
- [30] О. В. Глонь, В. М. Дубовой, *Модельювання систем керування в умовах невизначеності*. Вінниця: Універсум-Вінниця, 2004.
- [31] А. Н. Колмогоров, С. В. Фомин, *Элементы теории функций и функционального анализа*. М.: Физматиз, 1968.
- [32] C. E. Shannon, “A Mathematical Theory of Communication,” *Bell System Technical Journal*, vol. 27, p. 379–423. 1948.
- [33] R.Y. Rubinstein, “Optimization of Computer Simulation Models with Rare Events,” *European Journal of Operations Research*, vol. 99, p. 89–112. 1997.

**Кашканов Андрій Альбертович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри автомобілів і транспортного менеджменту, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.

Вінницький національний технічний університет, м. Вінниця.

**A. Kashkanov<sup>1</sup>**

## **Methodology for assessing and reducing uncertainty in the problems of automotive technical expertise of traffic accidents**

<sup>1</sup>Vinnitsia National Technical University

*When solving the problems of automotive technical expertise in road traffic accidents (RTAs), decisions are made in conditions of incomplete information, that is, in conditions of uncertainty. In the decision-making process, different types of uncertainty arise, depending on the reasons for its occurrence: quantitative, informational, cost-based, professional, restrictive, and the external environment. In addition, uncertainty can be stochastic or fuzzy. The lack of a unified methodological approach to assessing and minimizing the impact of uncertainty on the results of an autotechnical examination of an accident can lead to a significant error in determining the parameters under study.*

*The aim of the work is to generalize and develop existing approaches to assessing the uncertainty of methodological support of automotive technical expertise and minimize the subjectivity of the formation of expert conclusions in the process of establishing the circumstances of emergencies.*

*The structure of the formation of uncertainty and methods for its assessment in solving the problems of automotive technical expertise of accidents are considered. It is shown that the decision-making process in the automotive technical expertise of road accidents should be considered not only as deterministic, but also as a stochastic and fuzzy process that requires the use of the synthesis of deterministic, probabilistic, regression and neuro-fuzzy models to take into account most of the factors that influence to reduce uncertainty in the formation of expert opinions. It is proposed to evaluate the uncertainty of the methodological support of the automotive technical expertise of traffic accidents by the indicators of generalized informational entropy, which is not a property of the adopted system of automotive technical expertise of traffic accidents, but depends on the way this system is described. A method of normalized entropy is developed, which, unlike the existing ones, is a universal tool for assessing*

compositional uncertainty (composition of stochastic and fuzzy uncertainty), characteristic for this type of problem. It is shown that taking stochastic and fuzzy uncertainties into account allows us to narrow the range of possible solutions when conducting an examination by 20%, and compared with the deterministic approach, the subjectivity of forming expert conclusions in establishing the circumstances of emergencies decreases by 46-48%.

**Key words:** stochastic processes, fuzzy values, compositional uncertainty, normalized entropy, automotive technical expertise, traffic accident.

**Kashkanov Andriy** – Ph. D. (Eng), Associate Professor, Associate Professor of the Chair of Automobiles and Transportation Management, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.

**А. А. Кашканов<sup>1</sup>**

## **Методика оценки и уменьшения неопределенности в задачах автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий**

<sup>1</sup>Винницкий национальный технический университет

При решении задач автотехнической экспертизы дорожно-транспортных происшествий (ДТП) принятие решений происходит в условиях неполноты информации, то есть в условиях неопределенности. В процессе принятия решений возникают разные виды неопределенности в зависимости от причин ее появления: количественная, информационная, стоимостная, профессиональная, ограничительная, внешней среды. Кроме того, неопределенность может иметь стохастическую или нечеткую природу. Отсутствие единого методологического подхода к оцениванию и минимизации влияния неопределенности на результаты автотехнической экспертизы ДТП может приводить к значительной погрешности определения исследуемых параметров.

Целью работы является обобщение и развитие существующих подходов к оценке неопределенности методологического обеспечения автотехнической экспертизы и минимизации субъективности формирования экспертных выводов в процессе установления обстоятельств возникновения аварийных ситуаций.

Рассмотрена структура формирования неопределенности и методы ее оценки при решении задач автотехнической экспертизы ДТП. Показано, что процесс принятия решений в автотехнической экспертизе ДТП следует рассматривать не только как детерминированный, но и как стохастический и нечеткий процесс, требующий применения синтеза детерминированных, вероятностных, регрессионных и нейро-нечетких моделей для учета большинства факторов, влияющих на уменьшение неопределенности при формировании экспертных заключений. Предложено оценивать неопределенность методологического обеспечения автотехнической экспертизы ДТП показателями обобщенной информационной энтропии, которая не является собственным свойством принятой системы автотехнической экспертизы ДТП, а зависит от способа описания этой системы. Разработан метод нормированной энтропии, который в отличие от существующих, является универсальным инструментом для оценки композиционной неопределенности (композиции стохастической и нечеткой неопределенности), характерной для данного вида задач. Показано, что учет стохастической и нечеткой неопределенности, позволяет сузить диапазоны возможных решений при проведении экспертизы на 20 %, а по сравнению с детерминированным подходом субъективность формирования экспертных выводов в процессе установления обстоятельств возникновения аварийных ситуаций уменьшается на 46-48 %.

**Ключевые слова:** стохастические процессы, нечеткие величины, композиционная неопределенность, нормированная энтропия, автотехническая экспертиза, дорожно-транспортное происшествие.

**Кашканов Андрей Альбертович** – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры автомобилей и транспортного менеджмента, e-mail: a.kashkanov@gmail.com.